

Angelo L.C. Ciribini, Davide Ghelfi, Giovanni Caratozzolo,
Lavinia C. Tagliabue, Silvia Mastrolembo Ventura

BIM E CANTIERE DIGITALE 4.0

**IL CANTIERE EDILE E INFRASTRUTTURALE
TRA DATA ANALYTICS E INTERNET OF THINGS**

a cura di

Lavinia C. Tagliabue e Silvia Mastrolembo Ventura



- **DALLA FABBRICA 4.0 AL CANTIERE 4.0: MODELLI DI BUSINESS PER LE IMPRESE DI COSTRUZIONI**
 - **IL CANTIERE DIGITALIZZATO** ▪ **IL BIM EXECUTION PLAN E IL CANTIERE DIGITALE** ▪
4D INFORMATION MODELING & CONSTRUCTION MANAGEMENT ▪ **IL FIELD BIM**
 - **IL CANTIERE COGNITIVO** ▪ **LA REALTÀ VIRTUALE E LA REALTÀ AUMENTATA PER LA GESTIONE
DEL CANTIERE** ▪ **INFORMATION MANAGEMENT E CONSTRUCTION MANAGEMENT**

Angelo L.C. Ciribini, Davide Ghelfi, Giovanni Caratozzolo,
Lavinia C. Tagliabue, Silvia Mastrolemba Ventura

BIM E CANTIERE DIGITALE 4.0

Ed. I (02-2019)

ISBN 13 978-88-277-0040-2
EAN 9 788827 700402

Collana **Manuali** (240)

BIM e cantiere digitale 4.0 / Angelo Luigi Camillo Ciribini ... [et al.] ;
a cura di Lavinia Chiara Tagliabue e Silvia Mastrolemba Ventura.
– Palermo : Grafill, 2019.
(Manuali ; 240)
ISBN 978-88-277-0040-2
I. Edilizia – Impiego [del] Building Information Modelling.
I. Ciribini, Angelo <1965->. II. Tagliabue, Lavinia Chiara <1975->.
III. Mastrolemba Ventura, Silvia <1987->.
690.028 CDD-23 SBN Pal0312124
CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

© **GRAFILL S.r.l.** Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo
Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313 – Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail grafill@grafill.it

**CONTATTI
IMMEDIATI**



ProntoGRAFILL
Tel. 091 226679



Chiamami
chiamami.grafill.it



Whatsapp
grafill.it/whatsapp



Messenger
grafill.it/messenger



Telegram
grafill.it/telegram

Finito di stampare nel mese di febbraio 2019
presso **Tipografia Luxograph S.r.l.** Piazza Bartolomeo Da Messina, 2 – 90142 Palermo

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

SOMMARIO

PREMESSA	p.	7
1. DALLA FABBRICA 4.0 AL CANTIERE 4.0: NUOVI MODELLI DI BUSINESS PER LE IMPRESE DI COSTRUZIONI	"	15
1.1. Il Cantiere 4.0	"	15
1.2. Il 4D Modeling	"	18
2. IL CANTIERE DIGITALIZZATO	"	25
2.1. Dal cantiere digitale al cantiere cognitivo	"	25
2.2. Modelli di produzione	"	29
3. IL BIM EXECUTION PLAN E IL CANTIERE DIGITALE	"	40
3.1. Il BIM Execution Plan	"	40
4. DAL PROGETTO ALLA REALIZZAZIONE	"	45
4.1. Dal progetto al cantiere	"	45
4.2. Il cantiere immaginato	"	46
4.3. Il dettaglio costruttivo: quale transizione?	"	46
4.4. Il cantiere simulato	"	47
4.5. Il cantiere sensorizzato	"	48
5. 4D INFORMATION MODELING & CONSTRUCTION MANAGEMENT	"	50
5.1. Il 4D BIM Modeling	"	50
5.2. La configurazione dei modelli 4D BIM	"	51
5.3. La configurazione del programma dei lavori	"	52
5.4. Caso di studio 1	"	56
5.5. Caso di studio 2	"	64
6. IL FIELD BIM	"	69
6.1. La gestione dei dati e delle informazioni sul campo	"	69
6.2. Gli obiettivi del Field BIM	"	70
6.3. L'attuazione del Field BIM	"	72

6.4.	La strutturazione dei dati	p.	74
6.5.	La gestione dei rapporti	"	78
6.6.	L'aggiornamento dei <i>4D BIM Model</i> e dei <i>5D BIM Model</i>	"	81
7.	IL CANTIERE COGNITIVO	"	84
7.1.	Introduzione	"	84
7.2.	Transizione digitale: da progetti a cantieri sempre più corretti	"	85
7.3.	Controllo qualità	"	86
7.4.	Corretta esecuzione e controllo dei tempi.....	"	89
7.5.	Gestione del cantiere cognitivo.....	"	92
7.6.	Piattaforma e tecnologie necessarie.....	"	93
7.7.	Cantiere innovativo e logistica migliorata: tracciabilità delle forniture.....	"	96
7.8.	Gestione delle risorse.....	"	98
7.9.	La gestione sicurezza secondo il D.Lgs. n. 81/2008 e ss.mm.ii.....	"	100
7.10.	Digitalizzazione del processo di controllo tecnico tramite DMS	"	104
8.	LA REALTÀ VIRTUALE E LA REALTÀ AUMENTATA PER LA GESTIONE DEL CANTIERE	"	107
8.1.	Il <i>Building Information Modelling</i> e l'innovazione digitale delle costruzioni	"	107
8.1.1.	La prototipizzazione virtuale come uso del modello informativo.....	"	108
8.2.	<i>Virtual Reality</i> (VR) e <i>Augmented Reality</i> (AR): la diffusione di tecnologie innovative	"	108
8.3.	<i>Virtual Reality</i> (VR) e <i>Augmented Reality</i> (AR): definizioni e differenze	"	110
8.3.1.	Realtà virtuale ed ambienti virtuali immersivi.....	"	110
8.3.2.	Realtà aumentata	"	112
8.4.	Applicazioni di realtà virtuale e realtà aumentata nel settore nelle costruzioni	"	113
8.4.1.	La realtà virtuale come strumento di comunicazione e revisione del progetto	"	113
8.4.2.	Pianificazione delle sequenze costruttive e monitoraggio dello stato di avanzamento lavori	"	115
8.4.3.	Simulazione delle attività in cantiere tramite realtà virtuale	"	116
8.4.4.	Progettazione e gestione della sicurezza in cantiere	"	117
8.5.	La realtà aumentata applicata alla gestione del cantiere e alla manutenzione.....	"	122

8.5.1.	Realtà aumentata per la fase costruttiva.....	p.	122
8.5.2.	Realtà aumentata per la manutenzione dell'opera in fase d'uso.....	"	124
8.5.3.	Rilevamento automatico delle criticità in cantiere.....	"	125
8.5.4.	<i>Virtual prototyping</i> applicato ai metodi di assemblaggio.....	"	126
8.6.	Conclusioni	"	126
8.7.	Bibliografia di riferimento	"	129
9.	<i>INFORMATION MANAGEMENT</i> <i>E CONSTRUCTION MANAGEMENT</i>	"	131
9.1.	Informazione e decisione	"	131

PREMESSA

Il presente volume rappresenta la prima parte di uno sforzo editoriale che intende mostrare come possa concretamente avvenire la digitalizzazione del cantiere e, più in generale, della commessa nel settore dell'edilizia e dell'infrastruttura.

Ciò che, tuttavia, deve essere immediatamente compreso è il fatto che, paradossalmente, la piena consapevolezza del significato ultimo della digitalizzazione nel comparto veda il BIM (*Building Information Modeling*) principalmente come una, o forse la, porta di ingresso a un contesto assai più ampio. Non a caso, nel momento in cui ci si occupa di *Data-Driven Process & Project*, in cui si pone il dato, numerico, computazionale, al centro dei processi e delle commesse, ci si accorge come occorra disporre di piattaforme, di eco-sistemi digitali, ovvero sia di ambienti di condivisione dei dati che garantiscano la continuità dei flussi informativi.

Non si tratta, infatti, tanto di garantire l'interoperabilità (e, in futuro, l'interconnessione) tra ambienti di modellazione informativa diversi, quanto di collocare non più l'oggetto, bensì l'entità, al centro delle attività.

Per meglio chiarire, si è ormai soliti immaginare che il punto di avvio, entro un protocollo di digitalizzazione, per la gestione della produzione cantieristica (e non solo, ovviamente) consista nei cosiddetti oggetti (tendenzialmente tridimensionali, ma sovente anche bidimensionali) di natura parametrica presenti nei modelli informativi, negli *Information Model*.

Da cui la convinzione che la gestione del cantiere, sia sul versante della direzione dei lavori (e del coordinamento per la salute e per la sicurezza) sia su quello della direzione tecnica di cantiere (e della gestione per la salute e per la sicurezza) si risolva attraverso il *cosiddetto 4D BIM Modeling*. Di conseguenza, la pianificazione e la programmazione dei lavori avverrebbe attraverso la visualizzazione di sequenze costruttive. In realtà, le cose stanno un poco diversamente, come la stessa evoluzione degli strumenti, degli applicativi informatici preposti alla produzione dei modelli 4D, sta a testimoniare.

Tali strumenti, infatti, stanno subendo due differenti processi di ibridazione:

- 1) da un lato, l'ambiente di modellazione informativa 4D si arricchisce delle funzionalità tipiche degli ambiti di programmazione, di monitoraggio e di controllo dei lavori, richiedendo una costante traduzione visuale, in immagini, di azioni di *sorting*, di *filtering*, di *grouping*, oltreché di analisi delle *S Curve* e dei corrispondenti *performance indicator*;
- 2) da un altro canto, la distinzione tra ambienti di *3D BIM Modeling* e di *4D BIM Modeling* è destinata ad attenuarsi, non solo in virtù di una indispensabile con-fusione, ma anche dell'irruzione in esso di strumenti di realtà virtuale, di realtà aumentata, di *gamification*, nella prospettiva della *business intelligence* e del *machine learning*.

È proprio la potenzialità simulativa offerta dagli applicativi della *gamification* che tende sostanzialmente a modificare lo statuto dei *3D BIM object*, a renderli oggetti interattivi, adattivi, dotati di una maggiore «intelligenza».

Per prima cosa, l'esigenza che si avverte prepotentemente è, perciò, quella di collegare in maniera sempre più stretta i processi informativi ai processi decisionali, il *Project Management* (in questo caso, il *Construction Site Management*) all'*Information Modeling*.

A questo scopo, occorre definire preliminarmente (in realtà, sarebbe opportuno farlo all'avvio della progettazione) le «entità», oltre che le loro sistemiche logiche, dotate di proprietà, corrispondenti a elementi distinguibili alle diverse scale (dalla porzione di territorio all'elemento costruttivo), i cui valori possano essere nel tempo alimentati da fonti eterogenee, a partire, ovviamente, dai modelli informativi.

In caso contrario, per prima cosa, alla base dei contratti staranno *Building Information Model* (aggregati o federati che siano) che, per quanto ben strutturati dal punto di vista geometrico-dimensionale e ricchi da quello alfa-numericò (due eventualità, invero, attualmente rare), non riflettono in alcun modo i pensieri e le logiche dei produttori e dei costruttori.

Per questa sola ragione, quei modelli informativi saranno inevitabilmente destinati a essere riconfigurati dall'impresa contraente, creando asimmetrie informative e ponendo, comunque, la questione relativa alla paternità e alla approvazione del progetto esecutivo, decisiva in caso di conflitti e di contenziosi avvenienti tra le parti in causa.

Il rilievo che, dunque, assume la transizione nella modellazione informativa tra fasi e soggetti differenti dovrebbe indurre, perciò, a porre meno l'attenzione sugli «oggetti» contenuti negli *Information Model*, e più, invece, alle entità che loro corrispondono.

Non è, in effetti, casuale che le forme di rappresentazione del cantiere digitale non siano tanto le scene tridimensionali quanto i *dashboard* che riportano alla *business intelligence*.

D'altra parte, molto spesso le visualizzazioni diacroniche dell'evoluzione del cantiere sono utilizzate esclusivamente dalle imprese di costruzioni nella fase di offerta come mezzo di comunicazione, anziché come veicolo di gestione: successivamente.

È chiaro, allora, come dovrebbe esserlo dalla lettura del saggio, che sia necessario collocare al vertice delle iniziative sulla digitalizzazione strutture di dati che, di volta in volta, saranno informate dall'*Information Modeling*, dal *Geographical Information System*, dal *Computer Aided Design*, dai dispositivi di *Field BIM*, dai *device* dell'*Internet of Things*, persino dalle *App* utilizzate dagli operatori in cantiere o dai meccanismi di analisi delle immagini, dei suoni, dei testi. In un certo senso, quindi, il BIM, come *leitmotiv*, è destinato a lasciare il passo a quello che dovrebbe essere un reale *Common Data Environment* (CDE), oggi, al contrario, ancora un *Document* o *Container Data Environment*.

La sfida, per quanto attiene al cantiere, nella sua accezione più dilatata, ricorrente nel volume, appare rivolta a istituire metriche computazionali in grado, in tempo reale e in remoto, di restituire gli accadimenti che vi si svolgono, nonché di interpretarli visualmente: più, come si accennava, come indicatori che misurano le prestazioni (tipicamente la produttività, declinata come gestione del tempo, della quantità, della salute, della sicurezza, dell'ambiente) che non in qualità di rappresentazioni.

D'altronde, i flussi informativi digitalizzati, nel cantiere, prendono la mossa dalla transizione tra la progettazione esecutiva e quella costruttiva (non disgiungibile naturalmente dalla caratterizzazione dell'organizzazione spaziale del luogo produttivo: il che, assieme ad altri fattori spinge verso la congiunzione, per mezzo del *Location-Based Management System*, tra *Digitally Enabled* e *Lean*) per transitare solo poi nella definizione delle sequenze temporali della realizzazione.

Per certi versi, pertanto, la progettazione costruttiva, supportata digitalmente, risulta essere persino più rilevante della complementare pianificazione e programmazione delle attività e dei lavori in 4D, proprio perché nel passaggio dalla sfera dei progettisti di committenza (sempre che si tratti di appalti di sola esecuzione, bene inteso) a quella di quelli di impresa intervengono a pieno titolo gli operatori della catena di fornitura.

Per questa ragione, le entità di cui sopra, che apparentemente si presentavano quali definitive nel progetto esecutivo, iniziano solo da questo momento a divenire davvero dinamiche, a subire, perlomeno nei valori, alterazioni, anche significative delle proprietà.

Sono proprio queste turbolenze a spiegare il motivo per cui, se gli strumenti di *authoring* del BIM (di produzione dei modelli informativi) appaiono significativi in quanto danno forma ai dati (non solo «graficamente»), tutti gli altri dispositivi che contribuiscono a modificare le strutture di dati, o almeno ad alterare i valori, esitano come decisivi per giungere, nelle transizioni, attraverso le transazioni, lungo la *supply chain*, a configurazioni, a loro volta destinate a mutare, a essere instabili, nel corso della gestione e dell'esercizio.

Ecco, allora, che possiamo immaginare, dai micro interventi (aggregabili) alle grandi opere, piattaforme che governino nel corso dei lavori le evoluzioni delle entità poc'anzi menzionate, dapprima in grado di analizzare le tendenze in atto e generare avvertimenti grazie a regole, affinabili progressivamente per mezzo di serie storiche, di loro elaborazioni probabilistiche, sino a giungere, in conclusione, a forme di cognitivtà.

Sotto questo profilo, il cantiere cognitivo, che dovrebbe essere la manifestazione ultima del cantiere digitalizzato, non necessariamente mostrerà i suoi connotati modificativi attraverso il visibile: ad esempio, tramite la robotizzazione e l'automazione.

Saranno, piuttosto, algoritmi invisibili a supportare i processi decisionali: saranno strutture di dati computazionali a permettere di innescare azioni preventive, oltre che correttive, non sempre per via di attuatori che reagiscono alla elaborazione di flussi informativi provenienti da recettori e mediati, appunto, da dispositivi decisionali (semi-automatici).

In definitiva, strutture di dati, non originariamente né costantemente rappresentabili geometricamente, con morfologie tradizionali, daranno vita a informazioni che, nel momento stesso in cui si definiscono come tali sono anche, in qualche modo, decisioni.

Information Modeling e Project Management, per la gestione del cantiere, diverranno, dunque, sempre più indistinguibili.

Se tutto ciò vale per il Committente Strumentale, il ricorso al *Building Information Modeling* (BIM), espressione utilizzata per alludere alla digitalizzazione, per lo Sviluppatore Immobiliare è essenzialmente finalizzato alla mitigazione dei rischi di insuccesso nel ciclo di vita dell'Operazione, a garanzia di chi investe e di chi finanzia.

Lo scopo ultimo consiste, invero, nella *predictability*, cioè nella possibilità di ridurre l'alba così presente nelle Operazioni Immobiliari.

Per chi avvia *Programme* di grande complessità occorre che i singoli *Project* che li articolano seguano specifici *Data Model*, strutture di dati che guideranno la effettuazione delle differenti fasi.

Il *Common Data Environment* (CDE) rappresenta oggi, nella sua versione più innovativa, per uno Sviluppatore Immobiliare, il dispositivo fondamentale per gestire il *Programme* o *Multi-Project Management* entro un eco-sistema digitale, nel quale emanare i singoli capitolati informativi o *Exchange Information Requirements*, possibilmente in forme assai meno «analogiche» di quanto oggi non si verifichi.

Tali requisiti informativi, definiti anche nella norma UNI 11337-6, soffrono, d'altra parte, del fatto che si traducono spesso, come detto, in documenti prescrittivi in modalità analogica, nel senso che presentano contenuti numerici modestissimi e divengono, perciò, richieste piuttosto tradizionali, disintegrate rispetto, ad esempio, alla *Project Charter*.

Nel momento nel quale i capitolati informativi, di là dalle istanze più convenzionali, non sono integrati nel *Project Execution Plan* e avanzano richieste replicabili narrativamente, il loro impiego per avere intelligenza dei processi di progettazione e di esecuzione delle opere risulta relativamente poco incidente, favorendo nelle consultazioni con i potenziali fornitori la produzione di *Pre-Awarding BIM Execution Plan* poco comparabili e poco credibili, una volta divenuti *Post-Awarding BIM Execution Plan*.

Il CDE, in termini normativi, era stato concepito, agli albori del BIM, nei primi Anni Duemila, colla norma BS 1192-1, con una particolare attenzione per le opere di London 2012. Ciò avveniva, peraltro, contestualmente alla pubblicazione della BS 6079, dedicata al *Project Management*, con la parte specificamente dedicata alla *Construction Industry*, poi evolutasi nella ISO 21500.

Sostanzialmente, sinora, al CDE hanno fatto capo una serie di «piattaforme» che si sono lentamente evolute, dalla mera gestione dei file (*information container*, come li definiscono le norme ISO EN 19650-1 e 19650-2, che sostituiscono anche le pre-norme BS PAS 1192-2 e 1192-3) ad alcune funzionalità di verifica dei modelli informativi, oltre che di coordinamento del processo di *Information Modeling*, restando ancora distanti da una logica di sistemi di supporto alle decisioni.

Il punto cruciale è, tuttavia, che questi Ambienti di Condivisione stentano a gestire i dati in maniera rigorosamente computazionale, «liberandoli» dai documenti a cui sono associati, per non dire di tutti gli elaborati cartacei trasferiti in esso o associati ai modelli informativi digitalmente, senza una loro impiegabilità numerica diretta, che obbliga a continui rimandi.

Tutto ciò causa frequenti interruzioni nei flussi informativi (ad esempio tra ambienti di calcolo e ambienti di modellazione e all'interno di questi) e, soprattutto, rende molto difficoltosa la correlazione tra dati geometrico-dimensionali e dati alfa-numeriche.

In altre parole, nei modelli informativi, disciplinari o federati, si trovano abitualmente quasi solo entità geometrico-dimensionali, oltre a tutto strutturate in maniera abbastanza confusa, nonché integrate da informazioni grafiche eterogenee a essi, scarsamente parametriche, che contribuiscono alla diseconomie di gestione dei modelli informativi stessi. Ciò, in buona parte, si deve a capitolati informativi inadatti a governare il processo computazionale di strutturazione dei dati e di configurazione dei modelli disciplinari e aggregati medesimi.

In definitiva, una gestione relativamente precaria delle informazioni fa sì che tra *Information Management* e *Project Management* vi sia scarsa interazione. Questa è la ragione per cui il progetto la norma UNI 11337-7 introduce la funzione del CDE Manager che ha sostanzialmente il compito di abilitare digitalmente il *Programme Management* dello Sviluppatore Immobiliare, relazionandosi al sistema informativo a supporto delle decisioni, così come previsto dai diversi *Body of Knowledge* inerenti al *Construction Project Management*. Analogamente, il progetto di norma UNI 11337-8, in gestazione, definirà puntualmente i flussi di lavoro che consentano una stretta cooperazione tra *Information Management* e *Project Management*.

Risalendo a valle del ragionamento, si può, allora, affermare che lo Sviluppatore Immobiliare sia un soggetto che commissiona, anzitutto, strutture evolutive di dati che gli consentano di ottenere cespiti immobiliari, peraltro, sovente dotati di *Building Management System* (sensorizzati e interconnessi) da gestire nel ciclo di vita.

In altre parole, allo Sviluppatore Immobiliare, alla conclusione dei lavori, non è più sufficiente disporre di beni conformi alle pattuizioni contrattuali, bensì, affinché essi possano essere «operabili» al meglio, serve un processo di *Soft Landings* che supporti la transizione dall'*As Built* allo *As Operational*, proprio perché, a prescindere dal *Disaster Management*, il cespite immobiliare varrà sempre di più per le *Operations*, per i servizi erogabili grazie agli edifici e alle reti urbane, a condizione di disporre di un corredo digitale costantemente aggiornato.

Se i modelli informativi non sono, sin dai requisiti iniziali, impostati secondo una logica costruttiva e se, nel corso dell'esecuzione, non consentono un dialogo virtuoso tra la direzione tecnica di cantiere e l'ufficio di direzione dei lavori, l'affidabilità, oltre che l'esattività, dei dati consegnati sarà gravemente ridotta. A questo fine, a cominciare dalla definizione delle caratteristiche dell'anagrafe immobiliare che si intende ottenere (il *Digital Facility Repository*), occorre impostare gli *Asset Information Requirements* (legati possibilmente alle specifiche dell'applicativo, *BIM compliant*, di *Facility Management* che si ipotizza di usare, in relazione alle esigenze espresse dai *Tenant*) e gli *Organization Information Requirements*.

Da questi ultimi, peraltro, all'interno degli *Exchange* (ormai non più *Client's* o *Employer's*) *Information Requirements*, ovvero capitolati informativi, sarà determinante la presenza di funzionalità di *Space Programming*, che permettano di concepire le relazioni tra unità funzionali, i flussi degli occupanti, oltre che le dotazioni immobiliari degli spazi, allo scopo di rendere massimamente «produttivi» i *work* e i *living space*.

L'applicativo di *Space Programming* consente, infatti, di instaurare una relazione bidirezionale costante con quelli di *BIM Authoring*, innescando un contraddittorio sistematico tra richieste formulate numericamente e opzioni progettuali altrettanti valutabili computazionalmente, ben prima e, comunque, in correlazione al *Code & Model Checking*.

Tutto ciò comporta il fatto che lo Sviluppatore Immobiliare, anche in presenza di richieste limitate allo *shell and core*, debba ragionare in una ottica operational, facendo attenzione, sin dalle prime ipotesi progettuali, formulate dai progettisti in modo tale da essere verificabili digitalmente (al di là dei *software* per il *Computational Design* ne esistono anche per il *Digital Sketching*), senza subire soluzioni di continuità tra ciò che è previsto negli *Information Requirements* e ciò che è offerto nei *BIM Execution Plan*.

Non è, comunque, un caso che i protocolli interoperabili, come IFC, nascano come *device* per impostare le strutture dei dati, priorità massima per il Committente e lo Sviluppatore Immobiliare che non si limiti a capitolati informativi poco computazionali, prima ancora che per scambiarli.

I fulcri innovativi da sottolineare sono così riassumibili:

- 1) dotare lo Sviluppatore Immobiliare di una forte progettualità computazionale, attraverso il CDE, nei termini di istruttoria e di verifica che gli sono propri, in vista del *fit out*, del *Facility Management* e dell'alienazione;
- 2) rendere il CDE uno strumento di supporto ai processi decisionali, anziché un semplice strumento di gestione informativa;
- 3) concepire la «condivisione» e la «collaborazione» in termini non pittoreschi, affiancando al CDE e ai suoi protocolli di scambio informativo una struttura contrattuale adeguata a tutelare lo Sviluppatore Immobiliare in termini, ad esempio, di *Intellectual Property* e di *Cyber Security*;
- 4) dotare il CDE di elementi di *Business Intelligence* che, progressivamente, possano anche arricchirsi di algoritmi di *Machine Learning*.

Il *Programme Enabling CDE* dovrebbe, anzitutto, permettere di produrre e di gestire *Exchange Information Requirements* (derivanti da *Asset* e da *Organization Information Requirements*) che esaltino la progettualità committente dello Sviluppatore Immobiliare, di utilità anche nei confronti delle istituzioni finanziarie e degli investitori coinvolti, come *Technical Auditing*.

Una concezione innovativa, fortemente computazionale degli EIRs, connessa al *Brief* (vedasi la norma BS 7000-4 e la norma BS 8541), indirizza richieste computazionalmente mirate ai progettisti, consentendo un monitoraggio delle attività e una dialettica nei loro confronti avanzata.

Sostanzialmente, per la natura stessa degli EIRs, legata al CDE, attraverso lo *Space Programme*, e alla configurazione dei *Workflow*, si tratta di rendere il più possibile trasparente la *supply chain* dei progettisti (e successivamente degli esecutori), la loro capacità come *Lead Design* (ovvero *Contracting*) *Team* di comprendere i *Requirement* dello Sviluppatore e di disseminarli selettivamente nella propria catena di fornitura.

Al fine di integrare il BIM Management nel Design Management, gli EIRs dovrebbero, in primo luogo, non solo attraverso le *Breakdown Structure*, imporre ai progettisti, per mezzo dei *BIM Execution Plan*, una configurazione, anzitutto, geometrico-dimensionale e, in seguito, alfa-numerica, che, alla conclusione della progettazione esecutiva, permetta agli esecutori di utilizzare i modelli informativi per la progettazione costruttiva, per la gestione dei lavori e, infine, per la produzione degli *Asset Information Model*.

Le attività stesse di *Code* e di *Model Checking* sono fortemente limitate, d'abitudine, dalla scarsa capacità dei committenti di definire *rule set* adeguati con le conseguenti richieste analitiche di contenuti informativi e di loro esplicitazione, limitandosi ad analisi dei conflitti geometrico-dimensionali.

D'altra parte, il *Digitally Enabled Design Management* deve essere consapevole che ogni *detection* critica comporta un dialogo delicato col *Design* o *Contracting Team* che il CDE e lo strumento di analisi dei conflitti deve supportare in termini comunicativi.

A titolo di esempio, con riferimento alla *Corporate o Programme BIM Library* dello Sviluppatore Immobiliare e dei suoi fornitori, le opere di urbanizzazione soffrono dell'assenza di famiglie ottimizzate, come accade per la modellazione informativa delle opere fognarie, provocando solitamente assai gravi criticità.

Si tratta di definire e di valutare le strutture dei dati e le loro alterazioni/evoluzioni ammissibili in rapporto anche agli usi della modellazione informativa.

Tra l'altro, al di là della confusione che può essere ingenerata dalla citazione coeva delle metriche della progressione della modellazione informativa proveniente da una miriade di fonti eterogenee (BIM Forum, NBS BIM Toolkit, UNI), lo Sviluppatore Immobiliare deve sorvegliare tramite gli applicativi di *Space Programming* e di *Model Checking*, che i progettisti prendano avvio in maniera corretta, non utilizzando *placeholder* fuorvianti già dal primo livello della progettazione. Parimenti, occorre ricordare che la esaustività dei contenuti di ciascun livello di progettazione è ancora dipendente dagli elaborati tradizionali, solo in parte traibili dai modelli informativi.

Quanto ai *BIM Use*, è determinante che gli obiettivi espressi dallo Sviluppatore Immobiliare facciano ricorso a *Model View Definition*, altrimenti, le poche righe di formulazione degli usi si risolvono in modelli informativi che li interpretano discrezionalmente e, quasi sempre, in maniera lacunosa. Tutto ciò, in relazione al *Code Checking*, impedisce, ad esempio, allo Sviluppatore Immobiliare di avviare tempestivamente indirizzi progettuali che facilitino la gestione della permessualistica e dei diversi protocolli da rispettare (tra cui LEED, WELL, ecc.).

Come detto, attraverso il CDE e gli EIRs, lo Sviluppatore Immobiliare ha la possibilità di impostare le strutture dei dati a cui i fornitori dei servizi di progettazione e delle attività realizzati dovranno sottostare.

A titolo di esempio, la definizione del *BIM Use* legato al *4D Modeling* è sistematicamente insufficiente, in quanto non descrive i criteri adottati dallo Sviluppatore Immobiliare per impostare il *Project Planning, Monitoring & Control*, sia usando l'*Activity-Based* e l'*Earned Value Management* sia ricorrendo al *Location-Based Management System*.

Così procedendo, lo Sviluppatore Immobiliare ricava dai propri fornitori visualizzazioni evocative di sequenze costruttive (poco più che render supportati da un programma dei lavori), anziché simulazioni integrate nel sistema di controllo di gestione, orientate specificamente alle *S Curve* e ai *Performance Indicator*, del tutto inutili.

Il CDE implica che tutti i soggetti coinvolti nel *Programme* siano tracciabili all'interno di un eco-sistema digitale in cui lo Sviluppatore agisce in termini di intelligenza dei fenomeni.

Gli EIRs richiedono a tutti gli operatori attivi in un livello di fornitura di comportarsi quali «committenti» di contenuti informativi, cosicché lo Sviluppatore Immobiliare possa validare o falsificare i modelli informativi ottenuti, oltre che collegarli ad altri contenuti informativi nel CDE.

REDATTORI DEI CAPITOLI

- 1, 2, 3, 4, 9 Angelo Luigi Camillo Ciribini
- 5 Giovanni Caratozzolo
- 6 Davide Ghelfi
- 7 Lavinia Chiara Tagliabue
- 8 Silvia Mastrolemba Ventura

DALLA FABBRICA 4.0 AL CANTIERE 4.0: NUOVI MODELLI DI BUSINESS PER LE IMPRESE DI COSTRUZIONI

1.1. Il Cantiere 4.0

Il presente capitolo è dedicato alla eventuale relazione che possa intercorrere tra la fabbrica 4.0 e il cantiere 4.0: a questo proposito, è opportuno premettere la principale conclusione delle considerazioni che saranno proposte nel prosieguo della riflessione, nella direzione di indicare che il paradigma 4.0 sia realmente sconvolgente, determinando una reale cesura epistemologica.

Secondo Birgit Vogel-Heuser, una delle maggiori studiose del tema, co-curatrice dei manuali di riferimento per la manifattura germanica, condividere dati e informazioni coi Concorrenti come fattore peculiare competitivo per una azienda è l'elemento veramente *disruptive* di 140 inteso come *business model*: *Diese Vernetzung kann aber nicht nur im eigenen Unternehmen, sondern auch mit dem Mitbewerber stattfinden.*

Tutto questo si riflette, come sarà spiegato successivamente, anche nel Settore delle Costruzioni, attraverso formule contrattuali cosiddette di *Alliancing*. È evidente, perciò, che la sottolineatura di aspetti paradossali, che, cioè, contraddicono l'opinione consolidata, serve a indicare come, nella realtà, l'interrogativo primario verta intorno alla mutazione dell'essenza del mercato, all'interno di una cultura industriale che, a dispetto delle apparenze, vede concretarsi il «4.0» per il cantiere assai meno nei droni, nelle stampanti 3D, nei caschi connessi e immersivi, mentre ciò accade molto maggiormente negli algoritmi, invisibili, che utilizzano in funzione predittiva le ingenti moli di dati che ciascun Player inizia a scorgere come il motore principale di ogni incremento di competitività, di produttività e di redditività e di cui hardware e software, che si tendono a ricomprendere nel «BIM», sono mediatori.

Prima di giungere, tuttavia, alle conclusioni della trattazione che, in virtù della loro paradossalità, nel significato etimologico del termine, sono identitarie, interrogano, perciò, lo statuto dell'impresa, occorre ritornare al cantiere, alla sua forma attuale, radicatasi nel corso dei decenni, almeno nelle modalità legate alla meccanizzazione. Chiaramente, la presenza e la natura degli operatori che agiscono nel cantiere, nei confronti della meccanizzazione stessa è già oggi assai differenziata per il varo di un viadotto, per la posa dei casseri al fine di realizzare le strutture portanti di un edificio in conglomerato cementizio armato, per consolidare intonaci parzialmente distaccati o per preservare superfici lapidee.

Il cantiere è, infatti, una entità, che essenzialmente, come è palese, dà luogo ad azioni tangibili che conducono a esiti materiali, «analogici» (finalizzati allo spettro assai variegato che intercorre tra la conservazione e la demolizione), oltreché si trova a giungere solitamente al termine del processo ideativo, caratterizzato, invece, dal lavoro intellettuale, immateriale.

Nella prospettiva tradizionale, dunque, il paradigma che vale è quello, idealmente, della «distinzione», che tenga separata la concezione dalla esecuzione, relegando il Cantiere, con tutte le specificità possibili, alla mera realizzazione di intenzioni manifestatesi altrove.

Ben inteso, la vicenda reale racconta di esiti diversi, in cui molte decisioni progettuali possono essere rimesse in discussione o addirittura modificate radicalmente: anche in questa occasione, come in altre, la digitalizzazione del cantiere, *off site* prima ancora che *on site*, promette di invertire questa teoricamente svantaggiosa condizione.

La struttura organizzativa e decisionale del cantiere si presenta, inoltre, spesso articolata orizzontalmente (con, ad esempio, colla formazione di raggruppamenti temporanei) e parcellizzata verticalmente (lungo, ad esempio, i livelli di sub-appalto). Ciò determina il fatto che i centri decisionali raramente siano costanti per ciascuna impresa contraente e che le inclusioni nelle catene di fornitura siano sempre variabili.

Per questo motivo, la stessa struttura organizzativa che presiede al cantiere è instabile, facendo sì che la disponibilità dei dati, tanto più nelle forme numeriche, dunque riutilizzabili computazionalmente, appaia infrequente in termini esaustivi per l'impresa contraente, che spesso non mostra neppure un particolare interesse per i livelli di dettaglio minuto, perché meno rilevanti nell'ottica tradizionale.

Conseguentemente, i dati e le informazioni che attualmente si producono o si utilizzano nel cantiere non sono strutturati in maniera omogenea e adeguata, non sono praticabili in modo computazionale: di fatto, una gran parte di essi finisce per essere smarrita colla chiusura dei lavori, generando un evidente spreco. La conseguenza di tutto ciò è che il cantiere, senza memoria, incapace di capitalizzare una base di conoscenza, appare come il luogo di una complessità (troppo) elevata, il cui coordinamento si rivela problematico, in cui la rischiosità è notevole.

Il cantiere, almeno quello *on site*, è aleatorio per definizione. La Digitalizzazione, come si comprenderà meglio in seguito, promette, invece, di sovvertire tutte queste premesse, proprio per mezzo di quei dati e di quelle informazioni poc'anzi ricordati, che consentono di ridurre quell'aleatorietà attraverso un approccio probabilistico.

Si tratta di verificare se questa promessa di prevedibilità e di governabilità del cantiere possa essere mantenuta o se, al contrario, essa possa rivelarsi una illusione oppure, persino, una minaccia. Se, del resto, si mostrasse illusoria, una modesta digitalizzazione potrebbe, comunque, arrecare modesti benefici, a fronte, forse, di costi, effettivi e figurativi, non irrilevanti.

Se, al contrario, il cantiere assumesse una veste eccessivamente digitale, si invererebbe la ipotesi per cui il lavoro umano, intellettuale o meno, verrebbe meno o sarebbe fortemente ridimensionato, nonostante la retorica della sostituzione delle competenze antiche con altre inedite.

Presso il DICATAM dell'Università degli Studi di Brescia, sia a livello scientifico sia a livello didattico, da più di dieci anni sono in corso studi e sperimentazioni sul cantiere digitalizzato, che oggi definiremmo cantiere 4.0, o meglio, cantiere cognitivo. Ciò ovviamente si ispira all'Industria 4.0, il ben noto modello manifatturiero di origine tedesca che attualmente sta ispirando nuovi modelli di *business* e di impresa, oltre che di lavoro: si tratta, pertanto, di verificare le modalità di trasposizione di soluzioni produttive sorte altrove nel Settore delle Costruzioni.

La Quarta Rivoluzione Industriale, si rammenta, si basa, in ambito manifatturiero, partendo da una precedente forte automatizzazione e robotizzazione negli impianti produttivi, proprio su *Cyber-Physical Systems*, *Internet of Things*, *Cloud Computing*, *Cognitive Computing*, per quanto non sia veramente disponibile per essa una definizione stabile. Il cosiddetto 4.0, è, comunque, spesso evocato, associandolo all'Edilizia, più raramente al Cantiere, per il quale si riconoscono, negativamente, i tratti della variabilità e della imprevedibilità, oltre che quelli della opacità e della frammentazione.

IL CANTIERE DIGITALIZZATO

2.1. Dal cantiere digitale al cantiere cognitivo

Die Digitale Baustelle è il titolo di un saggio pubblicato qualche anno fa da Springer, così come non sono inaudite né inedite le dizioni *Digital Construction Site* o *Le Chantier À l'Ère du Numérique*: l'espressione «cantiere digitale» non è, perciò, inedita. McKinsey ha, inoltre, recentemente condotto una esaustiva analisi su molte centinaia di *startup* che offrono applicativi non solo destinati al cantiere, ma anche concepiti per un uso sul campo, impiego assai diverso da quello usuale alla scrivania. Il «cantiere digitale» è, dunque, spesso identificato come sinonimo di «cantiere del futuro», a indicare come la digitalizzazione sia espressione principale dell'innovazione per il settore delle costruzioni: con ciò non si intende, ovviamente, il ricorso nella conduzione dello stesso degli strumenti legati al *Building Information Modeling* (BIM).

La letteratura scientifica sul tema, che riporta le sperimentazioni più avanzate, da cui derivano i prodotti prima menzionati, è già molto ricca, come testimoniano i maggiori *Journal* dedicati al settore, e le offerte commerciali, sia pure relativamente sperimentali, come detto, non difettano certamente. Pressoché tutti i grandi gruppi presenti sui mercati internazionali delle costruzioni stanno investendo in questo senso, privilegiando questo o quell'aspetto, ma certamente non si può ritenere che la digitalizzazione sia effettivamente presente in senso compiuto nell'ordinarietà dei cantieri né che vi sia sempre in atto una vera e propria strategia digitale che metta a sistema le tecnologie acquisite entro i processi aziendali.

Al contrario, alcune esperienze in cui le tecnologie e gli strumenti sono stati introdotti senza un previo studio dei flussi informativi e di quelli decisionali hanno indotto una proliferazione di dati che, lungi dall'aggregarsi in informazioni strutturate, hanno prodotto notevoli turbolenze. *The Economist*, così come in precedenza molti altri osservatori, da Accenture a KPMG, da Ernst & Young a Roland Berger, da BCG a McKinsey, ha sottolineato l'elevato grado di improduttività, oltre che di ritardo in fatto di cultura industriale, che contraddistinguerebbe, a livello globale, il settore delle costruzioni e, nel caso di specie, le imprese di costruzione. L'assunto iniziale da cui prende le mosse questa riflessione parte dalla severa critica alla reputazione che il settore subisce, anche con riferimento a mercati in massima espansione, ben lungi dalla condizione critica e, sino a poco tempo fa, recessiva di quello domestico. A tale criticità si potrebbe porre rimedio, secondo questo punto di vista, che riflette, in maniera persino ossessiva, un vasto consenso internazionale da parte delle maggiori società di consulenza e dei maggiori *media*, attraverso la riconfigurazione del comparto impostata sulla digitalizzazione.

La digitalizzazione del settore e, dunque, delle imprese e dei cantieri diviene, dunque, un obiettivo impellente all'interno di un ambiente di pensiero internazionale che si radica a livello governativo e che si confronta con una base degli operatori assai distante da una razionalità digitale. Si tratta di una ipotesi che apparentemente non trova opposizioni dichiarate ma che, tuttavia, è contraddetta, anzi, non solo in Italia, dalla struttura profonda del mercato e degli operatori.

Come, di conseguenza, assicurare una transizione che permetta agli operatori, in questo caso del cantiere, di «digitalizzarsi»? L'adozione delle logiche digitali nel cantiere edile o infrastrutturale è, infatti, l'argomento di questo saggio: citando le logiche, e non solo gli applicativi, si vuole subito significare che l'obiettivo conclusivo del presente sforzo è indagare e, in parte, dimostrare, in che misura la digitalizzazione possa influire sulla natura stessa, assai antica, addirittura arcaica, della nozione di cantiere.

Il punto è che la digitalizzazione consiste essenzialmente nell'utilizzare la computazionalità del dato al fine di accrescere la propria comprensione dei fenomeni allo scopo di migliorare i propri processi decisionali, mentre usualmente essa è fatta coincidere con la gestione delle informazioni, contenute nei documenti, su supporto digitale. In realtà, prima di analizzare le modalità di diffusione delle soluzioni digitali nel cantiere, occorre notare come la digitalizzazione richieda di essere implementata nelle organizzazioni prima ancora che nei cantieri, andando a coinvolgere progressivamente i subfornitori e i subappaltatori, i cui legami con le imprese generali di costruzione sono spesso assai instabili.

Ciò, infatti, impedisce di attuare investimenti sulla catena di fornitura che non siano estemporanei e che siano, invece, consolidati nel medio periodo. D'altra parte, il cantiere digitale promette, al livello della singola commessa, di modificare le relazioni tradizionali tra la sede principale dell'impresa (o delle imprese) e i singoli cantieri.

Tale constatazione ribadisce, una volta di più, come quella digitalizzazione che si invoca come determinante della rivisitazione del mercato sia sostanzialmente ostacolata dalla natura di questo stesso, creando una sorta di circolo vizioso in cui si attendono ritorni sull'investimento senza por mano ai caratteri strutturali del mercato.

Come è ampiamente noto, e come è comprensibile dall'evoluzione delle indagini indotte da Mc Graw-Hill, nel settore delle costruzioni, specie attraverso il *Computational Design*, la digitalizzazione, in ogni modo, ha investito dapprima il versante dei progettisti (e dei loro rapporti con le committenze) per giungere solo successivamente al *Construction Management* e al *Facility Management*. Il cantiere, in particolare, solo recentemente inizia a vedere presenti abbastanza comunemente al proprio interno una serie di dispositivi digitali, la cui sistematizzazione capillare è ancora allo stato embrionale e che di per se medesima non giustifica la definizione di cantiere digitalizzato. Il cantiere digitalizzato non è, perciò, solo un cantiere in cui si adottano soluzioni digitali, come dimostra l'associazione sempre più stringente tra il *Construction (Project) Management* e l'*Artificial Intelligence*, il *Machine Learning* e il *Deep Learning*. Esso, come sarà sempre più chiaro nel corso del filo del ragionare, richiede, a causa della sua stessa essenza, una cultura organizzativa e gestionale all'interno delle imprese di costruzione caratterizzata da formalizzazione delle conoscenze, pianificazione delle attività, oggettivazione degli accadimenti, misurabilità dei risultati: elementi, per essere eufemistici, non sempre immancabili nel Nostro Paese.

Ciò spiega anche la ragione per cui la *Digitization* (il BIM, in senso molto lato), il *Lean Construction Management* e l'*Internet of Things* promettono, considerati assieme, di stravolgere gli assetti consolidati del cantiere.

Il cantiere(edile), per come è conosciuto, è ovviamente un luogo produttivo assai antico, assai più della fabbrica (manifatturiera), come dimostra l'evoluzione storica dell'iconografia a esso relativa, mentre più recente forse, risalendo probabilmente al XVIII secolo, è la figura dell'imprenditore edile contemporaneo, nel senso più stretto.

IL *BIM EXECUTION PLAN* E IL CANTIERE DIGITALE

3.1. Il *BIM Execution Plan*

Il cosiddetto *BIM Execution Plan* (BEP o PxP), ovvero, in italiano, Piano di Gestione Informativa (PdGI), è un documento sempre richiesto nei bandi di gara di servizi e di lavori che fanno riferimento a contratti pubblici o privati.

Esso, che è conosciuto in Francia come *Convention BIM* e in Germania come *BIM-Abwicklungsplan*, rappresentando la risposta che il candidato e l'aggiudicatario propongono al committente. Purtroppo, non di rado esso è richiesto in assenza dei Requisiti Informativi (Capitolato Informativo) del committente o in presenza di una loro versione largamente insoddisfacente.

Ciò causa numerosi inconvenienti, a partire dal fatto che, nella versione di Offerta, il PdGI diviene assolutamente autoreferenziale. Per questa ragione, si suole distinguere tra *Pre-Award* e *Post-Award BIM Execution Plan*, espressioni tradotte in italiano come Offerta di Gestione Informativa e Piano di Gestione Informativa.

In buona sostanza, a causa di ciò che è appena stato detto, la struttura concettuale del Piano di Gestione Informativa dovrebbe riflettere quella del documento a cui deve replicare, il Capitolato Informativo, altrimenti detto *Employer's* ovvero *Exchange Information Requirements*, redatto, appunto, dalla contro-parte.

Il principale elemento di debolezza dei PdGI è che esso è spesso malamente collegato ai *Project Execution Plan*, quasi che Informazione e Decisione, *Information Management* e *Project Management* possano viaggiare su binari non comunicanti.

Del PdGI, che nasce nell'ambiente statunitense, esistono differenti versioni, a seconda dei Paesi (dagli Stati Uniti al Regno Unito, dalla Svizzera all'Italia, dalla Germania alla Francia), che differiscono tra loro essenzialmente per la distribuzione nei contenuti nelle sezioni.

Dopo averne esaminato i tratti principali si affronteranno le principali criticità che essi presentano. In ogni caso, la razionalità di base consiste nella capacità dell'offerente o del contraente principale di dimostrare di avere compreso appieno i fabbisogni informativi del committente e di essere in grado di rispondervi unitamente alla propria catena di fornitura, a cui essi dovrebbero essere stati diramati in maniera selettiva.

Se tali richieste non fossero presenti, prevalentemente in maniera computazionale, tutto l'impianto concettuale risulterebbe inefficace, riducendo il documento a una serie di buone intenzioni fini a se stesse.

La fase preliminare dell'Offerta di Gestione Informativa è così articolata da parte di una fonte britannica, citata in premessa:

-
- A project implementation plan (PIP) setting out the capability, competence and experience of potential suppliers bidding for a project, along with quality documentation
 - Goals for collaboration and information modelling

- Project milestones in line with the project programme
 - Deliverable strategy
-

Secondo un'altra fonte, esso dovrebbe così delinearsi:

- a) the project implementation plan (PIP) – confirming the capability of the supply chain, software versions, exchange formats, resources from supply chain, PIP is one of the documents used by an employer to assess the capability, competence and experience of potential suppliers bidding for a project, along with quality documentation
 - b) project goals for collaboration and information modelling; agreed software and views, security, process
 - c) major project milestones consistent with the project programme; start dates, expectations and milestones, deliverables
 - d) project information model (PIM) deliverable strategy: listing the specific models/deliverables at each work stage of the project
 - e) How project team will work to achieve the delivery of Asset Data Requirements (set up on EIRs) at handover
-

Il Piano di Gestione Informativa, invece, è, secondo la fonte per prima ricordata, nel contesto anglosassone, quadripartito in *Management, Planning and documentation, Standard method and procedure, IT solutions*, così, a loro volta, suddivise:

Management:

Roles, responsibilities and authorities.
 Project milestones in line with the project programme.
 Deliverable strategy.
 Survey strategy.
 Existing legacy data use.
 Approval of information.
 Authorisation process.

Planning and documentation:

Revised project implementation plan (PIP) confirming the capability of the supply chain.
 Agreed processes for collaboration and modelling.
 Agreed matrix of responsibilities.
 Task Information Delivery Plan (TIDP) setting out responsibility for delivery of each supplier's information.
 Master Information Delivery Plan (MIDP) setting out when project information is to be prepared, by whom and using what protocols and procedures.

Standard method and procedure:

Volume strategy
 Origin and orientation
 File naming convention
 Layer naming convention
 Construction tolerances
 Drawing sheet templates
 Annotation, dimensions, abbreviations and symbols
 Attribute data

DAL PROGETTO ALLA REALIZZAZIONE

4.1. Dal progetto al cantiere

Al fine di comprendere che cosa possa essere realmente un cantiere digitalizzato occorre, per prima cosa, immaginare di «avere per le mani (o meglio, per le dita)» il modello informativo aggregato o federato tradotto in ologramma, e di poterne staccare un oggetto alla volta e porlo in una sequenza temporale e spaziale.

Che cosa è il modello di cui stiamo parlando? Il contenitore dei dati geometrico-dimensionali e alfa-numeriche che riguardano il progetto dell'intervento (qualunque esso sia) e la corrispondente organizzazione logistica del cantiere. In realtà, essendo quello un «modello», non si tratta di un «gemello» o di un «doppio» digitale delle entità analogiche che verranno, bensì, appunto, di una sua interpretazione, anticipata, per forza di cose mirata, selettiva e riduzionista. Ciascun oggetto, tuttavia, ha la possibilità di generare calore, suono, di collassare, di muoversi: in altre parole, si tratta di una vera e propria virtualizzazione che offre una sostanza piena alla rappresentazione tridimensionale (o bidimensionale o, addirittura, monodimensionale).

Nei fatti, ci si accorge immediatamente di in che misura quell'ologramma sia una costruzione vera e propria, nel senso che il modello informativo, più che essere un contenitore, sia una «struttura» di dati, «leggibili» sia dall'uomo sia dalla macchina. I contenuti informativi di cui stiamo parlando sono, però, pur all'interno di un ambiente di condivisione, di una piattaforma, di un eco-sistema, collocati entro *information container* generati da applicativi differenti, per quanto interoperabili. Sotto questo profilo, i committenti, da un lato, avendo fornito inizialmente il modello GIS/BIM del territorio di riferimento, oltre che possibilmente un capitolato informativo, e i progettisti, da un altro, avendo dato «forma» alla concezione dell'intervento, probabilmente non hanno sempre del tutto consciamente considerato il prodotto della propria attività intellettuale come una vera e propria strutturazione di dati. In verità, quasi sempre essi avranno prodotto il capitolato informativo senza avere configurato i requisiti informativi analiticamente, senza averli, cioè, strutturati computazionalmente.

Certo, in molti casi, avranno impostato della strutture di scomposizione utili a classificare, codificare ed aggregare gli oggetti, ma nella definizione funzionale-spaziale e morfologiche delle prime idee progettuali, nel calcolo strutturale, nella modellazione energetica, nel calcolo impiantistico, avranno, ovviamente, svolto attività disciplinarmente specifiche senza stabilire in maniera esaustiva relazioni dirette tra le proprietà degli oggetti e i loro valori. D'altra parte, gli oggetti che andranno «realizzati» (dalla conservazione alla demolizione, oltreché alla costruzione) sono effettivamente traduzioni, appunto, «oggettuali», di procedimenti mentali, di elaborazioni numeriche, e così via: di «astrazioni».

Ciò spiega, la difficoltà a ragionare per dati strutturati, la ragione per la quale sia, comunque, opportuno procedere contrattualmente, da parte della committenza, per produzione è messa a disposizione di documenti: inanimati.

4.2. Il cantiere immaginato

In ogni caso, ciò che giunge all'impresa generale di costruzioni che parteciperà alla procedura competitiva (gara di appalto o di concessione) è la previsione di ciò che andrà fatto, «veduta» (pre-vista, vista in anticipazione) cogli occhi di coloro che hanno concepito l'opzione progettuale e la hanno sviluppata.

Per motivi di semplificazione, si considera qui una situazione per cui ci si concentri esclusivamente sui ruoli esecutivi, e non eventualmente anche progettuali, assegnati all'impresa. Nell'ottica dell'impresa candidata, quella anticipazione, quella previsione, nel migliore dei casi, includerà, prescrittivamente, una buona parte dei contenuti informativi, divenendo assai utile per «prendere le misure» in termini di rischiosità dei lavori e di redditività del contratto.

Al contempo, tuttavia, se ci si focalizza sul modello informativo, con ogni probabilità, i modelli informativi 3D, 4D e 5D che saranno prodotti in sede di offerta assumeranno una finalità intrinseca alla procedura competitiva, ma ancora molto lontana dall'operatività effettiva.

Altra cosa è, invece, esplorare tutte le potenzialità che si offrono all'impresa appaltatrice o al concessionario. Qui occorre, per prima cosa, «riprendere in mano» quell'ologramma, dell'opera progettata e del suo territorio di riferimento e domandarsi se la logica di configurazione del modello informativo sia condivisibile ovvero se occorra «porvi mano» sino eventualmente al rifacimento integrale di quel modello medesimo.

Per prima cosa, la collocazione territoriale del modello informativo GIS/BIM riporta l'impresa contraente principale e il suo committente a ragionare sullo stato dei luoghi, in vista della consegna dei lavori, dopo che, a suo tempo, era stato effettuato il sopralluogo canonico.

Specialmente, quel modello informativo induce a chiedersi quali siano i confini effettivi del cantiere, che cosa sia, in realtà, il cantiere, perché, per i progettisti, è il manufatto il centro dell'attenzione, mentre, per gli esecutori esso è l'esito di un insieme di flussi e di dinamiche che certo condurranno ai «luoghi» esatti di lavorazione, ma che coinvolgono, come gestione delle risorse, localizzazioni eterogenee (dalle fabbriche alle discariche) da mettere in relazione, da rendere sistemiche. Per questo motivo, si potrebbe asserire che ciascun oggetto contenuto nel modello informativo compia due «viaggi»: il primo lo condurrà, attraverso le decisioni che saranno prese all'interno della catena di fornitura, tra l'impresa principale, i suoi subappaltatori e i suoi fornitori, a transitare da una configurazione a un'altra, talora mutando la struttura dei dati. Il secondo tragitto sarà, ovviamente, quello fisico che porterà nel luogo di produzione/assemblaggio/installazione le risorse che lo concreteranno.

4.3. Il dettaglio costruttivo: quale transizione?

Nell'ambito della modellazione informativa vi è un primo accadimento curioso: molti oggetti offerti dai produttori ai progettisti, per quanto riguarda i componenti «meccanici» (dagli elementi impiantistici ai sistemi costruttivi a secco: ma lo stesso vale per i macchinari di cantiere) sono iper dettagliati, provenendo dalla progettazione parametrica manifatturiera e abbisognano di essere semplificati o rifatti in sede di progettazione.

Si potrebbe, perciò, sostenere che i dettagli costruttivi stiano, importunamente, all'origine delle fasi preliminari e definitive della progettazione. Ciò detto, il problema non sta nella competenza costruttiva dei progettisti, che si presume detengano sufficienti conoscenze per rappresentare e per simulare digitalmente quanto ideato in termini analitici, bensì nel fatto che la loro

4D INFORMATION MODELING & CONSTRUCTION MANAGEMENT

5.1. Il 4D BIM Modeling

Il modello 4D BIM viene generato dall'*integrazione* di un modello 3D BIM dell'opera con il programma dei lavori al fine di visualizzare la sequenza costruttiva.

Per garantire la buona riuscita di una commessa risulta, infatti, fondamentale disporre di un'ottima pianificazione dei lavori. Tradizionalmente, per la redazione del crono-programma ci si affida quasi esclusivamente all'esperienza del *project manager* poiché, a oggi, non esiste un database dal quale trarre le informazioni necessarie alla corretta redazione del programma dei lavori. Questo processo comporta una elevata probabilità di commettere errori, sia durante la fase di redazione del programma dei lavori sia durante la fase di costruzione dell'opera.

La creazione di un modello 4D permette di superare alcune carenze tipiche dell'approccio tradizionale e di realizzare una migliore programmazione. Esso è generato associando gli elementi del modello 3D BIM dell'opera alle attività del programma lavori allo scopo, come detto, di visualizzarne la sequenza costruttiva. In questo modo, gli attori coinvolti nel progetto possono comprendere meglio la pianificazione dei lavori; la possibilità, inoltre, di inserire il progetto in un contesto temporale e spaziale permette di individuare valide alternative riguardanti il *layout* di cantiere, il posizionamento dei mezzi d'opera e la gestione della sicurezza.

Il modello 4D BIM permette di comunicare più chiaramente anche con persone non addette ai lavori e prive di conoscenze tecniche.

Ad esempio, in caso di ristrutturazione che preveda il normale svolgimento delle attività per tutta la durata dei lavori, questo strumento risulta molto utile per indicare agli operatori quali saranno i percorsi da seguire.

La mancanza di collaborazione tra i soggetti coinvolti può, ancora, dare origine a conflitti logistici.

Sinora, purtroppo, nonostante i vantaggi sopra elencati, queste modalità non rientrano nel normale iter operativo delle imprese di costruzioni.

Il modello 4D BIM può essere utilizzato lungo tutto il ciclo di vita della commessa.

Il suo utilizzo appare particolarmente utile in quattro fasi:

1. Studio di fattibilità

I modelli 4D BIM possono essere utilizzati per una pianificazione strategica durante lo studio di fattibilità. Grazie ad essi è possibile confrontare diverse alternative in modo dettagliato con un costo relativamente basso per i progettisti e il committente. Ad esempio, in caso di ristrutturazioni è possibile creare diversi scenari per poter individuare quale sia la configurazione migliore per mantenere in funzione l'edificio.

La creazione di un modello 4D BIM in questa fase può portare ad un notevole miglioramento della programmazione lavori.

2. Progettazione

In questa fase l'utilizzo del modello 4D BIM permette di analizzare i vantaggi offerti dalle diverse metodologie costruttive e di individuare quale sia la miglior programmazione possibile.

3. Selezione dell'affidatario

Tramite un modello 4D BIM il committente può dimostrare la propria capacità di gestire il lavoro secondo i modi previsti. Inoltre, in caso di opere di notevole complessità, il modello può essere utilizzato per mostrare alle imprese in gara quali sono i vincoli di progetto e le aspettative da raggiungere.

4. Costruzione

Il modello 4D BIM in questa fase può essere utilizzato per coordinare le attività programmate, individuare le zone in cui avvengono le lavorazioni e i flussi degli operai addetti ai lavori.

In cantiere può essere utilizzato per confrontare l'*as built* con l'*as planned* e per aggiornare il programma dei lavori anche giornalmente.

Il modello può pure essere utilizzato per istruire gli operai, indicare le vie di fuga e i nuovi percorsi da seguire da parte degli operatori che lavorano nell'edificio durante la fase realizzativa.

5.2. La configurazione dei modelli 4D BIM

Nel paragrafo si illustrano gli sforzi necessari per la configurazione del modello 4D BIM, sottolineando i limiti e i vincoli che è possibile rilevare durante tale procedimento.

Per realizzare un modello 4D BIM è necessario disporre di varie competenze nel proprio gruppo di lavoro. Di seguito viene riportato un esempio di composizione dello stesso e il riferimento alla fase in cui si verifica il coinvolgimento dei diversi attori. Il numero di partecipanti e il loro ruolo può variare a seconda del tipo di commessa e di contratto.

Molti sono i fattori che influenzano la scelta del livello di dettaglio: scopo del modello, tempo a disposizione per realizzare il modello, elementi critici, capacità degli *hardware* e dei *software* utilizzati, esperienza e preparazione dei modellatori e dei progettisti.

Il LOD del modello 4D è funzione di quello del modello 3D e del programma lavori; esso risulta coincidere con quello inferiore tra i due.

È, quindi, necessario, prima di cominciare a lavorare, individuare il LOD che si vuole raggiungere, in modo da costruire coerentemente il modello 3D BIM e il programma dei lavori.

Per creare un buon modello 4D BIM non solo è necessario creare ogni elemento in modo che sia poi possibile collegarlo a una attività del crono-programma, ma è opportuno modellare anche tutti gli elementi temporanei come i casseri, i puntelli e i ponteggi, oltre che, in caso di riqualificazioni, anche tutto ciò che dovrà essere demolito.

Lo sviluppo del modello 3D BIM costituisce la parte più onerosa dell'intero procedimento.

Gli elementi creati possono essere suddivisi, in funzione del successivo collegamento alle attività del programma dei lavori, in due grandi categorie:

- 1) *one to one relationship*: componenti che vengono collegate ad una singola attività;
- 2) *one to many relationship*: componenti che sono connesse a due o più attività.

Come il modello 3D BIM, anche il programma lavori deve essere creato tenendo presente che la finalità sarà la realizzazione del modello 4D BIM.

IL FIELD BIM

6.1. La gestione dei dati e delle informazioni sul campo

Il presente capitolo intende analizzare e indagare le metodologie per la gestione dei flussi di dati durante le fasi di lavorazione, in modo da fornire un quadro delle problematiche riscontrabili e delle possibili soluzioni all'interno di un cantiere digitale. Questo è spesso identificato come sinonimo di cantiere del futuro, a indicare come la digitalizzazione sia effettivamente considerata come la principale innovazione per il settore delle costruzioni.

Il cantiere origina una immensa fucina di dati, legati agli aspetti più disparati della costruzione di un'opera. Questi possono riguardare l'organizzazione delle lavorazioni, la sicurezza degli operai, l'accettazione dei materiali e il loro accatastamento; e ancora, lo stato di avanzamento dei lavori, i ritardi e le eventuali difformità dell'eseguito rispetto a quanto progettato.

Anche le condizioni meteorologiche rappresentano un dato non indifferente. Il rischio non banale è che tutte queste informazioni, se non gestite correttamente, possano rappresentare un eccesso dagli effetti dannosi sullo sviluppo dell'opera, tanto quanto l'opposta mancanza di dati. La produzione di quintali di documenti, impilati e dimenticati in archivi di cantiere non rappresenta, d'altra parte, sicuramente un efficiente metodo di acquisizione dei dati.

In particolare, si è soliti evidenziare come quasi la metà degli operatori di cantiere interpellati preferiscano acquisire dati manualmente e come la maggior parte di questi lo faccia utilizzando fogli di calcolo. Lo stesso discorso vale per il trasferimento delle informazioni tra le diverse figure e per la stesura dei report giornalieri. Tutto ciò, oltre a richiedere una notevole quantità di tempo, non può far altro che amplificare la possibilità di commettere errori.

Nell'epoca dei *Big Data* e dell'*Internet of Things* appare chiaro come la digitalizzazione debba in prima battuta rispondere a questa esigenza, consentendo una migliore gestione e un più adeguato impiego dei dati. Ciò deve avvenire giocoforza tramite un accurato studio dei *work-flow*, garantendo una struttura affidabile. In alcune circostanze, in cui le tecnologie e gli strumenti sono stati introdotti senza un previo studio dei flussi informativi e di quelli decisionali, infatti, queste hanno indotto una proliferazione di dati che, lungi dall'aggregarsi in informazioni strutturate, hanno prodotto notevoli disagi.

La transizione digitale, che ha già riguardato il settore della manifattura, inducendo a parlare di Industria 4.0, non deve essere intesa come una semplice conversione dei documenti, da un supporto materiale e tangibile a uno digitale, bensì come una lavorazione del dato, il quale attraverso una filiera controllata, sfruttandone la computazionalità, sia in grado di migliorare la comprensione dei fenomeni generando processi decisionali migliori.

È importante sottolineare come attualmente uno dei principali ostacoli allo sviluppo di processi digitalizzati solidi, risieda proprio all'interno delle società e delle imprese. È necessario, infatti, che la digitalizzazione sia recepita da tutta la filiera costruttiva, dai fornitori ai sub-appaltatori. Se anche solo uno di questi soggetti disattendesse il passaggio alla digitalizzazione, si

andrebbe incontro inevitabilmente a un'enorme perdita di tempo e di risorse da parte di tutti gli altri soggetti coinvolti. Pertanto, prima ancora che i singoli operatori, devono essere formate alla digitalizzazione le imprese di costruzione stesse, le quali devono intervenire sulla propria cultura organizzativa e gestionale, garantendo la pianificazione delle attività, l'oggettivazione degli accadimenti e la computabilità dei risultati.

Come già detto, il modello di riferimento in questo senso non può che essere il settore manifatturiero, anche se è innegabile come le condizioni al contorno nei due ambiti siano completamente differenti. Se, infatti, in stabilimento gli operatori coinvolti, le lavorazioni e i processi risultano essere sempre i medesimi prestabiliti, così non è per il cantiere, dove la temporaneità dello stesso, la variabilità del luogo, l'unicità dell'opera da realizzare e l'influenza delle condizioni climatiche lo rendono più difficilmente prevedibile, consentendo agli scettici di motivare la propria propensione a non evolvere verso la piena digitalizzazione. È doveroso precisare come il passaggio al cantiere digitale non rappresenti una negazione del carattere pratico del cantiere edile tradizionale, in particolare degli operatori che vi hanno preso parte sino a ora.

La manualità e le capacità tecniche degli individui che vi lavorano restano fondamentali e imprescindibili. Questa transizione, semmai, deve essere in grado di fornire dei nuovi strumenti per una migliore gestione del *workflow*, garantendo che il cantiere torni a essere un luogo di produzione, riducendo al minimo la necessità di compiere scelte di tipo progettuale. La gestione digitale dei dati, in questo contesto, riveste un ruolo davvero importante, poiché garantisce il completo trasferimento delle informazioni, dall'ufficio di progettazione all'impresa esecutrice, e dal cantiere verso l'ufficio della direzione lavori, scongiurando eventuali incomprensioni o dimenticanze.

Questo approccio, come già sperimentato nell'ambito della progettazione, consente di eliminare la pericolosa fase di interpretazione del disegno o degli appunti, minimizzando le ambiguità dovute all'utilizzo di simboli o alla deperibilità dei supporti, e garantendo l'utilizzo dei dati più corretti ed aggiornati durante le fasi decisionali. A tal proposito, già dagli Anni Settanta si individuava il disegno bidimensionale, e più in generale la rappresentazione mediante l'utilizzo di simboli e di schemi, come una delle possibili fonti di incomprensione tra i soggetti coinvolti in una commessa, in quanto le informazioni in esso contenute risultavano ridondanti poiché continuamente ripetute alle varie scale. Nonostante gli sforzi per mantenere aggiornati i disegni, capitava che le decisioni prese dai progettisti avvenissero in funzione di informazioni obsolete.

Inoltre, sulla base dei disegni diveniva complessa ed impegnativa anche la fase di estrazione di dati numerici per le successive analisi e, una volta completata la costruzione, le informazioni che la riguardavano risultavano facilmente deperibili. Nell'ambito di cantiere tutto ciò significa che se ogni aspetto della costruzione dell'opera, e ogni singolo dato derivante da macchinari o operatori è convogliato all'interno di un *database*, e questi è organizzato in maniera adeguata e secondo logiche congrue al processo di lavorazione delle informazioni, ciascun dato sarà utile alla causa per la realizzazione di un cantiere efficiente e sicuro.

6.2. Gli obiettivi del *Field BIM*

Sulla base di quanto detto nel paragrafo precedente, l'obiettivo da perseguire, è, dunque, quello di sviluppare un luogo adatto ad accogliere le informazioni riguardanti l'opera, consentendone un controllo continuo ed una gestione in tempo reale, garantendo a tutti gli operatori la possibilità di accedere e di consultare in ogni momento i documenti correnti.

IL CANTIERE COGNITIVO

7.1. Introduzione

Il tema del cantiere cognitivo prevede di approcciare la complessa gestione della costruzione di un'opera edilizia facendo uso e tramite il supporto delle tecnologie digitali che consentono di unificare la filiera produttiva, logistica, fuori dal cantiere e in situ, fino all'opera costruita all'interno di un *framework* di gestione e controllo *BIM-based*. Questo significa che anche non solo l'edificio ma anche il cantiere hanno un «gemello digitale» che permette di organizzare, controllare e prevedere le fasi e le interferenze che avvengono durante le opere di costruzione.

La metodologia BIM (*Building Information Modeling*) sta radicalmente e irrevocabilmente mutando il comparto delle Costruzioni, poiché consente una visione coerente ed olistica del progetto lungo tutto la sua filiera. In questo senso, si sta prendendo sempre più coscienza di quanto la componente informativa sia il vero filo rosso che collega le fasi del ciclo di vita dell'opera dalla fase di definizione programmatica fino alla sua dismissione dell'opera. L'affacciarsi di questa consapevolezza è la forza dirompente (*disruptive*) della transizione digitale per il settore AEC.

In questo momento storico di grande rilevanza per l'IoT (*Internet of Things*), i dati si rivelano fondamentali per supportare i processi decisionali; in questo senso, la parziale automatizzazione dei processi è una caratteristica-chiave del concetto di Industria 4.0. L'uso del BIM nei processi edili fornisce agli *stakeholders* la possibilità di comprendere e supportare le decisioni tramite un approccio computazionale.

Anche le più recenti disposizioni di legge impongono un nuovo modo di operare in edilizia: ad esempio, la Direttiva Europea 2014/24 suggerisce una valutazione dell'opera pubblica non più limitata alla fase della sola progettazione e costruzione, ma estesa a tutto l'arco della vita utile, favorendo l'adozione della modellazione informativa, poiché offre la possibilità di controllare il complessivo andamento del progetto. Dopo aver recepito la normativa europea, il legislatore italiano si è spinto oltre con il D.M. n. 560/2017, che ha stabilito il passaggio a un approccio BIM negli appalti pubblici, attraverso un graduale processo di *soft-landing* di transizione al digitale, a partire dalle opere più rilevanti e strategiche con l'obiettivo, entro il 2025, di estenderlo a tutti gli appalti.

Per avviare tale processo, occorre in primo luogo consentire alla committenza di entrare in contatto con la metodologia BIM; questo cambiamento operativo si riflette anche sulle imprese di costruzione, che sono chiamate a modificare la propria struttura e a produrre dati utili per la gestione dell'immobile. Per conseguire un vero cambiamento di approccio occorre, però, che i dati disponibili vengano usati per una reale innovazione dei processi e di controllo delle performance, approccio non tipico delle imprese del comparto AEC, le quali solitamente effettuano solo valutazioni a consuntivo. Molti sono i benefici che la metodologia BIM e le nuove tecnologie possono portare sul cantiere, trasformandolo in *smart site* e efficientando una serie di processi che con le modalità di svolgimento tradizionali comportano sprechi di materiale, allunga-

mento dei tempi e sprechi nei costi della gestione. In particolare di seguito, saranno evidenziati i benefici dell'integrazione di tecnologie quali sensoristica e realtà aumentata al fine di implementare la digitalizzazione del cantiere e dei processi ad esso correlati.

7.2. Transizione digitale: da progetti a cantieri sempre più corretti

Gli edifici, e le opere di costruzione in genere, nel corso degli ultimi anni rivelano un denominatore comune: risultano sempre più complessi ed è difficile avere per ognuno di loro una visione globale delle lavorazioni, delle loro relazioni e del particolare contesto spazio-temporale in cui esse si svolgono. Tale complessità, inoltre, aumenta la probabilità e la distribuzione di errori legati alle varie fasi progettuali e costruttive.

Nonostante molti studi abbiano indagato le cause degli errori, poco è noto relativamente ai reali costi ad essi associati, risulta infatti difficile stabilire le modalità di stima e misurazione di questi costi e i loro effetti nell'arco del ciclo di vita dell'opera. Bijen (2003)¹ afferma che gli errori nel settore delle costruzioni incidono fino al 10% dell'investimento totale per la realizzazione di un'opera. Lopez (2012)² sostiene che i soli errori presenti nei documenti di gara possono incidere fino al 5% del valore contrattuale.

Secondo il *Building Research Establishment*, nel Regno Unito, almeno il 50% degli errori nella realizzazione e vita dell'opera sono imputabili alla fase di progettazione. Attraverso l'impiego del BIM, invece, si è in grado di ridurre notevolmente questi errori, grazie al continuo controllo sulle interferenze progettuali interdisciplinari garantendo un risultato congruente. Operando in modo tradizionale i progettisti lavorano spesso in una condizione di quasi completa indipendenza l'uno dall'altro, prendendo decisioni strategiche e progettuali senza considerare il loro impatto sulle altre discipline.

Le imprese affidatarie ricevono spesso documentazione incompleta o erronea, specialmente quando esistono tempistiche strette da rispettare. Anche le forme contrattuali e le modalità di aggiudicazione dei lavori influiscono significativamente sul livello di coordinamento, comunicazione e flusso delle informazioni tra progettisti. Love (1998)³ constata che la separazione che avviene comunemente tra progetto e costruzione ha fatto sì che perdurasse la mancanza di collaborazione tra coloro che si occupano dell'opera in momenti temporali diversi.

In contrasto con questa tendenza, il BIM, che sostiene una piena e continua collaborazione fra tutte le figure coinvolte in un'opera (committenza, progettisti, e, volendo, impresa affidatarie e quant'altri ancora chiamati a dare il loro apporto), esige una strategia unica (Love et al., 2010)⁴, che ruoti attorno a contenuti informativi condivisi, dall'inizio alla fine della collaborazione. La transizione digitale, spinta dalle normative e articolata come sopra descritto, porta ad una commistione tra progetto digitale e realtà. Questo fenomeno è in costante aumento, grazie allo svi-

¹ Bijen, J. (2003). *Durability of engineering structures: Design, repair and maintenance*, Woodhead Publishing, Cambridge, UK.

² Lopez, R., & Love, P.E.D. (2012). *Design Error Costs in Construction Projects*. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(5), 585-593.

³ Love, P.E.D., Skitmore, R.M., and Earl, G. (1998). «Selecting a suitable procurement method for a building project.» *Construction Management and Economics*, 16(2), pp. 221-233.

⁴ Lopez, R., Love, P.E.D., Edwards, D.J., and Davis, P. R. (2010). «Design error classification, causation and prevention for constructed facilities.» *J. Perform. Constr. Facil.*, 24(4), 399-408.

LA REALTÀ VIRTUALE E LA REALTÀ AUMENTATA PER LA GESTIONE DEL CANTIERE

8.1. Il *Building Information Modelling* e l'innovazione digitale delle costruzioni

L'adozione della realtà virtuale (VR) e della realtà aumentata (AR) sta notevolmente crescendo negli ultimi anni anche nel settore delle costruzioni, mutuando in ambito architettonico, ingegneristico e di gestione del costruito applicazioni già in uso in altri contesti industriali, quali, ad esempio, quelli dell'aeronautica, dell'*automotive* e del *product design*. Si può notare come il crescente interesse nei confronti di queste tecnologie da parte del settore delle costruzioni sia strettamente legato, oltre che conseguente, alla sempre più diffusa implementazione di processi, procedure e tecnologie di modellazione informativa, ovvero di *Building Information Modelling* (BIM)^{1,2,3}.

Il *Building Information Modelling*, per definizione, corrisponde a quell'insieme di tecnologie, processi e procedure che, supportate dalla digitalizzazione, permettono a diversi soggetti portatori di interesse di progettare, costruire e gestire in modo collaborativo un'opera edilizia o infrastrutturale in un ambiente virtuale⁴.

Tradizionalmente parlando, il modello BIM, ovvero il *Building Information Model* o modello informativo, come lo definisce la terminologia introdotta dalle norme UNI 11337:2017⁵, è il risultato di un processo di *information modelling* e consiste in un modello digitale tridimensionale il cui contenuto informativo alfanumerico, ovvero geometrico e testuale, è strutturato e gestito tramite oggetti parametrici organizzati in cosiddette librerie BIM; il modello BIM consiste quindi in una rappresentazione digitale dell'opera reale, un suo prototipo virtuale che ne rappresenta una versione filtrata per obiettivi di analisi e simulazione.

La strutturazione del contenuto informativo di un modello BIM è, di conseguenza, funzione di tali obiettivi i quali si riflettono in usi del modello, ovvero *BIM use*, e finalità della modellazione informativa, *BIM purpose*⁶.

A livello procedurale, tale rappresentazione digitale dell'opera nasce per essere innanzitutto condivisa, in quanto univoca risorsa di conoscenza e, per questo, base affidabile per processi decisionali collaborativi che coinvolgono vari portatori di interesse in base al proprio ruolo a alla fase del processo⁷. Inoltre, sottolineando l'aspetto collaborativo sotteso all'implementazione del BIM, si evidenzia come un'efficace implementazione dei metodi e degli strumenti di

¹ Castronovo et al. (2013).

² Liu et al. (2014).

³ Liu (2017).

⁴ Succar (2009).

⁵ UNI 11337:2017.

⁶ Penn State University (2013).

⁷ NIBS (2015).

modellazione informativa dipenda molto da come e in quale fase si inizi a lavorare perseverando verso un'ottimizzata interazione tra le parti e i relativi interessi⁸.

Il significato di *Building Information Modelling* e, ancor di più, del suo relativo acronimo, BIM, in realtà è cresciuto enormemente nel corso degli anni fino ad assumere, ad oggi, quello più generico di “innovazione digitale” per il settore delle costruzioni⁹; è in questo contesto che si innestano sull'acronimo BIM anche altri termini caratteristici della transizione in atto nel settore, come *Internet of Things* (IoT), *Linked Data*, e le stesse *Virtual Reality* ed *Augmented Reality* che sono oggetto della trattazione del presente capitolo. Ciò che accomuna queste applicazioni, trasversalmente alle fasi in cui vengono adottate e agli attori che le utilizzano, è probabilmente l'idea, forse ancora inconsapevole, della necessità di modificare il modo con cui viene gestita l'interazione tra le parti così come l'informazione legata al processo, non più settoriale e destinata a supportare una specifica fase del ciclo di vita di un'opera, quanto piuttosto trasversale nella sua gestione, nonché integrata e strutturata e, per questo, necessariamente collaborativa.

8.1.1. *La prototipizzazione virtuale come uso del modello informativo*

Un *Building Information Model*, come si è detto, costituisce una rappresentazione digitale dell'opera, ovvero un suo prototipo virtuale che, come tale, può essere esplorato e testato prima di essere fisicamente realizzato^{10,11}. La realtà virtuale e la realtà aumentata sono un mezzo tramite il quale questa esplorazione è possibile, con fini e modalità a volte differenti. Nel presente capitolo ci si soffermerà soprattutto sulle possibilità di implementazione di queste tecnologie nella fase costruttiva di un'opera andando a descrivere, con finalità prettamente divulgative, le possibilità ad oggi disponibili sul mercato o oggetto di ricerca per quanto riguarda sia la realtà virtuale che la realtà aumentata applicate alla gestione del cantiere. Verranno innanzitutto proposte delle definizioni di VR e AR in modo da distinguere le caratteristiche principali delle due tecnologie e, in seguito, verranno presentati esempi applicativi relativamente all'utilizzo delle stesse nella pianificazione delle attività costruttive, nella gestione della logistica di cantiere, nella progettazione della sicurezza, nel monitoraggio dei lavori e nella formazione del personale addetto alla realizzazione e gestione dell'opera.

8.2. *Virtual Reality (VR) e Augmented Reality (AR): la diffusione di tecnologie innovative*

Si ritiene innanzitutto necessario mettere in evidenza la motivazione alla base dell'interesse che anche il settore delle costruzioni si trova a rivolgere nei confronti di queste tecnologie. Le costruzioni, infatti, nonostante siano un settore storicamente restio al cambiamento tecnologico e di processo, si trovano ora in una fase di trasformazione digitale che rende inevitabile occuparsi di strumenti che a breve diventeranno di normale utilizzo nella quotidianità, anche se ad oggi sembrano una novità lontana da uno scenario di *business as usual*. Inoltre, è importante farlo in anticipo, prendendosi il tempo necessario alle sperimentazioni e all'approfondimento, in modo

⁸ Eastman et al. (2011).

⁹ BIM dictionary (2016).

¹⁰ Tutt & Harty (2013).

¹¹ Kumar et al. (2011).

INFORMATION MANAGEMENT E CONSTRUCTION MANAGEMENT

9.1. Informazione e decisione

Il capitolo tratta del rapporto che intercorre tra la Informazione e la Decisione, *cercando*, dunque, di mettere in relazione lo (*Infrastructure & Building*) *Information Modeling* e il (*Construction*) *Project Management*. L'assunto di base che determina la popolarità odierna dell'*Information Modeling* è che un sistema efficiente di Gestione dell'Informazione, essendo fondato sullo Scambio, generi un Ambiente Collaborativo, rendendo più efficace la Gestione delle Decisioni, il (*Construction*) *Project Management*, e, che di conseguenza, aumenti la scarsa Produttività del Comparto, imputabile, in misura rilevante, alla disponibilità di dati inaffidabili, incompleti e/o parziali. Il termine «scambio», in verità, in luogo della «trasmissione» evoca una transazione bidirezionale, anziché una consegna impositiva, facendo intendere che vi sia una volontà reciproca di intendersi tra le parti in causa.

La digitalizzazione è, così, assunta in molti ambiti come il fattore che permetta di ridurre i tempi di realizzazione (dal rilascio di un titolo edilizio abilitativo al completamento dei lavori) e, al contempo, che ne consenta un incremento qualitativo (dalla ottimizzazione multi-criteriale di una scelta progettuale di una facciata continua al corretto posizionamento delle riserve in un cassero). In buona sostanza, la gestione informativa agirebbe come facilitatore entro un eco-sistema in cui la gestione decisionale funge da dispositivo per l'Integrazione tra i soggetti coinvolti. D'altronde, la sensazione è che la Gestione delle Informazioni spesso immagini di ergersi a protagonista escludendosi da ogni assunzione di responsabilità sulla Gestione delle Decisioni: se così fosse, si creerebbero aspettative eccessive per un fenomeno di relativa modestia, per quanto la computazionalità consenta senz'altro un incremento di Produttività (dalla drastica riduzione della generazione del computo metrico alla sostituzione dell'operatore umano con un automa supportato da algoritmi).

Occorre notare che, peraltro, alcuni Dati determinino e veicolino effettivamente le Decisioni, mentre altri vi contribuiscano in misura assai inferiore. È ovvio, tuttavia, che Collaborazione e Integrazione, intrinseche a *Information & Project Management* non discendono implicitamente dai metodi e dalle tecnologie, ma sono fortemente condizionate da sistemi di convenienze reciproche garantiti contrattualmente e realizzabili organizzativamente.

Il che appare piuttosto problematico in un contesto nazionale come quello italiano in cui il (*Construction*) *Project Management* non ha mai goduto di diritto di cittadinanza (solo ora, ad esempio, l'acronimo elementare WBS è sulla bocca di tutti) e nel quale l'opacità dei dati e l'incompletezza delle informazioni, oltre che la loro distribuzione asimmetrica, sono sempre state pietre miliari di un approccio distintivo, antagonistico e conflittuale. Il rischio maggiore che un approccio fideistico all'*Information Modeling* implica è il trascurare che esso dia per presupposto non scontato l'evoluzione strategica delle catene di fornitura in senso collaborativo, non riflettendo adeguatamente sulle condizioni per le quali ciò dovrebbe verificarsi.

Il progetto di norma ha, dunque, tra le altre finalità, quella di cercare di evidenziare che le condizioni ambientali attraverso cui i dati possano prodursi, strutturarsi in informazioni ed essere utilizzabili dall'uomo o dalla macchina in maniera simmetrica, trasparente ed esaustiva sono soggette a culture settoriali, quadri contrattuali e strutture organizzative specifici. Il punto è che, a dispetto delle aspettative, l'*Information Modeling* copre e tratta attualmente in maniera diretta solo una parte delle informazioni necessarie alla formulazione delle richieste del committente, dei contenuti della progettazione e una parte ancor più modesta degli scambi informativi che avvengono nei luoghi produttivi e manutentivi, per quanto l'integrazione tra gli applicativi di modellazione informativi e altri *software* specialistici sia in fase crescente.

In un certo senso, si potrebbe forse affermare che per quanto nell'ambiente di modellazione informativa si possano configurare tutti gli elementi (le entità), la loro definizione (dal calcolo alla relazione) avvenga spesso al di fuori di essi, in altri ambienti computazionali e numerici, per quanto in dialogo tra loro. Naturalmente, l'ambito di applicazione della norma riguarda sia il singolo Progetto (*Project*) che una pluralità di Progetti dotati di un diverso grado di interdipendenza o di correlazione (*Programme* o *Portfolio*). Allo stesso modo, i principi e i contenuti del dettato normativo valgono a prescindere dalla entità del Progetto o del Programma e della sua complessità, benché esso evidentemente possa essere declinato con intensità differenziate e in esso le funzioni richieste possano o meno essere riassunte in un numero minore o maggiore di soggetti.

Si tratta, evidentemente, di due «discipline», quella attinente all'Informazione e quella attinente alla Decisione, che presentano sistematizzazioni e storie assai differenti, ma che entrambe si sono proposte con prepotenza solo recentemente nel contesto nazionale, almeno per quanto concerne i contratti pubblici: basti pensare alla linea guida ANAC sul RUP e al D.M. n. 560/2017. Per quanto attiene all'*Information Modeling* esso è descritto, a livello nazionale, come sequenza logica e come relativi approfondimenti, in particolare, nelle norme UNI 11337-1, -4, -5 e -6, e lo sarà, a livello internazionale e sovranazionale dalla norma (UNI) EN ISO 19650-2, che prevederà una appendice nazionale di armonizzazione col contesto specifico.

A proposito delle norme della serie EN ISO 19650, è interessante osservare che in esse l'*Information Modelling*, pur presente nella titolazione, viene, in qualche modo, ridimensionato a favore dell'*Information Management*, a sottolineare l'influenza della componente di gestione su quella legata alla nozione di rappresentazione, ma, in realtà, è proprio la nozione di *Modeling* a dover essere enfatizzata in termini di simulazione e di modellizzazione delle strutture dei dati, come intende il progetto normativo UNI.

Tra l'altro, i documenti proposti dalla normativa internazionale introducono, accanto all'*Information Modeling* e al (*Construction*) *Project Management*, il *Quality Management*, oltreché l'*Asset Management*: le norme ISO 9001 e ISO 55000, disponibili anche come norme UNI.

Quantunque sia vero che lo stesso Charles M. Eastman, dopo aver proposto un *Building Description System*, abbia originariamente egli stesso utilizzato l'espressione *Building Product Modeling*, prima che sorgesse, a opera degli studiosi Nederveen e Tolman, il *Building Information Modeling*, è opportuno riflettere meglio sul significato di «modello» e su quello di «modellazione», che, comunque, indicano una descrizione teoretica e riduzionista di un sistema, piuttosto che non, come si suole dire, una replica esatta, doppio o gemello che sia.

Il nesso tra *Information Modeling* e (*Construction*) *Project Management* si gioca, infatti, anche sulla nozione di «modello», inteso come sistema di strutturazione dei dati e loro ricomposizione secondo criteri aggregativi finalizzati. Ad esempio, all'interno di un Programma particolar-

Il **Building Information Modeling (BIM)** si sta diffondendo rapidamente nel settore della costruzione e dell'immobiliare, svolgendo, a cominciare dalla fase di progettazione, la funzione di far comprendere il valore del dato numerico, computazionale. Al contempo, esso mostra i propri limiti, indicando come, all'interno di applicazioni digitali che spaziano dalla *Immersive Reality all'Internet of Things*, il cantiere edile o infrastrutturale, inteso nelle sue molteplici declinazioni, stia progressivamente mutando la propria fisionomia.

Ciò richiede, peraltro, che si configurino apposite piattaforme digitali preposte alla pianificazione, alla organizzazione e alla gestione del cantiere, in grado di supportare i processi decisionali attraverso flussi informativi impostati sulle analitiche dei dati.

Il volume offre, da un lato, una base teorica e metodologica che concerne sia il cantiere stesso sia le singole organizzazioni ivi coinvolte (uffici di direzione dei lavori, imprese di costruzioni e di installazione, commissioni di collaudo, ecc.), mentre, da un altro canto, descrive le applicazioni operative in materia di 4D BIM, *Field BIM*, *Internet of Things*, *Virtual Reality & Augmented Reality*, allo scopo di far comprendere come ciò che conti per il **Cantiere 4.0 o Cantiere Cognitivo**, sia l'intelligenza che deriva dall'ecosistema digitale che ne orienta il governo.

La crescente disponibilità di nuove soluzioni tecnologiche puntuali finalizzate alla digitalizzazione del cantiere, nonché la embrionale realizzazione di ecosistemi digitali di supporto alla gestione del medesimo, mettono, comunque, in prospettiva, in risalto la necessità di affinare i modelli dei dati (numERICI) e la struttura dei flussi (informativi).

Occorre, inoltre, in prospettiva, una volta consolidata la digitalizzazione del cantiere tramite processi decisionali semi-autonomi (o almeno di supporto alle decisioni), concepire la piattaforma digitale in stretta connessione tra la singola commessa (il singolo cantiere) e il sistema di controllo di gestione delle organizzazioni coinvolte (dalla committenza alla impresa contraente principale).

Il volume intende, quindi, aprire un percorso destinato, nel prosieguo, ad assumere caratteristiche sempre più ampie e innovative.

Angelo Luigi Camillo Ciribini, Professore Ordinario di Produzione Edilizia, già Presidente di IStEA, è membro del consiglio direttivo di CTE, CCLM, eLUXLab, Mistral. Partecipa alla Faculty del PREM Lab presso SDA Bocconi. È attivo nei lavori di UNI, CEN, ISO, EU BIM Task Group e nel Projet National MINND.

Davide Ghelfi, ingegnere edile libero professionista, collabora dal 2016 come assistente di laboratorio del corso di "Organizzazione del Cantiere" presso l'Università di Brescia. È impegnato nel coordinamento e sviluppo di progetti costruttivi mediante l'applicazione della metodologia BIM.

Giovanni Caratozzolo, ingegnere strutturista, cultore della materia "Organizzazione del Cantiere", coniuga da anni l'attività professionale ed accademica trasferendo contenuti tra le due dimensioni. Svolge consulenza e supporto in ambito BIM sia in relazione alla modellazione che alla gestione e coordinamento dei processi.

Lavinia Chiara Tagliabue, architetto, ricercatrice presso il Dipartimento DICATAM dell'Università di Brescia. Ha approfondito i temi che riguardano sostenibilità, risparmio energetico ed energie rinnovabili nell'ambiente costruito. Si occupa di simulazione energetica e interoperabilità BIM per la modellazione energetica ed edifici cognitivi.

Silvia Mastrolembo Ventura, ingegnere edile-architetto, specializzata nell'implementazione di innovazione digitale e procedure BIM nella gestione dei processi progettuali e realizzativi di un'opera. Attualmente, è PhD Candidate in Ingegneria delle Costruzioni presso il Politecnico di Milano e Research Assistant presso l'Università di Brescia.



ISBN 13 978-88-277-0040-2



Euro 32,00