



**UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE**

**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

---

**Corso di Laurea triennale INGEGNERIA GESTIONALE**

**INDUSTRY 4.0 NELL'AMBITO DELLA CANTIERISTICA**

**INDUSTRY 4.0 IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY**

Relatore: Chiar.mo/a

Prof. **MAURIZIO BEVILACQUA**

Tesi di Laurea di:

**MASSIMO MARCELLI**

**A.A. 2020 / 2021**



- SOMMARIO

Negli ultimi anni il termine *Industry 4.0* è entrato sempre più a far parte del linguaggio comune per descrivere un processo di trasformazione dell'ambiente produttivo attraverso una sua digitalizzazione e automazione.

Eppure, nonostante i suoi potenziali benefici in termini di incremento della produttività e della qualità, il settore delle costruzioni si dimostra riluttante all'integrazione di queste tecnologie.

Questo studio ha l'obiettivo di definire quello che è lo stato dell'arte dell'applicazione delle innovazioni di Industry 4.0 nell'ambito della cantieristica, sottolineandone difficoltà e potenziali benefici.

# Indice

## 1. INTRODUZIONE

- 1.1 Un po' di storia
- 1.2 Industry 4.0
- 1.3 Construction 4.0
- 1.4 Importanza e stato attuale della cantieristica

## 2. INDUSTRY 4.0 NELLA CANTIERISTICA

- 2.0 Introduzione
- 2.1 Digitalizzazione e virtualizzazione
- 2.2 Construction Supply Chain
- 2.3 Simulazione e modellazione
  - 2.3.1 *BIM*
  - 2.3.2 *Stato di BIM nel mondo*
  - 2.3.3 *Extended Reality*
  - 2.3.4 *BIM to XR*
  - 2.3.5 *Considerazioni finali*
- 2.4 Additive Manufacturing
- 2.5 Robotica
- 2.6 Conclusioni
  - 2.6.1 *Sfide*
  - 2.6.2 *Benefici*

## 3. MARITIME 4.0 & PORT 4.0

- 3.1 Industry 4.0 & Port 4.0
  - 3.2 IoT, Big Data e Cloud Computing
  - 3.3 Automazione
  - 3.4 Additive Manufacturing
  - 3.5 Simulazione
  - 3.6 Artificial Intelligence & machine learning
  - 3.7 Green Energy
  - 3.8 Considerazioni finali
- 
- Bibliografia
  - Ringraziamenti

## 1. INTRODUZIONE

### ➤ 1.1 *Un po' di storia*

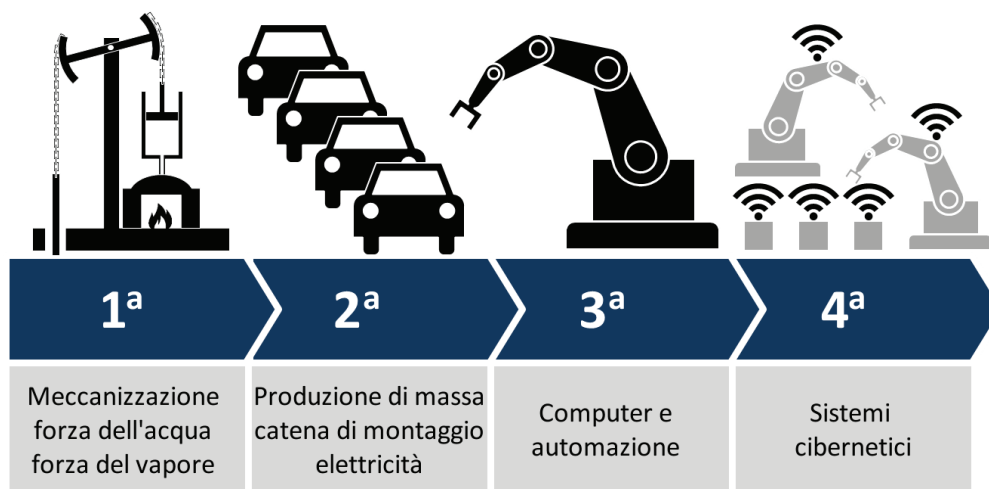
Industry 4.0 viene introdotto come termine popolare per la prima volta alla Fiera di Hannover nel 2011, in Germania, per descrivere la tendenza alla digitalizzazione dei processi industriali nonché all'automazione dell'ambiente di produzione, si basa sul concetto di Cyber Physical System (CPS), ovvero sistemi informatici dotati di capacità computazionale, comunicazione e controllo, in grado di comunicare con i sistemi fisici con cui operano basandosi sulla digitalizzazione e interconnessione di tutte le unità produttive presenti in un sistema economico. Volendo scendere più nello specifico nell'analisi del nome, Industry 4.0 sta ad indicare la quarta rivoluzione industriale, ma come ci siamo arrivati?

La Prima Rivoluzione Industriale viene datata al 1760/80 e localizzata in Europa, interessò prevalentemente il settore tessile-metallurgico; fu un processo di evoluzione economica e industrializzazione della società che da agricola-artigianale si trasformò in un sistema industriale moderno caratterizzato dall'uso generalizzato di macchine azionate da energia meccanica e dall'utilizzo di nuove fonti energetiche come i combustibili fossili.

La Seconda Rivoluzione Industriale viene datata al 1870 con l'introduzione dell'elettricità, dei prodotti chimici e del petrolio, l'utilizzo di nuovi sistemi di comunicazione e di trasporto; un elemento cardine di questa seconda rivoluzione è la produzione di massa, introdotta nei primi anni del xx secolo e gradualmente diffusa dallo statunitense Henry Ford, il quale si era ispirato alle teorie del connazionale Frederick Taylor. Nasce dunque la catena di montaggio, contestualmente l'industria si accorge che non è sufficiente riempire piazzali e magazzini di prodotti, ma che è più strategico vendere e creare sistemi di distribuzione efficaci, portare il prodotto verso il cliente; l'impresa si trasforma e si orienta alla vendita, il concetto di marketing inizia a muovere i suoi primi passi.

La Terza Rivoluzione Industriale, datata al 1970, è invece legata agli sviluppi dell'elettronica e dell'informatica, cresce e si sviluppa tramite l'accumulo delle conoscenze scientifiche e tecnologiche che spesso nascono dal contesto militare, per esempio il computer, così come la disciplina dell'informatica, nascono grazie alle geniali intuizioni del matematico inglese Alan

Turing che durante la Seconda Guerra Mondiale ideò una serie di tecnologie per violare i cifrari tedeschi, il suo lavoro non solo contribuì a cambiare drasticamente le sorti della guerra, ma gettò le basi per la nascita della scienza informatica e dell'intelligenza artificiale che hanno influenzato il mondo per come lo conosciamo oggi. Con la scoperta e lo sfruttamento dell'energia atomica si è poi definitivamente entrati nella fase della terza rivoluzione, la quale risulta però, dall'altro lato della medaglia, caratterizzata dal problema non trascurabile legato all'inquinamento, il quale ha poi dato la spinta alla nascita di concetti come Green & Smart Energy che ritroveremo più avanti come elementi di riferimento nella quarta rivoluzione industriale. Torniamo al XXI secolo, come detto precedentemente il termine Industry 4.0 viene introdotto in Germania, la paternità del termine viene attribuita a Hennin Kagermann, Wolf-Dieter Lukas e Wolfgang Wahlster, il progetto finale per l'industria vede la luce alla fine del 2013 sempre alla fiera di Hannover.



## ➤ 1.2 Industry 4.0

La tendenza alla digitalizzazione, all'automazione e all'aumento dell'uso delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) sono stati definiti come i concetti principali della quarta rivoluzione industriale, spesso indicata anche con l'acronimo "IR 4.0".

*"I processi aziendali che assumono la concretezza del silicio, si rivestono di fibre ottiche e parlano con i meccanismi aziendali delle altre imprese. Gli operai ormai trasformati in tecnici con onniscienti Tablet fra le mani. Gli impiegati e i dirigenti della fabbrica che debbono imparare a gestire i nuovi modelli organizzativi che gradualmente si assestano e si formano"* (Il Sole 24 Ore).

Gli industriali tedeschi, anticipando il resto del mondo, avevano individuato il futuro dell'industria. Iniziò a diffondersi l'idea che la digitalizzazione delle imprese era una priorità assoluta, perché se attuata avrebbe liberato un enorme potenziale di valore aggiunto e il futuro delle aziende che non sarebbero riuscite a volgere a proprio vantaggio la digitalizzazione sarebbero state in pericolo (Stefan Schaible, Ceo di Roland Berger GmbH).

Un concetto fondamentale per IR 4.0 risiede nell'automazione, la quale è ben radicata in settori come quello automobilistico. Proprio il settore dell'auto viene individuato come esempio più idoneo della trasformazione legata alla quarta rivoluzione industriale, dal momento che questa può essere caratterizzata come un'industria di grandi volumi, elevati costi del prodotto, grande complessità e varietà dei componenti della distinta base, viene quindi vista come un'industria con processi, prodotti e supply chain complessi e ad alta variabilità. Già nel 2014, sempre in Germania, appena 3 anni dopo la nascita del termine "Industry 4.0" oltre la metà delle oltre 6000 imprese manifatturiere con più di 100 milioni di euro di fatturato aveva effettuato investimenti in IR 4.0, puntando in particolare sull'interconnessione fra le diverse parti del ciclo produttivo.

Nella prima fase di Industry 4.0 sono stati grandi gruppi automobilistici, come Bmw e Mercedes a lavorare con impianti pilota. Bmw ad es. ha avviato il processo di rinnovamento partendo dallo stabilimento di Monaco di Baviera dove ad oggi viene applicato un sistema di gestione intelligente dei dati energetici, "iEDMS", che consente di ottenere consumi più bassi di energia, maggiore affidabilità nella produzione e prodotti di maggiore qualità. L'industria

automobilistica gioca quindi un ruolo di “apripista” per tutti gli altri settori che si accingono ad entrare nella quarta rivoluzione industriale.

Il paradigma di “Industria 4.0” è strettamente collegato al concetto di Smart Factory, che tradotto starebbe per “fabbrica intelligente”. La definizione di Smart Factory è la seguente: una trasformazione in ottica di industry 4.0 che va oltre l’automazione più tradizionale, contemplando un sistema completamente connesso, flessibile e intelligente in grado di generare anche nuovi modelli di business supportati da tecnologie abilitanti come l’IoT, l’Edge computing, il CCloud, la realtà aumentata, mista e virtuale (AR; MR; VR), la robotica e l’intelligenza artificiale.

Possiamo individuare le 3 parti che compongono nel complesso il concetto di Smart Factory:

- Smart production: nuove tecnologie produttive che creano collaborazione tra tutti gli elementi presenti nella produzione, ovvero collaborazione tra operatore, macchine e strumenti;
- Smart service: tutte le “infrastrutture informatiche” e tecniche che permettono di integrare i sistemi; ma anche tutte le strutture che permettono, in modo collaborativo, di integrare le aziende (fornitore – cliente) tra loro e con le strutture esterne;
- Smart energy: tutto questo sempre con un occhio attento ai consumi energetici, creando sistemi più performanti e riducendo gli sprechi di energia secondo i paradigmi tipici dell’energia sostenibile.

Attraverso la Smart Factory si sviluppa un concetto denominato fabbrica intelligente, o *intelligent manufacturing*. La produzione intelligente è un concetto ampio di produzione con lo scopo di ottimizzare la produzione stessa e le transazioni dei prodotti facendo pieno uso di informazioni avanzate e tecnologie di produzione. L’obiettivo è quello di creare fabbriche intelligenti in cui le tecnologie di produzione vengono aggiornate e trasformate da sistemi Cyber-fisici (CPS), IoT e Cloud. Nella fabbrica intelligente il cloud computing e il cognitive-computing memorizzano i dati e prendono decisioni, mentre l’IoT si presenta funzionale con sistemi cyber-fisici e consente all'uomo di monitorare i processi in tempo reale senza presenza fisica e provando le capacità di visione che IR 4.0 manifesta. I sistemi di produzione sono



quindi in grado di monitorare i processi fisici, creare il “gemello digitale” e prendere decisioni attraverso la comunicazione in tempo reale e la cooperazione con gli esseri umani, macchine, sensori e così via.

La produzione abilitata all’IoT si riferisce a un principio in cui le risorse di produzione tipiche vengono convertite in oggetti di produzione intelligenti in grado di interconnettersi, interagire e rilevarsi tra loro per eseguire automaticamente e in modo adattivo le logiche di produzione. Essa offre la raccolta e la condivisione dei dati in tempo reale tra varie risorse di produzione come macchine, lavoratori e materiali; la raccolta e la condivisione dei dati in tempo reale si basano su tecnologie chiave come l’identificazione a radiofrequenza RFID.

La produzione Cloud si riferisce ad un modello di produzione avanzato con il supporto del cloud computing, dell’IoT, della virtualizzazione e delle tecnologie orientate ai servizi, che trasforma le risorse di produzione in servizi che possono essere condivisi in modo completo. Copre l’intero ciclo di vita esteso di un prodotto ed è quindi solitamente considerato come un sistema di produzione parallelo. Le risorse e le capacità di produzione possono quindi essere virtualizzate, incapsulate e fatte circolare in vari servizi a cui è possibile accedere, richiamare ed implementare.

Industry 4.0 si centra sull’adozione di alcune tecnologie chiave, alcune delle quali, grazie all’interconnessione e alla collaborazione tra sistemi sono state caratterizzate dal salto definitivo tra la ricerca e i sistemi di produzione veri e propri.

Infine, tutta questa innovazione porta anche un vantaggio a livello ambientale, come anticipato tramite il concetto di Smart Energy. Nell’era degli accordi di Parigi concetti come green energy, riscaldamento ambientale, inquinamento e risorse rinnovabili stanno trovando sempre più rilevanza in ogni ambito, non solo quello industriale; è essenziale identificare nuovi sistemi produttivi che siano pensati anche con un occhio rivolto all’ambiente. In tal senso IR 4.0 mira a un sistema di produzione praticabile e sostenibile, optando per soluzioni operative strategiche dando rilevanza a considerazioni relative all’impatto a breve e lungo termine sulla sostenibilità ambientale.

Le tecnologie abilitanti, definite anche come pilastri, sono:

- **Augmented Reality, AR:** Realtà Aumentata. Si definisce come un insieme di interfacce uomo-macchina che stimolano e perfezionano i diversi canali sensoriali per vivere un'esperienza interattiva attraverso la quale l'utente si trova immerso in uno spazio sensibile che gli reagisce. Viene quindi descritta come una tecnologia o un ambiente dove l'informazione aggiuntiva, generata da un computer, è inserita nella visione dell'utente di una scena del mondo reale. L'informazione aggiuntiva può consistere in: oggetti virtuali posti nell'ambiente o nella visualizzazione di informazioni relative ad oggetti esistenti come ad es. la temperatura nella stanza.
- **Simulazione:** simulazione tra macchine interconnesse per ottimizzare i processi; l'utilizzo dei sistemi simulativi verrà esteso a tutti i processi produttivi, questi sistemi elaborano i dati raccolti in tempo reale in modelli simulativi virtuali al fine di testare e ottimizzare macchine, prodotti e processi e di anticipare problemi prima che questi avvengano.
- **Additive Manufacturing:** conosciuta come stampa 3D, definibile come sistemi di produzione additiva che aumentano l'efficienza dell'uso dei materiali. Utilizzata per la creazione di prototipi o per la produzione di componenti specifici. Nello specifico di Industry 4.0 queste tecnologie vengono utilizzate per la produzione di piccoli lotti di prodotti ad alto livello di personalizzazione che essendo dislocabili sul territorio permettono di ridurre le distanze per il trasporto logistico dei prodotti finiti.
- **Robot autonomi:** rientrano nei sistemi avanzati di produzione, tra questi troviamo i sistemi di movimentazione dei materiali automatici e la robotica avanzata. I sistemi robotici e l'automazione si sono dimostrati molto efficaci in vari settori per ridurre i costi di manodopera migliorando la produttività e la qualità.
- **Cloud:** coincide con l'archiviazione online delle informazioni; l'uso del Cloud Computing permette di implementare anche le tecniche di gestione di grandissime quantità di dati attraverso sistemi aperti; attualmente molte aziende già utilizzano applicazioni cloud-based, in futuro ci sarà l'esigenza di una

maggior condivisione di dati riguardanti anche la fabbrica e anche le applicazioni per il controllo e la gestione della produzione dovranno essere disponibili in cloud;

- **Cybersecurity:** conseguentemente all'aumento di interconnessioni interne ed esterne nasce l'esigenza di proteggere i sistemi di produzione e la rete informatica da potenziali minacce, protezione delle informazioni e dei sistemi che non devono essere alterati dall'esterno.
- **Big Data Analytics:** definito come processo di raccolta e analisi di grandi volumi di dati, appunto Big Data, provenienti da diverse fonti, per estrarre informazioni nascoste al fine di fornire supporto ai processi decisionali. La gestione della grande mole di dati avviene attraverso sistemi aperti che permettono previsioni o predizioni.
- **Integrazione orizzontale e verticale dei sistemi informativi:** integrazione e scambio di informazioni in orizzontale e in verticale tra tutti gli attori del processo produttivo, l'integrazione dei dati e dei sistemi lungo tutta la catena del valore farà in modo che tutti i reparti e le funzioni aziendali diventino parte di un unico sistema integrato.
- **Internet of Things (IoT):** si tratta di quell'insieme di tecnologie e sensori che permetteranno agli oggetti in fabbrica, sia device sia prodotti finiti, di comunicare e interagire tra loro e con le persone via rete

### ➤ *1.3 Construction 4.0*

Abbiamo visto fino ad ora che il termine Industry 4.0 comprende una varietà di tecnologie per consentire lo sviluppo di un ambiente di produzione digitale e automatizzato, nonché la digitalizzazione della catena del valore, il tutto consente poi il miglioramento non solo della qualità dei prodotti e una riduzione del time-to-market, ma anche delle prestazioni aziendali. Come l'industria manifatturiera, le prestazioni del settore edile possono essere migliorate tramite IR 4.0.

Con l'avvento della quarta rivoluzione industriale il settore cantieristico ha l'opportunità di fare un significativo balzo in avanti verso una produzione, modelli di business e catene del

lavoro più efficienti. Alcuni ricercatori sostengono che questa trasformazione sia possibile proprio grazie alla convergenza di tecnologie esistenti ed emergenti che fanno parte del paradigma di “Industria” 4.0. L’idea di Construction 4.0 si basa su una confluenza di tendenze e tecnologie (sia digitali che fisiche) che promettono di rimodellare il modo in cui le risorse dell’ambiente edilizio sono progettate e costruite. In IR 4.0 il driver fondamentale è l’uso di sistemi cyber-fisici, ovvero tecnologie abilitanti che uniscono il mondo virtuale e quello fisico per creare una “realtà mista” in cui oggetti intelligenti comunicano e interagiscono tra loro.

La piattaforma di Construction 4.0 utilizza la CPS, *Construction Supply Chain*, come base principale in combinazione col concetto di *Ecosistema digitale*, ovvero un gruppo interdependente di imprese, persone e/o cose che condividono piattaforme digitali standardizzate per uno scopo reciprocamente vantaggioso, come un guadagno commerciale, innovazione o interesse comune. Questa combinazione permette la creazione di un nuovo paradigma per la progettazione e la costruzione delle risorse del cantiere. Utilizzando parallelamente CPS ed ecosistema digitale, il divario cyber-fisico esistente nell’ambiente edile può essere colmato e i processi di lavoro per collaborare in modo efficiente attraverso la rete di consegna del progetto per progettare e costruire gli asset possono essere migliorati.

Il framework Construction 4.0 fornisce quindi un meccanismo attraverso il quale possiamo modellare digitalmente le risorse ideate nel mondo fisico, progettare nuovi asset sullo sfondo di ciò che già esiste o pianificare la ristrutturazione e l’ammodernamento degli asset esistenti utilizzando questi modelli digitali e, infine, una volta che queste risorse sono state progettate digitalmente e acquisite, renderle disponibili mediante le tecnologie a disposizione. Infine, grazie all’adozione del BIM in collegamento con le tecnologie digitali l’industria edile è al culmine di questa trasformazione.

I vantaggi associati a Construction 4.0 sono evidenti attraverso la sua implementazione in quanto migliora la qualità del prodotto riducendo il time-to-market e migliorando le prestazioni operative. Ma nonostante i vantaggi forniti, le aziende del settore cantieristico non sono ancora riuscite ad integrare queste tecnologie innovative, specialmente se messe in confronto con il settore automobilistico precedentemente citato o dell’ingegneria meccanica.

Esistono numerose sfide da molteplici aspetti che impediscono il pieno sviluppo e coinvolgimento delle tecnologie di Industry 4.0 nel settore delle costruzioni. L’intera catena

del valore dell'edilizia è fortemente influenzata da strette collaborazioni con i clienti, subappaltatori e altre parti interessate; I progetti di costruzione sono imprese site-based, complesse e individuali che richiedono un livello più elevato di conoscenze specialistiche; inoltre, il settore dell'industria delle costruzioni è costituito da un numero elevato di piccole e medie imprese con limitate capacità di investimento in nuove tecnologie. Altre problematiche che contribuiscono all'incompatibilità col settore della cantieristica sono la complessità, l'incertezza, la filiera frammentata, il pensiero a breve termine e infine la cultura generale di un settore noto per le sue riluttanti pratiche di adattamento.

La mancanza di innovazione e di progresso tecnologico nel settore della cantieristica va di pari passo con i sotto-investimenti in ricerca e sviluppo (R&D). Stando a quanto riportato dall'EU R&D Scoreboard del 2015 l'industria delle costruzioni e dei materiali è tra i settori a più bassa intensità di ricerca e sviluppo con meno dell'1% delle vendite nette. Risulta quindi evidente la necessità di ulteriori ricerche, specialmente considerando la crescente concorrenza economica globale che comporta sottili margini di profitto e investimenti in ricerca e sviluppo limitati.

#### ➤ *1.4 Importanza e stato attuale della cantieristica*

Non è difficile sottolineare l'importanza che il settore delle costruzioni ha per l'economia di un paese, per far ciò basta dare infatti un'occhiata all'ammontare degli investimenti e al suo contributo al PIL di ciascun paese. L'investimento totale nel 2014 ammontava a 1.37 trilioni di euro, con l'Europa protagonista trainata dalla Germania a cui seguirono Francia, Regno Unito e Spagna, nei mercati citati il contributo era compreso tra il 9% e il 12% del PIL totale.

In confronto con i principali paesi europei l'economia italiana fatica ancora a recuperare i livelli pre-crisi, nel 2019 il Pil si è chiuso al di sotto del 4,1% rispetto al 2017 (contro il +11,3% della Francia e +15,5% della Germania) e le prospettive per il decennio 20-30 non sono molto entusiasmanti (tutto questo senza considerare poi l'impatto della pandemia di Covid-19). Stando ad uno studio condotto dall'Osservatorio congiunturale sull'Industria delle

costruzioni ad oggi continua a mancare il fondamentale apporto dell'edilizia che non ha potuto sostenere l'economia così come era successo ad esempio dal 1998 fino al 2008, in questo periodo si era infatti registrato un +28,4% negli investimenti in costruzioni con un contributo del +16,1% sul Pil. La situazione attuale, nonostante non sia brillante come nel periodo precedentemente citato, vede ancora un contributo rilevante del settore edile al Pil (8%), va inoltre sottolineato, grazie proprio alla lunga e complessa filiera collegata quasi al 90% dei settori economici, l'effetto propulsivo più elevato sull'economia tra tutti i comparti in attività. Nonostante ciò, a giudizio dello stesso Osservatorio, queste lievi variazioni positive non sono sufficienti a garantire lo sviluppo di cui il settore necessita. Di seguito nella tabella vengono riassunti i dati relativi agli investimenti in Italia negli ultimi anni.

INVESTIMENTI IN COSTRUZIONI <sup>(*)</sup>					
	2019 Milioni di euro	2017	2018	2019 <sup>(*)</sup>	2020 <sup>(*)</sup>
	Variazione % in quantità				
<b>COSTRUZIONI</b>	<b>129.853</b>	<b>1,0%</b>	<b>1,7%</b>	<b>2,3%</b>	<b>1,7%</b>
.abitazioni	64.940	1,8%	1,5%	1,9%	1,8%
- nuove (*)	17.545	7,7%	4,5%	5,4%	2,5%
- manutenzione straordinaria(*)	47.395	0,0%	0,5%	0,7%	1,5%
.non residenziali	64.914	0,1%	1,9%	2,6%	1,7%
- private (*)	41.831	4,2%	4,9%	2,5%	0,4%
- pubbliche (*)	23.083	-6,0%	-3,2%	2,9%	4,0%

(\*) Investimenti in costruzioni al netto dei costi per trasferimento di proprietà  
 (\*) Stime Ance  
 Elaborazione Ance su dati Istat

A livello mondiale, sottolinea l'ANCE (Associazione Nazionale Costruttori Edili), negli ultimi due decenni la crescita media della produttività nel settore manifatturiero è stata del 3,6% all'anno contro l'1% del settore delle costruzioni. Questa differenza è sostanzialmente dovuta alla mancata digitalizzazione delle attività costruttive. Nei Paesi che usano metodologie digitali nelle costruzioni c'è stata una sensibile riduzione del costo di costruzione/gestione e dei tempi di realizzazione dell'opera, nonché il miglioramento delle prestazioni a livello energetico/ambientale delle opere.

Data l'importanza del settore delle costruzioni per le rispettive economie nazionali, diversi paesi hanno intrapreso studi per identificare le sfide e le opportunità che l'industria presenta.

Prendiamo per esempio il Regno Unito dove si è tenuto negli anni un copioso studio per documentare i problemi del settore delle costruzioni con l'obiettivo di mettere in atto un programma di miglioramento dell'intero settore. In tal senso, il rapporto pubblicato da Sir John Egan, presidente della Constructiuon Task Force, dal titolo "*Rethinking Construction*" del 1998 è stato determinante nella definizione di una road map per perseguire i miglioramenti dell'efficienza nel settore delle costruzioni.

La data di pubblicazione non è di poco conto in tal senso, dimostra infatti che, dal momento che ancora oggi si riscontrano problemi legati al progresso della cantieristica, le difficoltà da affrontare non sono né poche, né tantomeno di semplice risoluzione.

Più recentemente il Regno Unito ha anche pubblicato una sua strategia industriale *Construction 2025* con un piano per impegnare quasi 75 milioni di sterline in ricerca e sviluppo.

Così come il Regno Unito, anche altri paesi come Stati Uniti, Australia, Cina, Emirati Arabi Uniti hanno intrapreso studi settoriali. Inoltre, anche diverse nazioni in via di sviluppo hanno intrapreso studi di questo tipo, ciò non è una "sorpresa" in quanto, come anticipato pocanzi, il settore edile grazie alla sua filiera collegata a circa il 90% dei settori economici può avere un impatto rilevante sul processo di sviluppo economico di una nazione.

Escludendo alcuni paesi, i problemi persistono nonostante gli sforzi compiuti per superarli. Alcuni studi sottolineano che in alcuni stati la cantieristica non ha nemmeno effettuato la transizione allo stato di "industry 3.0". Una possibile spiegazione di tale stagnazione potrebbe essere identificata nel fatto che nonostante l'impatto economico del settore edile gli investimenti in ricerca e sviluppo sono ancora relativamente bassi, tranne poche eccezioni.

Questo sotto investimento per la ricerca e sviluppo è in contrasto con l'impatto economico del settore edilizio che, da come si evince dai dati precedenti, è ancora uno dei settori più importanti a livello industriale. Cerchiamo di riassumere brevemente quali sono i diversi problemi strutturali nel settore delle costruzioni responsabili di questa discrepanza:

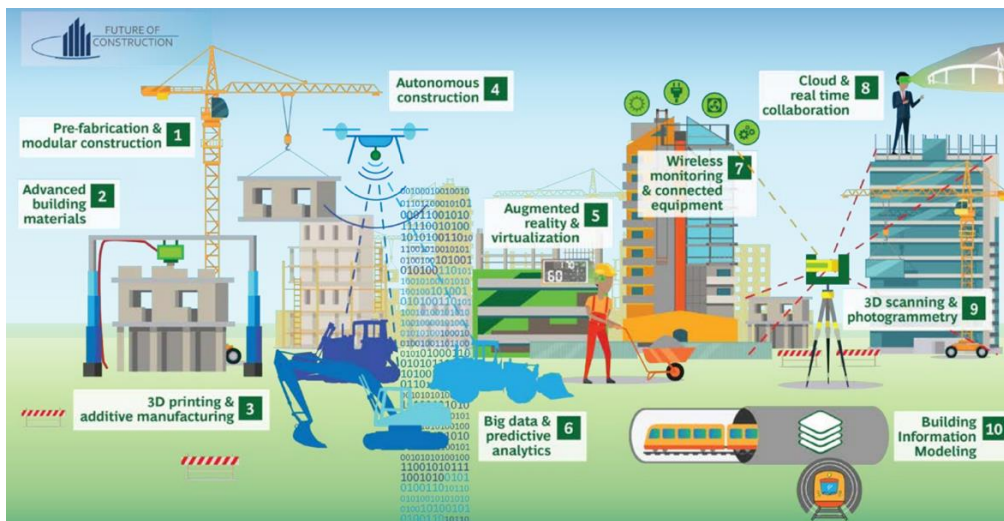
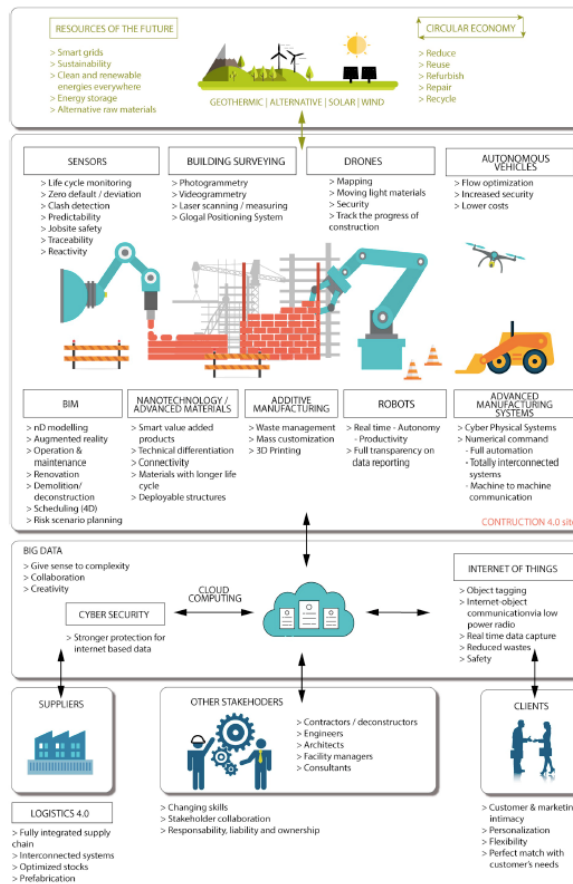
- Complessità: i progetti di costruzione sono imprese complesse a causa dell'elevata quantità di processi correlati, sotto-processi e dell'elevato numero di partecipanti al progetto coinvolti (architetto, appaltatore, subappaltatori, cliente, fornitori, ecc.) in diverse fasi e luoghi.
- Incertezza: poiché ogni progetto di costruzione è descrivibile come un'unica impresa site-based e limitata nel tempo; esiste poi una mancanza di specifiche complete per processi e sottoprocessi e uniformità di materiali, lavoro e team in cantiere, con il risultato di un ambiente imprevedibile.
- Catena di fornitura frammentata: un'altra caratteristica specifica del settore è l'elevata frammentazione nella catena di approvvigionamento in termini di un numero elevato di piccole e medie imprese con prodotti e servizi indifferenziati e capacità limitate per gli investimenti in nuove tecnologie.
- Pensiero a breve termine: la struttura del settore edile è stata descritta come un sistema debolmente accoppiato, con accoppiamenti stretti in singoli progetti, che supporta il pensiero a breve termine ma ostacola l'innovazione a lungo termine e apprendimento. Quindi, l'organizzazione decentralizzata delle imprese di costruzione e la natura temporanea dei progetti di costruzione sono un ostacolo all'innovazione.
- Cultura: il settore edile è noto per la sua cultura forte e rigida e per la sua forte resistenza al cambiamento.

A questi problemi possono poi essere affiancate altre sfide che sono state individuate da diversi studi, tra questi Farmer (2016), Global Industry Council (2018) e Sawhney & Agnihotri per citarne alcuni. La prima sfida è sempre associata ai bassi livelli di ricerca e sviluppo che portano a una mancanza di innovazione e ad un'adozione ritardata delle tecnologie, seguono poi: problemi relativi alla forza lavoro, inclusa la carenza di giovani talenti dovuta in parte alla scarsa attrattività dell'immagine dell'industria cantieristica; processi informali e mancanza di standardizzazione dei processi che portano alla frammentazione strutturale; bassi livelli di cooperazione inter-funzionale e collaborazione limitata che portano a una mancanza di cultura del miglioramento; bassa produttività, prevedibilità e profitti; regime di appalto basate sulle transazioni



contraddittorie; trasferimento di conoscenze insufficiente da progetto a progetto; questioni culturali e mentali che agiscono come un blocco per qualsiasi cambiamento.

Tutta questa serie di problemi amplifica la necessità di un cambiamento trasformativo nel settore e diversi studiosi sono concordi sul fatto che industry 4.0 possa fornire un ampio range di possibilità per perseguire tale cambiamento.



## 2. INDUSTRY 4.0 NELLA CANTIERISTICA

Da uno studio condotto da Thuy Duong Oesterreich e Frank Teuteberg, rispettivamente ricercatrice e professore dell'università di Osnabrueck in Germania, risulta che il Building Information Modeling, BIM, è considerato la tecnologia centrale per la digitalizzazione dell'ambiente di produzione edile. A seguire simulazione e modellazione vengono descritte come alcuni dei concetti più rilevanti nella gestione della crescente complessità dei processi produttivi con l'obiettivo di migliorarli impostando scenari e riducendo i rischi nelle prime fasi della produzione. Tra le altre tecnologie citate dallo studio troviamo il Product-Lifecycle-Management (PLM), la modularizzazione, la robotica, nonché tecnologie dell'informazione e della comunicazione come Mobile Computing e Radio-Frequency Identification (RFID) che viene identificata come una delle tecnologie chiave per sistemi cyber-fisici.

A questo punto possiamo tentare di dare una definizione di Industry 4.0 più su misura per la cantieristica, possiamo dire che in questo caso specifico il termine comprende un'ampia gamma di tecnologie e concetti interdisciplinari che consentono la digitalizzazione, l'automazione e l'integrazione del processo di costruzione in diverse fasi, possiamo anche usare il termine come sinonimo per descrivere l'uso crescente delle ICT, ovvero tecnologie dell'informazione e della comunicazione (dall'inglese Information and Communications Technology) e di altre tecnologie di produzione.

In questo contesto l'implicazione dei **sistemi Cyber-fisici (CPS)** ha lo scopo di facilitare il coordinamento bidirezionale tra modelli virtuali e costruzioni fisiche, incluse le convalide dei prototipi sviluppati dai professionisti del settore. L'applicazione del CPS permetterebbe inoltre l'utilizzo di un sistema di monitoraggio in tempo reale che consentirebbe ad esempio la verifica dell'uso dei dispositivi di protezione individuale (DPI) durante lo svolgimento delle attività di costruzione, ciò sarebbe possibile grazie al lettore RFID (Radio Frequency Identification, identificazione a radiofrequenza) che consente proprio il monitoraggio in tempo reale dei DPI per controllare che siano effettivamente e correttamente adoperati. La tecnologia RFID permette inoltre al personale del sito di monitorare e gestire efficacemente le proprie risorse come strumenti, attrezzature, materiali e componenti offrendo così una prima possibilità per l'automazione del processo di costruzione. Un ulteriore possibile

impiego viene individuato nella gestione dell'inventario e nella prevenzione dei furti in quanto i sensori incorporati possono fungere da strumento di recupero per individuare le apparecchiature smarrite. In fine L'RFID può essere impiegato per il controllo degli accessi al cantiere e per tenere traccia del numero e dell'identità del personale presente nel sito. Nonostante questi numerosi vantaggi applicativi appena elencati l'RFID non ha ancora trovato un impiego diffuso nella cantieristica.

Altra tecnologia di riferimento in questo contesto è individuabile nell'IoT (Internet of Things) e nell'IoS (Internet of Services); queste consentono la creazione di reti virtuali per supportare un ambiente di fabbrica intelligente. L'IoT viene descritto come una combinazione di sensori (come l'RIFD precedentemente introdotto), dispositivi di comunicazione, applicazioni Cloud, ERP (Enterprise resource planning, pianificazione delle risorse d'impresa) e tecnologie di business intelligence. I sensori vengono incorporati nei veicoli, nelle attrezzature pesanti, macchine, robot o componenti con la possibilità di connettersi ad Internet.

In questo modo il settore delle costruzioni potrebbe passare dalla manutenzione reattiva, nella quale macchinari ed attrezzature funzionano fino al guasto prima di essere riparate, ad una predittiva, nella quale i guasti vengono anticipati, o meglio, previsti, consentendo la riparazione prima ancora che si verifichino danni, permettendo in questo modo anche una riduzione dei costi.

Da uno studio elaborato da McKinsey & Company, l'implementazione dell'IoT nell'edilizia permetterebbe un risparmio compreso tra i 160 e i 930 miliardi all'anno, Tuttavia, anche in questo caso, sembrerebbe che questa tecnologia non sia stata adottata dalle società di costruzioni, a riprova di ciò sono stati pubblicati molti articoli che ne promuovono i vantaggi senza però poter identificare casi d'uso reali.

## ➤ 2.1 Digitalizzazione e Virtualizzazione

“Digitisation” è un termine tipicamente usato per indicare un trend relativo all’ampio uso di tecnologie dell’informazione e della comunicazione, ICT, per la creazione di una catena del valore digitale.

In questo contesto il cloud computing è responsabile della fornitura di servizi integrati con la possibilità di essere accessibili tramite internet come, per esempio, nella collaborazione interaziendale in cantiere. Questa tecnologia viene definita come abilitante non solo per il BIM, ma anche per applicazioni di gestione dei progetti, dei salari, dei sistemi ERP, delle piattaforme di gestione dei documenti digitali per la creazione di un'unica fonte di riferimento per il team di progetto. Infatti, l’uso di soluzioni basate su cloud consente a tutti i partecipanti al progetto di accedere alle informazioni da qualsiasi dispositivo di comunicazione con accesso a Internet, ad es. su una piattaforma di collaborazione per la condivisione di file per visualizzare, gestire, distribuire e collaborare ai documenti di costruzione in tempo reale.

Infine, poiché le enormi quantità di dati devono essere gestite, l’implementazione di soluzioni Big Data può aiutare a raccogliere i dati giusti da tutti i dispositivi o agenti che generano dati come modelli BIM, sensori incorporati, computer, macchine o persone, in modo da renderli accessibili ai partecipanti al progetto. In questo senso l’analisi dei Big Data storici consente di identificare modelli e probabilità di rischio di costruzione per consentire il miglioramento delle prestazioni in progetti futuri o progetti decisionali potenziati. Ad oggi l’analisi dei Big Data rientra tra i vari argomenti di Industry 4.0 ancora in fase di avviamento nella cantieristica.

Il Mobile computing è anch’esso un aspetto da menzionare se si parla di digitalizzazione. Si riferisce all’uso di dispositivi mobili per supportare le comunicazioni e la collaborazione durante il processo di costruzione, a causa dell’elevata quantità di dispositivi mobili, applicazioni e soluzioni disponibili questa tecnologia è già ampiamente diffusa nell’edilizia.

Dal momento che il settore cantieristico è caratterizzato da una struttura frammentata con un’elevata quantità di partecipanti diversi ad uno stesso progetto, si rende necessario l’impiego di una piattaforma comune come rete per la connessione, l’interazione e la

condivisione delle informazioni. I social media a tal proposito possono essere considerati adatti a questo settore. È stata proposta, ad es., una piattaforma social basata sul BIM per la gestione della conoscenza che consente di creare discussioni relative al progetto, fornire visualizzazioni alle parti interessate e creare quindi una conoscenza tacita. Inoltre, i social media rappresentano anche un metodo efficace per migliorare il reclutamento, la gestione dei progetti e il networking dei clienti. Le app di social media, come l'app interattiva di Blueprint "PlanGrid", offrono ai team di progetto l'opportunità di visualizzare, condividere, annotare e sincronizzare i progetti su dispositivi vari, come tablet, e nel cloud, semplificando così le comunicazioni tra i team in sede e fuori sede.

Anche in questo caso, nonostante i vantaggi offerti dai social media, il settore delle costruzioni è in ritardo rispetto alla maggior parte degli altri settori in termini di utilizzo dei social media.

Stando a quanto riportato, lo stato dell'arte delle tecnologie e dei concetti visti si trova a diversi livelli di maturità, possiamo sottolineare la varietà di soluzioni offerte per la digitalizzazione e l'automazione del processo di costruzione e per l'ottenimento di miglioramenti sostanziali nella produttività della costruzione.

L'industria delle costruzioni deve adottare l'innovazione tecnologica per rispondere a un mondo in rapida evoluzione. La rivoluzione digitale e la carenza di manodopera qualificata nel settore edile sono due questioni critiche che accelerano questa trasformazione. La rapida espansione di tecnologie avanzate, come IoT, BIM e altri sistemi digitali, sta potenziando il settore cantieristico e promette di aumentare la produttività, la qualità, i costi e l'efficienza delle risorse delle costruzioni.

## ➤ 2.2 *Construction Supply Chain*

Precedentemente abbiamo analizzato la natura delle imprese appartenenti al mondo della cantieristica e abbiamo visto che tra gli aspetti maggiormente caratterizzanti di questo settore troviamo “Catena di fornitura frammentata”. Le catene di approvvigionamento delle costruzioni, abbreviate mediante l’acronimo “CSC” (Construction Supply Chain), sono organizzazioni temporanee che richiedono sforzi di coordinamento elevati per allineare i processi degli attori della catena di approvvigionamento. Una caratteristica decisiva delle CSC è che tutti gli attori coinvolti hanno distanze diverse, sia fisiche che cognitive, dal sito di costruzione. Questa caratteristica facilita gli atteggiamenti di “vittoria-perdita” tra fornitori e produttori, che si concentrano su guadagni a breve termine e non sono disposti ad investire in relazioni a lungo termine. Ne consegue che il flusso di informazioni tra gli attori coinvolti è spesso scarso a causa dello scambio di informazioni inadeguato e della comunicazione limitata.

Le barriere alla comunicazione, o l’esclusione dai flussi informativi, influiscono negativamente sull’impegno e sul coinvolgimento nella ricerca di soluzioni. In questo senso proprio a seguito dell’avvento dell’industria 4.0 sono emersi concetti e tecnologie che offrono la possibilità di affrontare le sfide legate ad un inefficiente *Construction Supply Chain*. Vediamo quindi come alcuni di questi concetti vengono applicati in questo contesto.

L’uso della tecnologia dell’informazione (IT) e del cloud computing ha trasformato in modo significativo la catena di approvvigionamento fornendo accesso in tempo reale ai dati da qualsiasi luogo e migliorando la collaborazione. L’applicazione della tecnologia di comunicazione mobile con la tecnologia internet alla CSC può migliorare il flusso di materiale, la condivisione e la comunicazione delle informazioni in tempo reale, l’integrazione e il coordinamento nella CSC, il supporto tecnologico e le questioni di sicurezza associate.

Le applicazioni di cloud computing consentono di integrare i dati di fornitori, vettori e applicazioni nell’edilizia, consentendo aggiornamenti in tempo reale dello stato dei materiali da costruzione. Esso consente inoltre di affrontare le sfide associate alla duplicazione o ai

conflitti di dati che risultano dall'integrazione di diversi attori nella catena di approvvigionamento.

Le tecnologie di collaborazione basate sul cloud coinvolgono i partner della CSC sin dalle prime fasi nelle decisioni chiave per sincronizzare i processi di progettazione, acquisto, fabbricazione e costruzione, ciò permette di armonizzare i processi nelle aziende fornitrici e tra fornitori e cantieri.

Vi sono inoltre diverse tecnologie che possono essere implementate in questo contesto, specialmente per quanto riguarda il tracciamento e la localizzazione degli oggetti.

Tra queste troviamo ad es. la Radio Frequency Identification (RFID), il Global Positioning System (GPS) e il Geographic Information System (GIS).

Dagli studi emerge un alto potenziale per la catena di approvvigionamento edilizia di trarre vantaggio da queste tecnologie attraverso la riduzione degli errori e la diminuzione dei processi irregolari, una minore dipendenza da scorte di materiali costosi, riduzione della durata delle attività e quindi una complessiva riduzione dei costi del lavoro. Inoltre, queste tecnologie facilitano l'informazione inter-organizzativa in tempo reale e aumentano la produttività del cantiere. I sistemi di monitoraggio e localizzazione combinano quindi l'RFID per il raccoglimento di informazioni relative ai materiali utilizzando GPS e GIS per registrare la posizione dei veicoli di trasporto interni ed esterni. L'integrazione della tecnologia RFID con il GPS riduce le attività relative all'identificazione manuale e alla localizzazione dei materiali e ai componenti identificati o spediti in modo errato. Per fare un esempio di applicazione di queste tecnologie possiamo fare riferimento alla gestione del traffico nel sito di lavoro, dove l'arrivo dei veicoli nei cantieri può essere gestito e coordinato mediante l'impiego delle tecnologie precedentemente citate per evitare interruzioni al flusso del traffico locale.

È stato infatti dimostrato come i sistemi di trasporto intelligenti supportati digitalmente e i sistemi di veicoli connessi possono ottimizzare il flusso del traffico nei cantieri.

Tuttavia, vi sono diversi studi che sottolineano come l'applicazione di queste tecnologie nella catena di approvvigionamento cantieristica sia in ritardo rispetto agli sforzi di ricerca per svilupparle.

In questo senso un ulteriore “aiuto” per una digitalizzazione della CSC potrebbe arrivare dal BIM. Infatti, molti autori sono concordi sul fatto che l’implementazione del BIM migliorerà la collaborazione tra i membri della catena di approvvigionamento nella cantieristica, incrementandone le prestazioni.

La qualità della progettazione e la collaborazione tra gli attori della CSC possono essere notevolmente migliorati coinvolgendo i fornitori nelle prime fasi di progettazione e integrando le informazioni sulla catena di fornitura nei modelli di costruzione. Il BIM, a questo proposito, è visto come un potente strumento per integrare il processo decisionale attraverso la visualizzazione dello status quo dei flussi di materiale. Ciò riduce al minimo i costi logistici, in particolare il costo di ordini, magazzini e trasporto.

In conclusione, possiamo dire che c’è una sorta di accordo totale sul fatto che il BIM dovrebbe essere utilizzato per gestire la sincronizzazione delle catene di approvvigionamento, per organizzare l’approvvigionamento stesso dei materiali e la produzione di componenti per l’edilizia e migliorare la qualità delle decisioni.

Le tecnologie di integrazione e condivisione delle informazioni favoriscono un maggiore flusso di informazioni. Le piattaforme di gestione basate sul BIM vengono utilizzate per scambiare e recuperare informazioni tra le varie parti interessate nella CSC.

Parallelamente, il collegamento tra BIM e GIS consente il monitoraggio trasparente dei materiali lungo la catena di approvvigionamento, Il BIM in questo caso mostra dove viene utilizzato il materiale nell’edificio. L’armonizzazione delle interfacce tra GIS, BIM e dispositivi mobili migliora il flusso di materiale e di informazioni tra i vari partner della CSC.



## ➤ 2.3 Simulazione e modellazione

Se prendiamo in considerazione la natura delle imprese di costruzioni possiamo definire un settore, già ampiamente caratterizzato da un sistema altamente complesso, influenzato anche da diversi fattori esterni, tra questi troviamo le condizioni metereologiche, la prestazione dei lavoratori e le fluttuazioni dell'offerta; possiamo quindi indentificare nella simulazione come una soluzione che consente una migliore progettazione delle operazioni di costruzione. In questo contesto rientrano ovviamente tecnologie come la Realtà Aumentata (AR), la Realtà Virtuale e la Realtà Mista che usate in combinazione con il BIM offrono diverse soluzioni applicative.

### - 2.3.1 BIM

Nel corso di questa “revisione” di Industry 4.0 nella cantieristica, o Construction 4.0 per l'appunto, abbiamo incontrato spesso il termine BIM, cercando di darne in qualche modo una prima spiegazione all'interno di alcuni intrecci con altre applicazioni e tecnologie. Entriamo ora nel dettaglio di questo “paradigma”.

Abbiamo già anticipato che il BIM è considerato da diversi studiosi e ricercatori del settore come la tecnologia centrale per la digitalizzazione dell'ambiente di produzione edile. Nel mondo della ricerca vi è infatti un'opinione concorde che un uso premuroso del BIM può migliorare la qualità degli edifici consentendo la scoperta tempestiva di potenziali problemi attraverso maggiori dettagli e informazioni nella fase di progettazione. Le piattaforme cloud e BIM o le app di social media possono migliorare in modo efficiente la collaborazione tra le aziende e aiutare a ridurre i tempi di consegna dei progetti e mantenere quest'ultimi sotto il budget.

Il BIM viene definito come un insieme di processi, ruoli e tecnologie interagenti, che creano modelli virtuali basati su informazioni per gestire i dati in formato digitale. È una risorsa/modello di conoscenza multidimensionale creata per contenere le informazioni su una struttura che costituisce una base affidabile per le decisioni durante il ciclo di vita della struttura. Consente lo scambio di informazioni in modo efficiente in tempo reale per

consentire agli utenti di realizzare il valore della gestione delle informazioni digitali nella pratica. L'obiettivo è progettare, costruire e mantenere un progetto per tutto il suo ciclo di vita. Fornisce quindi un hub centrale di dati a cui progettisti, architetti, ingegneri, operatori vari, appaltatori e società possono accedere ed eseguire questo hub di dati per nuovi edifici di qualsiasi tipo e dimensione oltre che a progetti esistenti.

Per creare un modello BIM accurato e veloce dei progetti esistenti, sono utili recenti progressi tecnologici come la scansione laser, la fotogrammetria e i droni. Recentemente ne è emersa una versione più sofisticata, denominata Historic Building Information Modeling (HBIM), questo tipo di modellazione è in grado di sviluppare modelli BIM completi da dati rilevati a distanza, consiste in una libreria di oggetti parametrici riutilizzabili che si basano su dati architettonici storici e un sistema per mappare questi dati su modelli 2D e 3D. Come esempio applicativo prendiamo la cattedrale di Notre Dame, a seguito dei devastanti danni causati dall'incendio dell'Aprile 2019 le operazioni di restauro sono state condotte utilizzando proprio l'HBIM, qui i dati della nuvola di punti 3D catturati dallo scanner laser producono immagini precise dell'edificio in formato digitale per creare il suo modello HBIM che ha contribuito a porre le basi dell'intero progetto di ricostruzione e restauro.

Inoltre, il BIM può essere utilizzato efficacemente come un potente strumento di gestione di diverse fasi di nuovi progetti, o di quelli già esistenti, in correlazione ad alcune attività come: analisi della posizione del sito, progettazione di un modello 3D, analisi di varie opzioni di progettazione, rilevamento delle interferenze, simulazione energetica, programmare la pianificazione del tempo, stima dei costi, coordinamento di un modello tra le diverse parti interessate del progetto, controllo qualità, visualizzazione, modellazione "as-built", gestione delle strutture e generazione di piani di approvvigionamento.

Il BIM ha la capacità di creare, aggiornare, mantenere, gestire, archiviare e condividere informazioni in più dimensioni. Un vantaggio chiave di ciò risiede nell'efficienza raggiunta in ogni fase del ciclo di vita del progetto, che in genere si traduce in una riduzione dei costi.

Un concetto generalmente collegato al BIM è il PLM, ovvero *Product Lifecycle Management*. È una nozione che si occupa della perfetta integrazione di tutte le informazioni prodotte durante tutte le fasi dell'intero ciclo di vita del prodotto di un'azienda, considerato come elemento chiave per facilitare lo sviluppo di una catena del valore digitale, può anche essere

considerato come una soluzione che consente il miglioramento della collaborazione aziendale.

Tuttavia, nonostante il successo finora ottenuto dal BIM, ancora un'alta percentuale di progetti non ottiene tutti i vantaggi dell'adozione e dell'implementazione del BIM a causa di alcune limitazioni che ne rallentano il processo di implementazione. Ciò comporta che, dal punto di vista tecnologico, l'utilizzo del BIM non ha ancora raggiunto il suo pieno potenziale; questo dipende dal fatto che mentre il BIM ci consente di entrare comodamente in un progetto, il punto debole sta nel non essere in grado di seguire il progetto su scala pratica. Sarebbe infatti ideale se la scala reale potesse essere immersa nel modello. L'Extended Reality (XR) fornisce una soluzione a questo problema, come vedremo a breve.

### - 2.3.2 Stato del BIM nel mondo

La prima adozione del BIM nel settore edile risale già alla metà degli anni 2000 come mezzo per superare la bassa efficienza edilizia e altri ostacoli che limitavano l'innovazione. Da numerosi rapporti si evince che il mercato BIM sarebbe enorme mentre la sua adozione è ancora lenta in molti paesi. Secondo lo Smart Market Report il BIM è obbligatorio in alcuni paesi come gli Stati Uniti dove già tra il 2007 e il 2012 l'adozione BIM è aumentata del 54%, il Regno Unito e una serie di altri paesi, nel Medio Oriente invece l'adozione del BIM è stata più carente, qui fino al 2016 infatti solo il 10% dei progetti di costruzione utilizzava questo strumento. Negli USA a causa della forte frammentazione tra Enti federali ed i singoli stati, il processo di trasformazione del settore AEC ha perso slancio. Dal 2017 però la diffusione del BIM tra i vari stati confederati ha ritrovato vigore; questo grazie a 2 aspetti fondamentali che hanno permesso i maggiori progressi della produttività del mondo delle costruzioni americane, ovvero standardizzazione e collaborazione.

In Canada nonostante la comunità del settore AEC è già pronta al cambiamento verso il digitale nelle costruzioni, le istituzioni non lo sono ancora, non avendo una politica istituzionale sul BIM e tanto meno obblighi normativi per il suo uso nei lavori pubblici. Di conseguenza, le imprese ed i tecnici canadesi si stanno così auto organizzando, permettendo la diffusione di progetti pilota innovativi e all'avanguardia.

Nel continente asiatico la Cina è sicuramente il Paese che ha maggiore familiarità con il BIM, avendo anche il maggior tasso di crescita e diffusione di tale metodologia: infatti a partire dal 2016 si è registrata in Cina una crescita esponenziale nel grado di utilizzo del BIM da parte di architetti e soprattutto imprenditori cinesi. Infatti, stando ai dati, il numero di architetti che hanno iniziato ad utilizzare il BIM per una parte dei loro progetti è salito dell'89%, e addirittura del 108% fra le imprese. Un livello di crescita che dimostra chiaramente l'elevato valore aggiunto attribuito a questo strumento.

La Russia sta cercando di diventare uno tra i Paesi leader nell'utilizzo del BIM nel mondo delle costruzioni, con l'obiettivo di esportare le proprie competenze in tutto il mondo.

I governi Europei hanno già da molti anni compreso che l'unica strada per rendere il settore delle costruzioni più efficiente, limitando al minimo gli sprechi in termini di tempi e costi, è quello di incentivare la trasformazione verso il digitale dei processi costruttivi.

I progressi della rivoluzione digitale inglese trovano un esempio emblematico nell'obbligo, introdotto sin dal 2011, di utilizzare modelli BIM per qualsiasi progetto pubblico e nelle grandi infrastrutture. Ciò ha posto il Regno Unito al primo posto in Europa per lo sviluppo delle costruzioni. In Francia il piano di transizione digitale dell'edilizia promosso dal governo francese, si pone come obiettivo il 2022 per la completa diffusione delle strategie BIM nella progettazione/gestione delle opere pubbliche, nelle grandi infrastrutture, nonché nell'edilizia privata. Dal 2015 anche la Germania ha iniziato a ispirarsi all'esempio del Regno Unito, il governo tedesco aveva infatti annunciato ufficialmente che l'uso del BIM sarebbe diventato obbligatorio per tutti i progetti di trasporto ed infrastrutture tedeschi entro la fine di quest'anno. A differenza di molti altri Paesi nel mondo, i Paesi scandinavi si coordinano l'un l'altro sviluppando organizzazioni e piattaforme comuni. In Svezia la Swedish Standards Institute già dal 1991 aveva pubblicato una serie di guide per la promozione del BIM nel Paese, mentre dal 2014 la BIM Alliance Sweden ha riunito i principali enti e attori, sia pubblici che privati, con lo scopo di trovare maggiori risorse a supporto dell'innovazione delle costruzioni.

Prendiamo ora in considerazione il caso degli Emirati Arabi Uniti (EAU). Gli EAU sono un'unione di sette stati tra cui Abu Dhabi e Dubai. Questi paesi sono stati caratterizzati da una crescita economica e da un'urbanizzazione estremamente rapide. Il settore delle

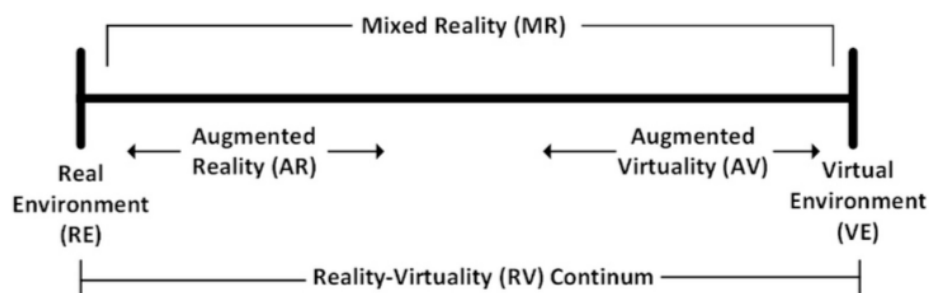
costruzioni negli Emirati Arabi Uniti è uno dei principali fattori abilitanti della rapida crescita e prosperità del paese. La maggior parte dei progetti di costruzione degli EAU sono unici nella loro natura, con un alto livello di rischio e un gran numero di sfide; basti prendere come esempi il Burj Khalifa, che con i suoi 829,80m è il grattacielo più alto del mondo, o il Burj Al Arab, hotel a 7 stelle e 3° più alto al mondo. I progetti negli EAU sono generalmente ad alto livello di rischio, altamente frammentati, competitivi e con alcuni ostacoli tecnici e ingegneristici unici. Ma sebbene l'industria delle costruzioni qui svolga un ruolo molto importante nell'economia nazionale, ci sono ancora molti problemi che continuano ad ostacolarla, inclusi gravi ritardi che interessano non solo l'industria edilizia ma anche l'intera economia; secondo uno studio il problema principale nell'implementazione del BIM negli EAU sta nella mancanza di standard e protocolli BIM pubblicati e accettati. Tuttavia, in seguito alle crescenti esigenze del settore edile degli EAU e al movimento mondiale verso l'adozione e l'implementazione del BIM, si è deciso per una spinta decisiva verso la sua adozione, soprattutto in considerazione di EXPO 2020 (poi rinviato al 2021 causa Covid-19) che si terrà a Dubai, la prima esposizione universale in un paese arabo e che rappresenterà perciò un'occasione molto importante per mettere sotto i riflettori i progressi ottenuti in svariati campi, tra cui ovviamente anche l'edilizia.

Secondo il rapporto intitolato *“Mercato dei modelli di informazione sull'edilizia BIM- Opportunità e previsioni per il 2022”* il mercato BIM raggiungerà 11,7 miliardi di dollari entro il 2022, con un tasso di crescita annuale del +21,6%.

### - 2.3.3 *Extended Reality (XR)*

Extended Reality è un termine “collettivo” per le tecnologie immersive; collettivo perché comprende tecnologie come realtà virtuale (VR), realtà aumentata (AR) e realtà mista (MR). Si riferisce allo spettro di esperienze che sfocano il confine tra il mondo reale e ambienti virtuali. Le tecnologie XR immergono l'utente attraverso immagini, audio e segnali tattili e si riferisce a tutti gli ambienti combinati reali e virtuali e alle interazioni uomo-macchina generate dalla tecnologia e dai dispositivi indossabili.

Le tecnologie di interazione uomo macchina possono essere classificate secondo ad uno schema di Milgram Continuum: considera i due estremi, il mondo reale e il mondo virtuale, l'ambiente reale viene ricreato in un ambiente virtuale nel quale la persona può "immergersi" tramite sensori, visori etc. Nel mezzo esistono una serie di combinazioni diverse: augmented reality (strumenti tecnologicamente avanzati utilizzati nell'ambiente reale) e augmented virtuality (nella realtà virtuale compaiono oggetti reali ripresi da telecamere).



XR offre un nuovo modo di generare creatività progettuale oltre la tavola da disegno 2D e lo schermo del computer. Il comando vocale e le funzioni di riconoscimento dei gesti consentono una maggiore interazione uomo-macchina.

Queste tecnologie sono ancora in fase formativa in quanto sono attualmente in fase di sviluppo applicazioni per l'utilizzo in cantiere. L'interazione dell'utente mediante gesti, movimenti della testa (quindi lo sguardo) e anche la voce, offre l'opportunità ai partecipanti al progetto di esplorare il modello 3D per migliorare la comunicazione, la collaborazione e la relazione con il cliente. Anche se, come pocanzi anticipato, queste tecnologie sono ancora in fase di sviluppo, esistono già delle soluzioni disponibili sul mercato, specialmente legate a dispositivi indossabili per migliorare la sicurezza nei cantieri. Ad es. l'elmetto "Daqri Smart" è stato proposto per aiutare il personale edile visualizzando sovrapposizioni visive 3D nel campo visivo di chi lo indossa, sono poi state offerte altre applicazioni basate sull'uso degli Smart Glasses che consentono di fornire istruzioni o supporto in remoto.

#### - 2.3.4 *BIM to XR*

Il BIM ha rivoluzionato il settore AEC (settore architettonico ingegneristico ed edilizio) e le parti interessate possono sfruttare tutto il potenziale della tecnologia emergente integrando BIM e XR. Le tecnologie VR che incorporano il BIM sono utilizzate principalmente per supportare la progettazione, il processo decisionale, l'istruzione e la formazione relative alla progettazione e costruzione e alla gestione della sicurezza delle costruzioni edili. Si prevede che l'AR avrà l'impatto più significativo nel settore AEC, in particolare sulle operazioni di costruzione, in quattro modi: riducendo le rilavorazioni, incremento della sicurezza, abbassando il costo del lavoro e assicurandosi che le scadenze siano rispettate.

Il BIM non riguarda solo la progettazione virtuale con elementi 3D, ma anche le informazioni incorporate e l'integrazione dei dati durante il ciclo di vita del progetto. Con il flusso di lavoro "BIM to XR" è possibile visualizzare il progetto proposto in modo interattivo con scala umana e esperienza immersiva. Gli utenti possono interagire con il modello di informazioni 3D sopra lo spazio fisico sovrapponendo le diverse opzioni di progettazione all'interno delle condizioni esistenti del cantiere o leggendo informazioni aggiuntive che non esistono nel mondo reale.

L'integrazione della tecnologia olografica, come ad es. Microsoft HoloLens, con flussi di lavoro BIM aggiunge un valore senza precedenti dalla progettazione alla costruzione fino alla manutenzione. Questi progressi consentono anche di utilizzare modelli complessi di edifici esistenti come l'HBIM nei dispositivi XR per estrarre informazioni utili per gli specialisti nell'industria AEC. Il processo BIM-to-XR richiede una piattaforma / sistema per condividere dati e informazioni sulla collaborazione e consentire la comunicazione in tempo reale tra i diversi "stakeholder" / utenti. Qui entra in gioco una tecnologia di cui abbiamo già discusso precedentemente, ovvero il Cloud, infatti, i vari sistemi esistenti sul mercato per la condivisione di dati BIM/XR si basano sul Cloud (ad es. Autodesk BIM360); i file possono essere condivisi attraverso questi database. Tuttavia, la tecnologia XR è ancora in fase di sviluppo e ci sono alcune limitazioni che devono essere superate. Queste limitazioni includono il costo elevato della strumentazione necessaria, del Software BIM e XR, la difficoltà nella produzione dei contenuti XR. Altre limitazioni includono la confusa complessità all'interno del flusso di lavoro da BIM a XR e problemi di sicurezza con la condivisione di file.

### - 2.3.5 *Considerazioni finali*

Riprendendo il concetto di Industry 4.0, l'idea della catena del valore digitale e la collaborazione interaziendale vengono presentate come l'ingegneria end to end lungo l'intera catena del valore e l'integrazione orizzontale attraverso le reti del valore. Di conseguenza il BIM può essere considerato come una delle tecnologie centrali a supporto dell'idea principale di Industria 4.0. Per essere sfruttato il BIM necessita di essere accompagnato da tecnologie di Cloud e mobile computing oltre che dalla digitalizzazione dei flussi informativi interni all'azienda.

Ad oggi nazioni come Stati Uniti, Regno Unito ed Emirati Arabi Uniti hanno investito pesantemente in programmi di finanziamento nazionali, BIM e piani per l'implementazione e gli incentivi.

Il governo tedesco aveva già annunciato il suo piano per l'introduzione del BIM per la pianificazione e la realizzazione di progetti infrastrutturali su larga scala con lo scopo di rendere obbligatorio il BIM per questi progetti.

In sostanza possiamo definire il BIM come una tecnologia innovativa per progettare e gestire virtualmente progetti di costruzione proprio attraverso la simulazione di un modello virtuale di un edificio. Il modello di un edificio permette a tutti i partecipanti al progetto di collaborare in modo efficiente durante l'intero ciclo di vita dell'edificio. Questo grazie alle informazioni relative alla pianificazione del progetto, alla stima dei costi, all'inventario dei materiali e alle informazioni tecniche sulla geometria e sulle relazioni spaziali dell'edificio stesso.



## ➤ 2.4 Additive Manufacturing

La *tecnologia additiva* (AM) è rappresentata principalmente dalla stampa 3D, definita come “il processo di unione dei materiali per creare oggetti dai dati del modello 3D, di solito strato su strato, in contrapposizione alle metodologie di produzione sottrattiva, come la lavorazione tradizionale”. Inizialmente utilizzato per produrre modelli di prodotto concettuali permettendo l’identificazione dei difetti di progettazione e testando i prodotti durante il processo di progettazione. Ad oggi l’impiego di questa tecnologia è significativamente aumentata, utilizzata per la produzione di giocattoli, mobili, prodotti automobilistici e aerospaziali ma anche dispositivi medici. A livello industriale possiamo identificare una serie di caratteristiche che hanno permesso il crescente impiego della AM: non sono necessari utensili, riducendo così tempi e costi di produzione, possibilità di cambiare velocemente design, ottimizzazione del prodotto per la funzione, produzione di prodotti personalizzati più economica, semplificazione della catena di approvvigionamento, tempi di consegna più brevi e scorte inferiori. Questa tecnologia consente quindi la produzione automatizzata dei componenti architettonici più complessi senza costi di manodopera aggiuntivi.

Il modello computerizzato viene prima generato utilizzando un sistema CAD (modello solido o di superficie) il quale viene tassellato e convertito nel formato STL standard, che viene quindi suddiviso in più sezioni trasversali che vengono inviate al sistema AM. Il modello CAD deve essere un solido 3D, utilizzando la geometria costruttiva solida (CSG) o la rappresentazione del contorno.

A causa della natura specifica di ciascuna tecnologia e del tipo di materiali e delle dimensioni degli elementi da costruzione, i processi AM utilizzati nel settore delle costruzioni sono principalmente processi di estrusione e binder jetting (tecnica di stampa 3D che utilizza un letto di polveri, che vengono fatte aderire tramite un legante depositato tramite una testa a getto d’inchiostro) per applicazioni off-site e on-site, inclusa la fabbricazione di nuovi elementi di costruzione/case o applicazioni di riparazione.

Vediamo ora alcuni esempi di tecnologie additive attualmente disponibili per la cantieristica.

L’ingegnere Behrokh Khoshnevis, presidente della Contour Crafting Corporation, ha ideato il processo che va proprio sotto il nome di Contour Crafting, una delle prime tecniche proposte

per l'industria edile; si tratta di una tecnologia di deposizione multi-materiale che combina un processo di estrusione per formare le superfici dell'oggetto e un processo di riempimento per costruire la regione centrale della struttura. È stato utilizzato per estrudere materiali in cemento o pasta ceramica attraverso una testa di stampa 3D montata su un carrozzone. Il processo richiede delle strutture di supporto per creare sporgenze mentre la rugosità superficiale viene levigata successivamente con una spatola. Per la fabbricazione di una porta o di una finestra, viene posizionato un architrave per colmare lo spazio tra le pareti e la parte superiore del muro viene stampata sopra l'architrave. La tecnica del Contour Crafting è stata validata attraverso la costruzione di strutture su piccola scala e pareti in scala abitativa, e ha prodotto con successo elementi murari di 2m di altezza con una larghezza di 13,5 cm ad una velocità di circa 1 m<sup>2</sup>/h. Nell'immagine vediamo un esempio della tecnologia Contour Crafting.



Un altro esempio sta nel sistema denominato Cable-Suspended Contour-Crafting ed è stato proposto dal professore Paul Bosscher dell'Università dell'Ohio, si tratta di una piattaforma mobile per la creazione di contorni guidata da un robot traslatore sospeso su un

cavo; è stato sviluppato per costruire strutture di grandi dimensioni, riducendo i costi e aumentando la portabilità.

È invece da attribuire allo studio di architettura milanese CLS Architetti la creazione di una casa in cemento di 100m<sup>2</sup> composta da 35 moduli completamente stampati in 48 ore, tutto ciò nel 2018 (foto a destra).



Recentemente la 3D Printhuset ha sviluppato 4 stampanti 3D, la più grande di queste consente un volume di stampa di 9,5x19,5x5,8m, estrudendo strati con 20 mm (altezza) x 50 mm (larghezza) a 8m/minuto. La Apis Corporation utilizza una stampante per gru mobile rotante di 360° in grado di stampare entro 3,1 m circa con una velocità di 10m/min e una precisione

di  $\pm 0,5$  mm, sia il calcestruzzo che il geopolimero possono essere usati per la costruzione di materiali. L'istituto di Architettura Avanzata della Catalogna (IAAC) ha sviluppato il concetto di "minibuilders", utilizzando una famiglia di tre piccoli robot in grado di stampare il calcestruzzo. In questo caso, uno o più robot di fondazione creano l'impronta della struttura, seguiti da robot di presa fissati sull'impronta per produrre la struttura, utilizzando come supporto gli strati precedentemente stampati. I robot di presa sono in grado di stampare soffitti e architravi in orizzontale.

Infine, citiamo il sistema Smart Dynamic Casting dell'ETH di Zurigo, in cui una piccola cassaforma è fissata a un braccio robotico a 6 assi programmato per muoversi verticalmente. Il materiale cementizio scorre lentamente dal fondo della cassaforma, formando in questo modo una colonna; per garantire una formabilità ottimale del calcestruzzo, un sistema di feedback valuta costantemente le proprietà del materiale, regolando la velocità dei movimenti.

La maggior parte delle tecnologie di stampa 3D sviluppate per il settore edile vengono quindi utilizzate per costruire nuovi edifici. Tecnologie di reverse engineering come scanner laser, termografia a infrarossi e fotogrammetria sono state sviluppate per modelli di stampa on-site adatti alle costruzioni esistenti. Inoltre, per applicare strati su pareti esistenti vengono utilizzate tecniche di estrusione verticale robotica e materiali su misura, come ad es. il calcestruzzo espanso.

Le tecniche AM offrono anche la possibilità di costruire architetture a forma libera personalizzate con peso ridotto utilizzando elementi strutturali metallici. Dal punto di vista dei materiali utilizzati, l'AM consente l'uso di materiali naturali e riciclati contribuendo a un approccio di costruzione più sostenibile, che è uno degli obiettivi più importanti di "Construction 4.0".

L'AM si sta evolvendo come tecnologia di trasformazione per il settore delle costruzioni, consentendo ad architetti ed ingegneri di progettare geometrie più complesse. In primo luogo, alcuni gruppi hanno adottato i sistemi esistenti per stampare elementi da costruzione in calcestruzzo o polimeri. Nella maggior parte dei casi, questi elementi sono stati prodotti off-site per poi essere assemblati in loco. Gradualmente sono poi stati sviluppati sistemi di media e grande scala concentrandosi maggiormente sulle applicazioni on-site.

Per migliorare il processo di stampa, è necessario definire le proprietà fresche dei materiali da costruzione stampabili poiché le proprietà indurite sono fondamentali per prevedere la stabilità dei componenti stampati.

Definiamo quindi quelle che sono le sfide chiave per la cantieristica:

- 1) Il tempo di stampa deve essere ridotto per evitare la solidificazione prematura dei materiali stampati;
- 2) Il tempo di costruzione va accelerato, in questo senso è il processo di deposizione di più materiali l'aspetto da migliorare, per fare ciò ad es. possono essere usate testine di stampa multiple;
- 3) Lo stesso processo di deposizione non deve superare un limite critico per garantire una buona adesione tra gli strati, mentre gli strati stampati inferiori dovrebbero essere in grado di supportare quelli superiori;
- 4) La velocità di deposizione deve essere controllata con precisione per evitare l'accumulo di materiale in aree specifiche, come nel caso degli angoli, a causa del cambiamento di velocità di movimento della testina di stampa.
- 5) Le operazioni di finitura devono essere considerate nel processo produttivo poiché la maggior parte delle attuali tecnologie stampano elementi con un aspetto ruvido.
- 6) Un feedback in tempo reale della stampante è fondamentale per correggere la geometria e l'aspetto della parte stampata, esaltandone così le qualità.



La produzione di grandi strutture non supportate (tetti) o vuoti (finestre, porte, ecc.) è ancora una grande sfida. L'uso di sistemi di stampa assistita da robot per applicazioni di riparazione di edifici, nonché l'esplorazione del lavoro collaborativo con altri robot o droni per assemblare parti stampate o applicare materiali di rivestimento, sarà una tendenza importante per il futuro del settore edilizio.

L'AM può avere un impatto positivo sul settore edile, a condizione che sia accettato dalle parti interessate nel settore cantieristico, sebbene, come spesso accade quando analizziamo una tecnologia di Industry 4.0 nell'ambito cantieristico, la sua fattibilità economica è un fattore non trascurabile. Ad oggi, i suoi costi potrebbero risultare superiori a quelli delle tecniche di costruzioni tradizionali, ma rappresenterà un valore aggiunto nella visione di un 'industria edile moderna.

In questo senso possiamo infine stabilire che la maturità di questa tecnologia è ad un punto tale da consentire l'esecuzione di test a grandezza naturale basati su prototipi e ne è prevista un'applicazione diffusa proprio a partire da quest'anno.

Per quanto riguarda la **Modularizzazione**, nel nostro caso specifico questo concetto è noto come costruzione prefabbricata, si riferisce cioè alla fabbricazione di componenti edili di grandi dimensioni lontano dal sito del cantiere dove vengono poi trasportati ed assemblati utilizzando ad esempio le Gru. Anche in quest'ultimo caso, come per la stampa 3D, possiamo identificarne un uso ampio nelle imprese di costruzioni, ciò in conseguenza dei grandi vantaggi offerti nell'incremento della qualità e della sicurezza con la contemporanea riduzione di sprechi e costi.

## ➤ 2.5 Robotica

Viene identificata nel supporto di visione per la Smart Factory. Insieme ai sistemi automatizzati offrirebbe il potenziale per affrontare le carenze legate all'edilizia, tuttavia il livello di adozione nel settore è molto basso. La Robotica e i sistemi automatizzati hanno il potenziale per rivoluzionare e fornire molti vantaggi all'industria delle costruzioni nel suo complesso. L'edilizia è un settore ad alta intensità di manodopera e in questo senso i sistemi robotici e l'automazione si sono dimostrati molto efficaci in altri settori per la riduzione dei costi di manodopera migliorando contemporaneamente produttività e qualità. Inoltre, i sistemi robotici possono ridurre gli infortuni liberando i lavoratori dallo svolgimento di attività pericolose, come ad es. l'automazione robotica dell'assieme di travi in acciaio per sostituire i lavoratori umani. I robot potrebbero poi anche essere usati per smistare i rifiuti derivanti dalle costruzioni alla ricerca di materiali riciclabili, rimuovere l'amianto o rifinire i pavimenti in cemento.

I primi sistemi robotici sono stati sviluppati a partire dagli anni '60-'70 contemporaneamente a quando altre industrie hanno iniziato la loro automazione come, ad esempio, l'industria automobilistica dove oggi vengono utilizzati sia in fase di produzione che di assemblaggio, mentre nell'edilizia c'è ancora un gap da colmare, sia nella ricerca che nella pratica.

Questo gap è imputabile al basso livello di standardizzazione nel processo di costruzione e l'ambiente stesso delle costruzioni non sembrerebbe ideale per la robotica. Eppure, nonostante questo gap, l'automazione e la robotica stanno influenzando in modo significativo il settore nel suo complesso e giocheranno un ruolo attivo sui futuri sviluppi dell'industria. In questo senso il BIM insieme alle tecnologie di rilevamento e all'intelligenza artificiale hanno il potenziale per guidare l'adozione della robotica anche nel settore delle costruzioni.

I tipi di automazione e tecnologie robotiche per la costruzione possono essere raggruppati in quattro in quattro categorie principali:

- 1) Sistemi di prefabbricazione off-shore: tecnologie che producono componenti per i cantieri in luoghi ad esso esterno in modo automatizzato. L'obiettivo principale di questi sistemi è di migliorare la qualità dei componenti edilizi prefabbricati. Includono approcci di produzione di componenti per l'edilizia che trasformano

materiali (come ad es. cemento, mattoni, legno, acciaio, ecc..) e componenti di basso livello in componenti di costruzione di alto livello. Questa categoria include anche le tecniche di produzione additiva come la stampa 3D.

- 2) Sistemi automatizzati e robotici on-site: in questa categoria rientrano i sistemi automatizzati e robotici che possono essere utilizzati direttamente in cantiere per realizzare strutture ed edifici. Possiamo trovare in questa classe sistemi di costruzione single task che possono eseguire un singolo compito in modo ripetitivo, un tipico esempio sono i bracci robotici utilizzati nell'industria automobilistica. Vediamo alcuni esempi presentati da diversi ricercatori: un sistema robotico integrato nell'impalcatura che consente di montare un braccio robotico su un'impalcatura, un sistema robotico che dipinge muri, un braccio robotico mobile che assembla i mattoni e un sistema robotico di spruzzatura del calcestruzzo. Questo approccio è molto flessibile perché potrebbe essere facilmente adatto per essere utilizzato in combinazione con altri metodi di costruzione tradizionali. Parallelamente nasce però l'esigenza di integrare requisiti aggiuntivi in materia di salute e sicurezza e alla parallelizzazione ad integrarsi con le attività dei lavoratori umani e alla mancanza di integrazione con le attività a valle e a monte. Per affrontare queste sfide sono state sviluppate fabbriche robotiche on-site, come fossero delle vere e proprie fabbriche all'interno del cantiere, lo scopo principale è quello di integrare le tecnologie STCR in ambienti controllati che consentano l'implementazione di sistemi robotici in rete in cui vari robot possono essere utilizzati per diversi tipi di attività in modo automatizzato.

In questo senso è stato recentemente presentato uno studio per utilizzare vari robot per costruire strutture in muratura, oppure un sistema hardware-software



che consente a piccoli robot di montare e smontare blocchi di plastica.

Nella foto “vediamo in azione” un robot SM 100 utilizzato per la posa dei mattoni.

- 3) Droni e veicoli autonomi: i droni vengono attualmente impiegati da alcune società di costruzioni prettamente per il rilevamento e l'acquisizione di immagini per fornire rapporti sullo stato di avanzamento, sorveglianza del cantiere o per l'istruzione di macchinari senza pilota per tracciarne il corso. Vengono quindi utilizzati per campionare ambienti estremi e per studiare siti difficili e irraggiungibili. Ad es. è stato introdotto un drone terrestre per automatizzare le ispezioni visive dei ponti, così come un veicolo che naviga nei cantieri e raccoglie dati per il monitoraggio dei progressi.

I veicoli autonomi (aerei, terrestri o nautici) vengono impiegati per varie attività tra cui l'accesso ad ambienti estremi e pericolosi, rimuovendo così i lavoratori umane dalle aree ad alto rischio, altre attività sono poi inerenti allo scavo e alla demolizione e trasporto automatizzati di materiali. Ad oggi i veicoli terrestri hanno trovato ampio uso nell'attività mineraria, in questo contesto perforatrici ed escavatori sono stati automatizzati contemporaneamente ai camion senza conducente dotati di GPS per il trasporto del materiale scavato tra i diversi luoghi. Rispetto all'attività delle operazioni minerarie, per i cantieri tradizionali ci sono ancora molte sfide nell'automazione delle macchine per movimento terra. Possiamo quindi riassumere una serie di sfide da affrontare per un utilizzo ampio ed efficace dei droni nella cantieristica, vi sono gli elevati costi iniziali, la complessa operatività di hardware e software che richiede ulteriori esborsi economici per la formazione aggiuntiva, i falsi livelli di accuratezza e tolleranza percepiti, le normative rigorose che aumentano ulteriormente i costi, in questo caso quelli di adozione, i rischi legati all'uso e alla sicurezza e infine il problema non sottovalutabile relativo ai cicli di carica che limitano le operazioni.

- 4) Esoscheletri: definiti come dispositivi meccanici indossabili che aumentano le capacità dell'utente, al contrario dei robot che lavorano in modo autonomo rispetto al lavoratore, gli esoscheletri lavorano insieme ad essi. Possono aiutare i



lavoratori edili a ridurre l'elevato impatto del loro lavoro e a migliorare la loro produttività consentendo loro di sollevare carichi pesanti, ridurre la fatica,



facilitare l'uso di strumenti in posizioni scomode, ecc. Da sottolineare poi che gli esoscheletri possono anche contribuire a ridurre gli infortuni sul luogo di lavoro, ciò ha un'importanza molto rilevante in quanto i compiti ripetitivi e fisicamente impegnativi possono portare ad infortuni seri. Da citare in questo senso anche la possibilità che questi strumenti offrirebbero ai lavoratori più anziani, consentendo loro di continuare a svolgere compiti fisicamente impegnativi. Anche in questa categoria possiamo riassumere diverse sfide per l'implementazione nel settore che stiamo trattando, problemi di sicurezza e salute (intoppi, cadute, falso senso di sicurezza), e preoccupazioni per l'usabilità, comprese durabilità, robustezza e versatilità, oltre che ovviamente i sempre presenti costi elevati per l'adozione.

A questo punto possiamo identificare quelli che sono i fattori, da un punto di vista generale, che limitano l'adozione della robotica nella cantieristica. Una prima categoria è definibile sulla base economica. Vi rientrano tutti i fattori che riguardano i costi che le imprese devono sostenere per adottare la robotica in edilizia tra cui l'elevato investimento di capitale iniziale che non viene controbilanciato da nessuna forte necessità di migliorare la produttività, e qui potremmo tornare al discorso della cultura rigida che caratterizza questo settore, che in questo caso funge proprio da barriera nei confronti di un possibile progresso. Rientra in questa categoria anche il basso livello di investimenti in ricerca e sviluppo, già precedentemente citato, che penalizza questo settore. Un'altra categoria è rappresentata dai fattori pratici che limitano l'implementazione della robotica. Tra questi spicca la preoccupazione delle parti interessate per quanto riguarda la prontezza della robotica da utilizzare nelle costruzioni. Secondo uno studio condotto da alcuni ricercatori della facoltà di Business and Law della University of West England di Bristol, le questioni tecniche legate all'adozione della robotica sono tra i primi ostacoli per importanza all'adozione, la prima barriera identificata è l'elevata complessità delle attività di costruzione che limita l'usabilità e l'efficacia delle soluzioni robotiche automatizzate.

L'interazione uomo-robot è anche una sfida significativa per l'adozione della robotica in generale e nel settore edile risulta essere un fattore critico dati i suoi compiti ad alta intensità di manodopera. La difficoltà nell'implementazione sta anche nell'avversità dei lavoratori a

svolgere compiti insieme ai robot, senza dimenticare poi che per l'utilizzo corretto di questi sistemi risulta fondamentale una forza lavoro adeguatamente preparata ed addestrata in quanto proprio nella carenza di competenza dei lavoratori edili viene identificata un'altra potenziale barriera.

Infine, un'ultima categoria è rappresentata dal valore poco chiaro che le società edili possono ottenere dall'adozione della robotica. Rientra in questa categoria il basso ritorno sull'investimento, non ci sono infatti prove concrete che l'adozione della robotica rappresenti realmente una possibilità per la riduzione dei costi. Non dimentichiamo che l'industria delle costruzioni è un settore a basso profitto e ad alto rischio e questa mancanza di prove rappresenta quindi un enorme ostacolo. La robotica ha il potenziale di ridurre i costi legati al lavoro e agli infortuni ma è comunque associata ad una tecnologia costosa (sistemi robotici, software, ingegneri qualificati e formazione). Altra voce di costo è identificabile della necessità di creare un ambiente di lavoro sicuro che includa robot. Un'altra sfida riluttante è rappresentata da una domanda insufficiente di robotica e sistemi automatizzati. Questo perché tra i limiti di questi sistemi vi è la mancanza di flessibilità e personalizzazione che nella cantieristica, in cui ogni progetto è diverso, rappresenta un aspetto non di poco conto. Per chiudere il capitolo robotica, possiamo quindi dire che il potenziale offerto aprirebbe a numerosi vantaggi alla cantieristica, tuttavia i livelli di adozione sono, ad oggi, molto bassi.

## ➤ 2.6 Conclusioni

Tornando a fare riferimento allo studio condotto da Ousterreich e Teuteberg emerge che il settore delle costruzioni è ancora in ritardo rispetto ad altri settori industriali in termini di digitalizzazione e automazione. I due ricercatori hanno condotto uno studio su diverse imprese di costruzione oltre che sui dati già disponibili da precedenti studi. Ne è emerso che le tecnologie più applicate sono Cloud Computing, Mobile Computing, Social Media e digitalizzazione. Dal punto di vista geografico emerge invece che la maggior parte delle aziende che hanno compiuto decisi passi in avanti verso la ricerca su Construction 4.0 ha sede negli Stati Uniti e nel Regno Unito e piuttosto sorprendentemente non ci sono società asiatiche tra loro. Questa scoperta sottolinea ancora una volta il ruolo principale di Regno Unito e USA come principali contributori alle pubblicazioni pratiche, infatti a riprova di questo avevamo già precedentemente citato, nella sezione introduttiva, il ruolo fondamentale svolto da alcuni ricercatori di sua maestà come Sir John Egan.

I principali risultati ottenuti dai due ricercatori confermano che diverse tecnologie di digitalizzazione e automazione per l'edilizia hanno raggiunto la maturità del mercato e quindi sono attualmente disponibili e che l'adozione di queste tecnologie sta andando di pari passo con diverse implicazioni per l'intero settore, le imprese coinvolte, l'ambiente e le persone.

Possiamo quindi riassumere mediante il framework "PESTELS" quelli che sono una serie di benefici individuati dall'investigazione di diverse pubblicazioni raggruppandoli in 7 prospettive, queste sono: Politica, P; Economica, E; Sociale, S; Tecnologica, T; ambientale, A; Giuridica, L (Legal) e Security, S. Da un altro studio condotto da alcuni ricercatori della *Universiti Teknologi Petronas* in Malesia emerge che Il fattore sociale risulta essere il fattore critico che ha la maggiore influenza mentre il fattore politico ha la minore influenza tra tutti i fattori dati. Sia Economico che Tecnologico avevano valori vicini, mantenendosi come alcuni dei fattori di maggiore influenza. La sicurezza si è classificata al quarto posto, seguita dal Giuridico al quinto e Ambientale al sesto.

D'altra parte, ci sono molteplici sfide e problemi irrisolti che devono essere presi in considerazione prima della trasformazione digitale del settore edile.

I principali risultati rivelano che gli attuali flussi di ricerca si concentrano principalmente sull'analisi degli aspetti tecnici delle tecnologie relative ad Industria 4.0. Ad es. non è stata ancora fornita un'adeguata analisi costi-benefici per la stima dei costi di implementazione e di utilizzo e dei benefici. Come più volte affermato nel corso di questa revisione, le imprese di costruzione esitano ad adottare nuove tecnologie a causa degli elevati investimenti e dell'incertezza sui benefici che ne derivano. Va considerato poi che non è ancora chiaro quali implicazioni comporterà l'utilizzo di Industry 4.0 per la futura progettazione del lavoro nelle società cantieristiche e nei cantieri stessi. Queste sono considerazioni ancora aperte per le società edili che necessitano di assicurazioni prima dell'adozione di nuove tecnologie.

Prendendo in considerazione tutte queste molteplici sfide nella ricerca e nella pratica, diventa chiaro che l'industria delle costruzioni deve abbracciare qualcosa di più dei cambiamenti tecnologici.

Da un punto di vista scientifico, i benefici e le sfide forniti possono essere considerati come temi di ricerca da approfondire e come domande a cui rispondere all'interno di un ulteriore programma di ricerca. Da un punto di vista manageriale, possono essere utilizzati come framework da considerare prima della trasformazione digitale dell'azienda.

In ogni caso c'è il bisogno urgente di fare ulteriore ricerca nel dominio della cantieristica. È possibile quindi trarre le seguenti conclusioni:

La definizione specifica del concetto di Industria 4.0 per la costruzione comprende un insieme di tecnologie interdisciplinari per consentire la digitalizzazione, l'automazione e l'integrazione del processo di costruzione in tutte le fasi della catena del valore della costruzione. Tecnologie centrali come Building Information Modeling (BIM), Cloud Computing o Internet of Things sono solo alcune di queste. Attualmente queste tecnologie si trovano a diversi livelli di maturità. Tecnologie come BIM, Cloud Computing, Mobile Computing e Modularizzazione hanno raggiunto la maturità del mercato e quindi sono attualmente disponibili. Altre tecnologie come la Stampa 3D (o produzione additiva), la Robotica, la Realtà aumentata, virtuale e mista sono ancora in fase formativa, anche se a diversi livelli tra loro in quanto abbiamo già evidenziato alcuni esempi applicativi, di cui però la maggior parte di questi a solo scopo dimostrativo, si stanno quindi sviluppando prototipi e applicazioni per un uso

consolidato. Nonostante la data maturità e disponibilità di molte tecnologie, la loro diffusa adozione da parte delle società di costruzioni non è avvenuta fino ad ora. Tuttavia, esistono buone pratiche che dimostrano che esistono modi pratici per l'adozione di nuove tecnologie per digitalizzare e automatizzare il processo di costruzione.

L'adozione delle tecnologie di IR 4.0 ha implicazioni di vasta portata per l'intero settore edile e per tutte le parti interessate. Oltre ai vantaggi economici per migliorare la produttività, l'efficienza, la qualità e la collaborazione, la loro adozione può aiutare a migliorare la sicurezza, la sostenibilità e quindi a migliorare la cattiva immagine del settore edile nel lungo periodo. Per raccogliere appieno questi vantaggi, è necessario affrontare molteplici sfide politiche, economiche, sociali, tecnologiche, ambientali e legali. Ad esempio, le aziende devono affrontare cambiamenti organizzativi e di processo, con costi di implementazione elevati e la previsione poco chiara di risparmi sui costi o con la crescente necessità di sicurezza dei dati e protezione dati.

I dipendenti devono far fronte a crescenti requisiti di lavoro e un livello più elevato di stress mentale a causa della paura della perdita del lavoro. Dal punto di vista tecnico, ci sono diversi problemi irrisolti da affrontare come la mancanza di standard per molte tecnologie, i requisiti più elevati per le apparecchiature informatiche o la crescente necessità di reti di comunicazione potenziate. La conformità alle normative, l'incertezza giuridica e contrattuale sono altre questioni da prendere in considerazione. Considerando queste molteplici sfide, diventa chiaro che le aziende devono essere motivate per l'adozione attraverso mandati governativi, iniziative o programmi di finanziamento.

Tuttavia, l'adozione del concetto di Industria 4.0 può aiutare il settore delle costruzioni a trasformarsi in un settore guidato dalla tecnologia e a tenere il passo con le altre industrie manifatturiere in termini di miglioramento delle prestazioni. Per spostare il concetto innovativo di Industria 4.0 nel complesso ambiente dell'industria delle costruzioni verso nuove frontiere, sono necessari ulteriori sforzi nella scienza e nella pratica. Il lavoro futuro dovrebbe comprendere le sfide affrontate e le domande esemplificative poste nell'agenda della ricerca.

Riassumiamo ora quelle che sono sfide e benefici di Construction 4.0

- *2.6.1 Sfide:*

Esitazione ad adottare: a causa degli alti costi di investimento delle nuove tecnologie e dei vantaggi poco chiari, le società di costruzioni esitano a investire in esse. Pertanto, una delle sfide principali è motivare le società di costruzioni ad adottare nuove tecnologie, ad es. fornendo incentivi per l'adozione, tramite mandati governativi per l'uso del BIM e attraverso programmi di finanziamento per l'industria e la ricerca.

Elevati costi di implementazione: come già accennato, i costi elevati per le attrezzature tecniche, per la formazione e l'istruzione e per le spese di consulenza esterna rappresentano un ostacolo all'adozione. Altri problemi irrisolti sono i vantaggi poco chiari e la previsione di risparmi sui costi e la mancanza di un benchmark fiscale coerente per valutare i miglioramenti e i guadagni aziendali. In questo contesto, lo sviluppo di metodi e strumenti per la stima e l'ottimizzazione di costi e benefici e la fornitura di partnership di associazioni di settore per lavorare insieme può aiutare ad aumentare la trasparenza e ridurre i costi.

Cambiamenti organizzativi e di processo: l'implementazione di nuove tecnologie deve avvenire a tutti i livelli dell'organizzazione e richiede principalmente la rivalutazione e la reingegnerizzazione delle pratiche aziendali. Per le imprese di costruzioni, la domanda principale a cui rispondere è come gestire con successo i cambiamenti organizzativi e di processo all'interno dell'organizzazione e come ridisegnare l'attuale modello di business.

Necessità di competenze avanzate: l'uso di nuove tecnologie richiede un certo livello di conoscenza. A causa della scarsa competenza tecnica dei lavoratori edili in loco, ci sarà un crescente bisogno di formazione e sviluppo del personale, nonché il crescente bisogno di capacità di integrazione. Quindi, la grande sfida è creare e sviluppare nuove competenze, ottimizzare l'organizzazione del progetto e attrarre nuovi talenti nella forza lavoro, come il personale con conoscenze tecniche condivise ed esperienza di integrazione come criteri di selezione chiave. Inoltre, le aziende dovrebbero incoraggiare i dipendenti a collaborare e coinvolgere la

condivisione di idee per la creazione di innovazione e quindi creare opportunità per i gruppi interdisciplinari di collaborare ed elevare le prestazioni.

Gestione della conoscenza: la natura temporanea dei progetti di costruzione e le caratteristiche frammentate della catena del valore delle costruzioni sono le ragioni della mancanza di conoscenza del progetto codificata e condivisa e di standard limitati per la gestione della conoscenza. La sfida principale è creare e stabilire standard per la gestione della conoscenza all'interno dell'organizzazione. Ciò può essere ottenuto acquisendo e riutilizzando la conoscenza del progetto e mediante la raccolta automatizzata dei dati e l'incorporamento nella cronologia del progetto.

Accettazione: il settore edile è noto per la sua forte resistenza ai cambiamenti e alle nuove tecnologie, nonché per il conservatorismo e l'incapacità di adattarsi da parte del personale delle sue aziende. Inoltre, una delle maggiori preoccupazioni dei dipendenti riguardo all'adozione di nuove tecnologie è la perdita del posto di lavoro, in quanto potrebbero essere sostituite da macchine, computer o robotica. In ogni caso, è necessaria la comunicazione e la gestione del cambiamento per aiutare i dipendenti ad adattarsi, poiché l'accettazione è un fattore critico di successo per l'adozione di nuove tecnologie. Pertanto, le aziende possono coinvolgere gli agenti del cambiamento come "opinion leader" durante il processo di implementazione e implementare le idee guida dei dipendenti per aiutarli a sentirsi titolari del miglioramento delle prestazioni.

Mancanza di standard e architetture di riferimento: nonostante l'attuale maturità e disponibilità della maggior parte delle tecnologie, per molte di esse esiste una mancanza di standard, ad es. mancanza di uno standard completo e internazionale per la tecnologia RFID e di tag e lettori multiprotocollo o mancanza di standard BIM coerenti (incompatibilità software). Inoltre, è necessaria un'architettura di riferimento specifica del settore per l'Industria 4.0.

Per quanto riguarda l'ambiente specifico del settore edile, questa architettura di riferimento deve essere sviluppata con un'attenzione particolare alla sua struttura (es. Progetti site-based, elevato numero di piccole e medie imprese coinvolte).

Requisiti più elevati per le apparecchiature informatiche: poiché i progetti di costruzione sono fortemente influenzati da fattori esterni come il tempo, il traffico e l'ambiente circostante, devono essere presi in considerazione requisiti più elevati

per le apparecchiature informatiche per l'uso nell'ambiente specifico del cantiere. Ad esempio, i dispositivi mobili dovrebbero essere progettati per gestire forti vibrazioni, grandi cadute e umidità.

Sicurezza e protezione dei dati: i crescenti volumi di dati, la crescente domanda di mobilità, collaborazione e condivisione di informazioni con partner esterni si traduce in una crescente necessità di sicurezza e protezione dei dati. Le aziende dovrebbero proteggere i propri dati da accessi non autorizzati e qualsiasi tipo di uso improprio attraverso strumenti centralizzati di identità utente basati su cloud, gestione degli accessi, gestione dei dispositivi e protezione dei dati.

Miglioramento delle reti di comunicazione esistenti: l'uso delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione richiede un accesso a Internet veloce e affidabile nei cantieri. Pertanto, la connettività a banda larga inaffidabile o la mancanza di accesso alla connettività a larghezza di banda elevata per le applicazioni di collaborazione sono state menzionate come uno degli ostacoli più importanti da superare.

Conformità alle normative: l'uso della tecnologia RFID per la gestione della sicurezza e della forza lavoro richiede l'acquisizione e la registrazione automatizzate dei dati personali. In molti casi, esistono preoccupazioni etiche e legali sul tracciamento e il monitoraggio dei dipendenti, nonché sulla gestione delle informazioni registrate. Prima dell'implementazione di queste tecnologie, le limitazioni relative alla privacy e alla protezione dei dati devono essere verificate coinvolgendo esperti legali sin dalle prime fasi del processo.

Incertezza giuridica e contrattuale: un altro ostacolo è l'incertezza giuridica e contrattuale relativa all'uso del BIM. Ad esempio, è necessario rispondere alle domande sulla proprietà legale del modello e sulla responsabilità legale per errori e problemi con il modello.



- 2.6.2 **Benefici:**

Risparmio sui costi: l'automazione di processi ad alta intensità di manodopera, ad es. attraverso l'uso della robotica o dei flussi di lavoro automatizzati si traduce in una riduzione dei costi del lavoro. Inoltre, il monitoraggio automatizzato di apparecchiature e materiali utilizzando sensori incorporati può aiutare a ridurre i costi dei materiali.

Risparmio di tempo: tecnologie e concetti di produzione innovativi come la prefabbricazione o la produzione additiva consentono la costruzione di edifici in pochi giorni, più veloci dei metodi di costruzione convenzionali.

Consegna puntuale e rispettosa del budget: in passato, la consegna dei progetti di costruzione nei tempi e nel budget si è dimostrata un compito impegnativo. L'uso del BIM può aiutare a ridurre i tempi di consegna del progetto e mantenere i progetti sotto il budget.

Miglioramento della qualità: è stato menzionato l'uso del BIM e di altre tecnologie di simulazione per aumentare la qualità dell'edificio, poiché è possibile evitare errori nelle fasi iniziali simulando l'intero processo di costruzione. Inoltre, l'analisi dei Big Data può aiutare i project manager a prendere decisioni più efficaci e ben informate sulla base di dati storici.

Miglioramento della collaborazione e della comunicazione: a causa dell'elevato numero di partecipanti al progetto coinvolti in ogni progetto di costruzione, le piattaforme basate su cloud e BIM o le app di social media possono migliorare in modo efficiente la collaborazione e la comunicazione anche oltre i confini aziendali.

Miglioramento del rapporto con il cliente: applicando tecnologie di simulazione come la realtà aumentata, la realtà virtuale e la realtà mista in combinazione con dispositivi mobili o computer indossabili, le società di costruzioni sono in grado di fornire ai proprietari del progetto maggiori informazioni sui dettagli e sulla progettazione di un edificio prima che venga costruito. In questo modo i clienti possono essere coinvolti nel processo di pianificazione per una migliore personalizzazione dell'edificio.

Migliorare la sicurezza: l'elevato numero di articoli per la gestione della sicurezza rivela che la sicurezza è una delle questioni più importanti nella costruzione. A causa del suo ambiente di lavoro pericoloso, il settore edile è ben noto per il suo alto tasso di infortuni sul lavoro e incidenti. Di conseguenza, molti approcci diversi vengono presentati da ricercatori e professionisti per migliorare la sicurezza delle costruzioni, ad es. attraverso la formazione virtuale sulla sicurezza, utilizzando mappe dei rischi per evitare incidenti sul lavoro o utilizzando tecnologie indossabili come gli occhiali intelligenti o gli *smart helmets*.

Migliorare l'immagine del settore: il settore edile è ben noto per il suo ambiente di lavoro duro e il suo basso livello di digitalizzazione. Pertanto, soffre di una cattiva immagine e spesso fatica ad attirare reclute di talento nella loro forza lavoro. La trasformazione digitale dell'intero settore può aiutare a migliorare la sua immagine.

Migliorare la sostenibilità: il settore dell'edilizia e delle costruzioni è responsabile delle elevate emissioni di anidride carbonica, causate dal suo consumo energetico e dall'elevato livello di rifiuti durante i suoi processi di costruzione. Al fine di gestire questi problemi ambientali, sono stati proposti diversi approcci per la minimizzazione dei rifiuti da costruzione, per la riduzione delle emissioni del progetto attraverso la gestione strategica del progetto o per l'utilizzo del BIM per creare alternative di progettazione.

### 3. MARITIME 4.0 & PORT 4.0

#### 3.1 INDUSTRY 4.0 NEI PORTI E NELL'INDUSTRIA NAVALE

Così come per la cantieristica, la quarta rivoluzione industriale ha interessato diversi settori industriali. Se dovessimo trovarne uno “simile” all'edilizia potremmo prendere in considerazione l'industria navale. Infatti, nell'edilizia lo scopo è la costruzione di un edificio in un sito specifico in cui il l'edificio stesso nasce all'interno del cantiere, nel settore dell'industria navale, riferendoci a navi di grandi dimensioni più specificatamente, il cantiere nasce attorno alla nave stessa, evolvendosi a seconda dello stato di avanzamento della produzione.

In questa sezione cercherò di dare una rapida inquadratura allo stato attuale di Industry 4.0 sia nella costruzione navale che nei porti.

L'industria portuale e marittima, (PMI, Maritime Port Industry), è entrata in una nuova fase evolutiva a seguito dell'avvento delle nuove tecnologie associate alla IR 4.0. Da qui nascono i termini *Port 4.0* e *Maritime 4.0*, analogamente a quanto abbiamo visto precedentemente nel caso della cantieristica per la quale si è coniato il termine *Construction 4.0*.

Nasce quindi la definizione di Porti Intelligenti, nei quali l'applicazione delle conoscenze e delle tecnologie derivanti da Industry 4.0 permette di ottenere una serie di benefici tra cui il miglioramento dell'efficienza nella gestione dei porti stessi, la minimizzazione dei costi e il miglioramento dell'efficienza energetica per citarne alcuni, nella costruzione delle navi si potrebbe ottenere un miglioramento nell'efficienza, nella progettazione, nella produzione nel funzionamento e nella manutenzione, fino all'ottimizzazione delle rotte.

Un porto intelligente, o *Smart Port*, può quindi definirsi come un ambiente basato sulla digitalizzazione in cui la cooperazione tra gli agenti dell'intero ecosistema portuale è cruciale, tutti i partecipanti sono interessati a trasformare i porti con l'obiettivo di essere più produttivi, efficienti e competitivi migliorando le operazioni esistenti senza la necessità

di importanti aggiornamenti nelle infrastrutture. Di fatto il mondo è sempre più connesso e le richieste dei clienti diventano sempre più esigenti e dinamiche. In tal senso l'utilizzo delle tecnologie digitali consente di soddisfare queste tendenze in modo preventivo e responsabile. Maritime 4.0 si può quindi definire come l'implementazione integrata di processi e tecnologie digitali nella progettazione, sviluppo, costruzione, funzionamento e servizio delle navi. A seconda dei requisiti stabiliti dal cliente, i progettisti sono tenuti a sviluppare navi efficienti in termini di costi in grado di svolgere compiti specifici, pur mantenendo una stretta aderenza alle norme o ai regolamenti nazionali ed internazionali.

L'obiettivo è quello di fornire un'imbarcazione di alta qualità, ottimizzata ed affidabile che sfrutti le ultime tecnologie per massimizzare il valore percepito dal cliente. Analizziamo dunque come le diverse tecnologie abilitanti di Industry 4.0 si inseriscono ed intrecciano nel contesto della gestione portuale e della produzione navale.

### - *3.2 Iot, Big Data & Cloud computing.*

L'integrazione dell'IoT nei porti intelligenti nasce dalla necessità di facilitare la condivisione dei dati tra gli agenti portuali in modo da garantire la stabilità dei servizi. Diversi studi hanno sottolineato il ruolo chiave dell'IoT nei porti per eliminare gli errori e migliorare l'efficienza nella raccolta dati garantendone una trasmissione immediata.

Diversi autori ne hanno individuato una serie di applicazioni pratiche, tra queste individuiamo:

geo-localizzazione e tracciamento dei veicoli mediante sensori, entrata e uscita automatizzata dai terminal, controlli e monitoraggio delle code formate dai mezzi per l'ottimizzazione dei flussi di traffico, illuminazione intelligente, *Port Management System* (PMS) per coordinare tutti i fornitori in ogni operazione di scalo di una nave, monitoraggio ambientale, gestione della sicurezza e manutenzione dei beni portuali, flusso di informazioni su rotte e destinazioni.

È quindi possibile affermare che le soluzioni di rilevamento giocano un ruolo fondamentale nei porti intelligenti, in tal senso i sensori risultano essere uno strumento fondamentale. Questi vengono applicati sulle gru, sulle attrezzature, sui mezzi in movimento e sui container e contribuiscono perciò ad una migliore gestione delle infrastrutture, riducendo il traffico e ottimizzando le operazioni multimodali. Anche in questo caso ritroviamo uno strumento già conosciuto in precedenza, ovvero l'RFID che in questo campo viene utilizzato per il monitoraggio di container e delle varie apparecchiature portuali. Uno degli obiettivi perseguiti nella gestione dei container in tal senso è quello di prevenire i tempi di fermo improduttivi e ridurre i costi di manutenzione.

Nei porti esistono molteplici soluzioni di rilevamento, queste vengono principalmente utilizzate per raccogliere dati in una vasta gamma di applicazioni. Ovviamente, l'attività di raccoglimento dati relativi a maree, correnti marine, ecc. non è nata a seguito della quarta rivoluzione industriale, come allo stesso modo non è un'attività nuova l'implementazione di modelli simulativi per prevedere l'evoluzione di queste variabili; la novità offerta da IR 4.0 risiede nel modo in cui l'IoT sta intensificando queste attività sia in termine di mole di dati raccolti sia nella loro elaborazione e trasmissione in tempo reale, si ha quindi la possibilità di velocizzare notevolmente questi processi e di migliorare anche la qualità dei dati.

Da qui nasce la necessità di un'adeguata gestione dei dati, a questo proposito alcuni ricercatori hanno proposto una combinazione di IoT e Big Data in grado di gestire la grande mole di dati generati dai sensori geo-localizzati.

Altri studiosi hanno suggerito l'uso di piattaforme Cloud based in cui le informazioni sono condivise tra i diversi attori della catena logistica. Dalle ricerche si evince che il Cloud computing faciliterà la condivisione dei dati e la collaborazione tra le parti interessate del porto e dell'industria navale contribuendo positivamente ai processi di automazione e allo sviluppo del Digital Twin Concept.

Vediamo una serie di esempi individuati in alcuni tra i principali porti mondiali.

Il porto di Rotterdam fa ampio uso di diversi tipi di sensori che consentono la gestione di diversi aspetti dell'attività portuale, qui è stato sviluppato un progetto basato sulla connettività di diversi sensori e telecamere, l'uso dell'IoT e lo sviluppo di una rete Wi-Fi nell'ambiente portuale.

Il porto di Amburgo si avvale dell'utilizzo dell'IoT e dei sensori per adattare i requisiti di illuminazione alle condizioni metereologiche effettive. Questo porto ha poi integrato quattro diversi sistemi in un'unica piattaforma beneficiando dei dati forniti da più di 300 sensori installati in area portuale e utilizzandoli sia per monitorare il traffico di navi e veicoli nel porto aiutando i gestori a orchestrare il movimento di tutti riducendo le unità inattive sia per monitorare la risposta a lungo termine di diversi asset che aiutano a gestire le attività di manutenzione preventiva.

Il porto di San Diego sfrutta l'IoT e i sensori intelligenti per rilevare e fermare lo spreco di energia negli edifici e in altre infrastrutture portuali; infine, il porto di Anversa ha sviluppato un prototipo di drone-boat autonomo per garantire il passaggio sicuro delle navi portacontainer in arrivo e in partenza.

In ambito cantieristico la raccolta dati risulta essere l'elemento di maggiore importanza. Questo perché la progettazione delle nuove imbarcazioni passa attraverso l'analisi di dati provenienti da navi esistenti; l'obiettivo è ovviamente quello di ottimizzare il processo di costruzione delle navi.

In questo senso, le tecnologie relative all'IoT e ai Big Data vengono applicate al processo di costruzione navale attraverso quattro principi cardine riassumibili in:

innovazione: integrazione ed adozione della tecnologia in supporto al raccoglimento e all'utilizzo dei dati e delle informazioni relative alle navi, necessari per le attività decisionali; sostenibilità: basandosi sui dati raccolti dalle imbarcazioni già prodotte promuovere lo sviluppo di nuove navi ad alta efficienza energetica con prestazioni migliori e costi operativi inferiori; sicurezza: l'adeguatezza dei dati raccolti è fondamentale in relazione ai parametri di progettazione per garantire la costruzione di un'imbarcazione affidabile e sicura. La sfida in tal senso ricade sulla raccolta e la gestione dei dati, è

fondamentale che questi siano affidabili in quanto il mancato rispetto di queste considerazioni può tradursi in valore negativo per il cliente e per gli addetti ai lavori. I sistemi di gestione dati provenienti da Industry 4.0 possono rispondere a tale esigenza permettendo l'integrazione e l'unione di dati in sistemi virtuali impedendone la manomissione; operazioni automatizzate: questo principio si riferisce al livello effettivo di digitalizzazione e integrazione della nave. Gli strumenti principalmente utilizzati per il raccoglimento dei dati sono i sensori che vengono applicati in diverse parti della carena di una nave. La sfida in tal senso risiede nella capacità di sviluppare nuovi sensori che forniscano dei valori accurati.

Abbiamo quindi visto che la digitalizzazione e l'IoT sono potenti abilitatori al fine di migliorare l'efficienza, gestire meglio il traffico, potenziare la propria forza lavoro e ridurre le emissioni di carbonio, fornendo un ambiente più sicuro per le operazioni e senza la necessità di grandi espansioni portuali; nonché all'incremento della qualità produttiva nel settore cantieristico navale. Tuttavia, lo sviluppo dell'IoT nell'industria marittima viene rallentato per via di una serie di problemi; nei porti ad es. individuiamo le limitate capacità di comunicazione wireless dato che questi segnali devono coprire grandi distanze e i sistemi che ne fanno uso sono generalmente in movimento.

### - *3.3 Automazione*

L'automazione dei porti risulta essere una tendenza in crescita, infatti stando agli studi, la robotizzazione dei porti è decollata definitivamente in tutto il mondo, vengono presi come esempi le gru senza conducente e i veicoli a guida automatica (AGV) che effettuano operazioni di trasporto dalla banchina al cantiere. Già dalla fine del 2010 le gru automatiche hanno iniziato ad essere in grado di immagazzinare e recuperare automaticamente i container lungo un'area apposita, ottenendo poi nel corso degli ultimi anni un miglioramento dei sistemi di posizionamento.

Alcuni studi considerano l'automazione come la pietra angolare del Porto 4.0, questo per via dei diversi vantaggi garantiti, tra cui la riduzione del numero di lavoratori, la riduzione dell'errore umano e dei ritardi, permettendo di conseguenza di ampliare anche l'orario dei servizi.

Allo stesso tempo sono però state individuate una serie di sfide, soprattutto in termini di investimento che ha comportato ad una diffusione su vari livelli diversificata nel mondo. In ogni caso gli studi indicano che il processo di automazione risulta essere progressivo e sostenuto. Attualmente il mercato di sistemi automatizzati per i porti supera i 9 miliardi di dollari negli USA e si prevede che raggiungerà quota 11 miliardi entro il 2023.

Alcuni ricercatori sostengono che attraverso i terminali automatizzati si potrebbe ottenere una riduzione delle spese operative dal 25 al 55% aumentando contemporaneamente la produttività dal 10 al 35%. Anche i sistemi aerei come i droni hanno acquisito un grande potenziale nei porti intelligenti. Questi mezzi vengono attualmente utilizzati per operazioni di ispezione, mappature e rilievi. Ad es. nel porto di Singapore i droni vengono utilizzati per la manutenzione e il monitoraggio delle gru di banchina e di altre attrezzature portuali, operazioni di sorveglianza e operazioni di consegna da nave a terra e viceversa. È attualmente in fase di sviluppo una tipologia di drone in grado di operare e atterrare sull'acqua per effettuare operazioni di ispezione sul molo.





### - *3.4 Additive Manufacturing*

Per rendere più competitiva a livello globale l'industria marittima europea sono necessari materiali innovativi volti a migliorare le prestazioni delle navi e a renderle più rispettose dell'ambiente. Sebbene l'industria marittima in questo campo sia in ritardo rispetto alle controparti del settore aerospaziale, questa tecnologia è attualmente utilizzata per produrre componenti personalizzati per alcune tipologie di imbarcazioni come yacht e barche a vela.

La costruzione di navi è infatti descrivibile come un processo costoso ed esteso, che coinvolge molte persone, processi e materiali.

La produzione additiva viene descritta come una tecnologia dirompente che promette di avere profonde implicazioni per l'intera catena di fornitura. Alimentati dal rapido sviluppo di nuove tecnologie e materiali, i costi per lo sviluppo continuano a diminuire. La produzione additiva sembra destinata non solo a sostituire diverse tecnologie di produzione tradizionali, ma anche a eliminare le fasi di produzione e di assemblaggio non a valore aggiunto e, in definitiva, a semplificare la produzione. Ciò supporta l'adozione, la competitività e facilita lo sviluppo di parti con proprietà intelligenti, inclusi i sensori.

Vediamo alcuni esempi.

La start-up italiana "OCore" ha presentato nel 2017 il primo scafo di barca a vela stampato in 3D al mondo al "Circolo della vela siciliana". Lo scorso anno è stata stampata la prima pala d'elica cava al mondo ad opera di "Naval Group". Entrambe le opere rappresentano un promettente passo in avanti verso migliori prestazioni e un basso impatto ambientale. La pala è stata stampata in meno di 100 ore e pesa all'incirca 300kg (le pale d'elica possono raggiungere anche le 20 tonnellate), il team che l'ha prodotta prevede che una volta che sarà realizzata a grandezza naturale peserà il 40% in meno rispetto ai componenti convenzionali.

Il porto di Rotterdam ha anche lanciato il proprio "Additive Manufacturing Fieldlab" con stampanti 3D in metallo. Lo scopo di questo FieldLab è quello di sviluppare la conoscenza sulla produzione additiva e di implementare nuove applicazioni certificate per l'industria marittima e portuale e servirà non solo come spazio di ricerca e sviluppo, ma come centro di produzione e servizi.

Il Fieldlab si trova nell'Innovation Dock di RDM Rotterdam, uno spazio appositamente progettato per promuovere l'uso di nuove tecnologie in cui aziende, ricercatori e studenti possono lavorare insieme, su qualsiasi progetto relativo alle nuove tecnologie e la sua applicabilità all'industria portuale e marittima.

In oriente segnaliamo infine l'iniziativa dell'autorità marittima e portuale di Singapore che ha firmato due memorandum d'intesa al fine di promuovere l'applicazione dell'AM nell'industria marittima essendo pioniera nell'utilizzo di questa tecnologia in altri settori.

### - *3.5 Simulazione*

Sebbene l'Augmented Reality non sia ampiamente diffusa nell'industria marittima, la quale conta solo applicazioni limitate, alcuni studi hanno spiegato che questa tecnologia sta trovando la sua strada anche nel settore marittimo. Da uno studio condotto su una serie di industrie del settore navale riguardo alla potenzialità e alla necessità di nuove tecnologie nel settore è emerso che la prima posizione è occupata dalla Cybersecurity, mentre al secondo posto troviamo l'addestramento dell'equipaggio mediante l'utilizzo di VR e AR che viene quindi posto al di sopra di altri elementi chiave come la gestione dell'energia e le emissioni o la navigazione elettronica.

Un esempio promettente è stato presentato da Easy Marine che ha sviluppato uno strumento AR che offre la possibilità di scansionare e valutare informazioni in tempo reale combinando oggetti reali e virtuali per migliorare la percezione e il livello di informazioni

ricevute sul ponte di un'imbarcazione che facilita le operazioni di attracco e disarmo per piloti e comandante. Il software integrato combinava le informazioni chiave degli oggetti circostanti con i dati delle carte idrografiche in un universo geo-localizzato che viene ricreato in 3D per enfatizzare la percezione delle distanze.

Di seguito vengono riportate delle potenziali aree di futuro sviluppo dell'AR nell'industria portuale:

servizi di movimentazione e deposito merci, pianificazione portuale ed espansione portuale, attracco e servizi di ancoraggio, *geotagging* (fornendo la posizione esatta degli elementi chiave dell'infrastruttura o della sovrastruttura portuale), controllo delle operazioni portuali e infine, sicurezza e protezione.

In ambito di costruzione navale, l'AR viene utilizzato in combinazione con gli strumenti CAD/CAE in modo da ottenere un miglioramento delle fasi del processo di progettazione per garantire tempi di consegna più brevi. CAD e CAE hanno un ruolo ormai consolidato nello sviluppo delle navi. La combinazione con l'AR andrebbe a supportare coloro che sono coinvolti nel processo di costruzione anche per le attività di assemblaggio, permettendo la visualizzazione dei dati e l'integrazione dell'interfaccia uomo-macchina.

### - *3.6 Artificial intelligence & machine learning*

In ambito portuale i primi 5 settori nell'utilizzo dell'intelligenza artificiale sono marketing e pubblicità, finanza, vendita al dettaglio e servizi ai clienti, sanità e applicazioni legali.

Porti come Amburgo, Rotterdam e Singapore stanno iniziando a prendere posizione e vi sono già stati sviluppati strumenti di intelligenza artificiale, da utilizzare nelle previsioni di trasporto marittimo e terrestre, operazioni portuali e potenziamento del controllo del traffico.

Ad es. la Parolas ha sviluppato concettualmente un sistema per prevedere l'ETA (tempo stimato per l'arrivo a destinazione) per le navi portacontainer nel porto di Rotterdam utilizzando tecniche di apprendimento automatico. Il sistema in questione combina i dati di posizione dai segnali GPS con le previsioni del tempo. Il porto di Amburgo ha realizzato un Decision Support System (DSS) utilizzando tecniche di deep learning e reti neurali in grado di predire il comportamento del trasporto terrestre.

Fujitsu, in collaborazione con la Maritime and Port Authority of Singapore (MPAS), ha sviluppato e testato un sistema basato sull'intelligenza artificiale per analizzare i rischi del traffico marittimo nello stretto di Singapore.

L'obiettivo di questo nuovo sistema è prevedere potenziali rotte di collisioni, incoraggiando le navi a mettere in atto misure di prevenzione. Sono stati inoltre annunciati nuovi progetti per ottimizzare il consumo di carburante e monitorare le strategie e le prestazioni delle navi.

In ambito cantieristico, l'integrazione dei dati e l'apprendimento automatico, insieme alle soluzioni CAD e CAE, offrono la possibilità di ridurre i costi e migliorare la qualità delle aree chiave delle navi sulla base di dati reali. Questo sistema di simulazione ottimizzato per i dati va oltre le tradizionali tecniche di prototipazione virtuale utilizzate nella progettazione di navi, consentendo di ottimizzare i progetti esistenti in base alle condizioni operative e ambientali. Attraverso una maggiore generazione di dati dai sensori delle navi e dai dispositivi IoT, le navi potrebbero essere autorizzate a testare e ottimizzare il miglior design e ridurre significativamente i tempi di progettazione e le dipendenze degli utenti che attualmente esistono nella progettazione delle navi.

### - 3.7 *Green Energy*

Il risparmio e l'efficienza dei consumi energetici è attualmente uno dei pilastri dei porti intelligenti e l'industria navale sta sviluppando soluzioni sia dal punto di vista concettuale che teorico.

Già nel 2012 venne commissionato il primo sistema di alimentazione shore-to-ship nel porto di Göteborg (Svezia), con l'obiettivo di ridurre le emissioni di gas serra e di rumore nonché le vibrazioni nell'area portuale.

In tal senso una progettazione adeguata delle reti elettriche portuali che integrano i sistemi di alimentazione e automazione del porto e delle navi, aiuta a minimizzare i consumi aumentando la produttività.

Abbiamo precedentemente anticipato la soluzione sviluppata da Philips per il porto di Amburgo, basata su IoT e sensori per migliorare la sicurezza e ridurre costi ed emissioni. Il sistema consente al porto di utilizzare la luce su richiesta, di adattare i requisiti di illuminazione alle condizioni meteorologiche effettive, di implementare soluzioni di regolazione intelligenti o di gestire gli incidenti e assistere il porto in situazioni di emergenza.

Nell'ambito del Piano d'azione per il clima in cui si sono imbarcati alcuni porti degli Stati Uniti, il porto di San Diego ha lanciato un programma per utilizzare l'IoT e sensori intelligenti per rilevare e bloccare lo spreco di energia negli edifici e in altre infrastrutture portuali con l'obiettivo finale di ridurre i gas serra emissioni.

### - **3.8 Considerazioni finali**

Nel corso di questa revisione abbiamo appurato che le soluzioni IoT e di rilevamento hanno assunto un ruolo guida per altre tecnologie emergenti. Altri elementi come stampa 3D, Augmented Reality, automazione e Artificial Intelligence non si sono ancora evoluti sufficientemente dal punto di vista applicativo sebbene alcuni casi di primo impiego siano stati individuati in alcuni porti mondiali (non a caso sempre gli stessi: Rotterdam, Amburgo, Singapore e San Diego), queste tecnologie hanno ancora un ampio margine di crescita con un alto potenziale nell'industria portuale e marittima ma necessitano ancora di investimenti in attività di ricerca e sviluppo. La sicurezza informatica e la fiducia nella condivisione delle informazioni in un mondo cibernetico iper-competitivo sembrano essere le principali barriere al decollo definitivo di queste nuove tecnologie. La piena cooperazione e coordinamento tra le parti interessate dell'industria marittima rappresenterebbe il cambiamento culturale che l'industria stessa deve affrontare per facilitare il progresso di Industry 4.0 in questo settore.



## BIBLIOGRAFIA

1. Anil sawhney, Javier Irizarry, Mike Riley:  
“Construction 4.0”
2. Anuluwapo Ajayi, Hakeem Owolabi, Juan Delgado,  
“Robotics and automated systems in construction: Understanding industry- specific challenges for adoption”
3. Beatriz Bermúdez, Ignacio Zarzuelo, María Soeane:  
“Industry 4.0 in the port and maritime industry: A literature review”
4. Brendan P. Sullivana, Lucia Ramundo, Sergio Terzi:  
“Maritime 4.0 – Opportunities in Digitalization and Advanced Manufacturing for Vessel Development, Manufacturing for Vessel Development”.
5. Christian Linderb, Erwin Raucha, Patrick Dallasega:  
“Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review”.
6. David Vargasa, Kavin Vijayana, Ola Jon Morka:  
“Augmented Reality for Future Research Opportunities and Challenges in the Shipbuilding Industry: A Literature Review”.
7. Donya Mehran:  
“Exploring the Adoption of BIM in the UAE construction industry for AEC firms”
8. Eberhard Klotz, Ray Y. Zhong, Stephen T. Newman:  
“Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review”.
9. Flávio Craveiro, Helena Bartolo, Paulo Jorge Bartolo:  
“Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0”.
10. Frank Teuteberg, Thuy Duong Oesterreich:  
“Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry”.
11. Gökhan Demirdögenb, Hande Aladaga, Zeynep Isikc:  
“Building Information Modeling (BIM) Use in Turkish Construction Industry”
12. Laura Marcellini:  
“Il futuro che verrà (presto)”.
13. Mario Guerriero:  
“Innovazione nelle costruzioni: la guida pratica dell’ANCE”.
14. Matthew Goha, Yang Miang Gohb:  
“Lean production theory-based simulation of modular construction processes”.
15. M. O’Sullivan, M. Poshdar:  
“Barriers to adopting simulation modelling in construction industry”.
16. Noor Zawawi, Wesam Alaloul:  
“Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders”.
17. Prof. Ing. Maurizio Bevilacqua,  
“Introduzione a INDUSTRY 4.0”



## RINGRAZIAMENTI

*A conclusione di questo elaborato, vorrei dedicare questo spazio a chi ha contribuito alla sua realizzazione e a tutti coloro che mi hanno accompagnato e sostenuto durante questo percorso.*

*Ringrazio in primis il mio relatore: Prof. Ing. Maurizio Bevilacqua, che in questi mesi di lavoro, ha saputo guidarmi, con suggerimenti pratici, nelle ricerche e nella stesura dell'elaborato.*

*Ringrazio i miei genitori per avermi sempre sostenuto e per avermi permesso di portare a termine gli studi universitari, mia sorella Melissa per avermi guidato e consigliato.*

*Grazie a tutti i miei amici e colleghi di corso: Alessandro De Angelis, Alessia Tancredi, Annalisa Valeriani, Chiara Tassotti, Damiano Agachi Menna, Lucia Marziali, Sara Mariotti e Selene Pelligra; per avermi sempre incoraggiato fin dall'inizio del percorso universitario, senza di voi sarebbe stato sicuramente molto più noioso e molto meno divertente.*

*Per ultimi ma non meno importanti ringrazio i miei amici che ancora mi sopportano da anni: Alessia, Cristina, Giacomo, Giorgia. M, Giorgia. O, Diego, Edoardo, Enrico, Mattia, Federica, Francesca, Sergio, Simone, Tiziano, Veronica e tutti coloro che in un modo o nell'altro ci sono sempre stati.*

*Infine, una menzione particolare a delle persone che hanno sempre rappresentato per me un punto di riferimento: Filippo Inzaghi, Sir. Brian Harold May e Sir. Ridley Scott.*