

Massimo Lauria, Maria Azzalin,

Dipartimento di Architettura e Territorio, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Italia

mlauria@unirc.it

maria.azzalin@unirc.it

**Abstract.** Il contributo affronta le numerose questioni connesse al rapporto tra progetto e manutenibilità alla luce delle opportunità offerte da Industria 4.0 poste in relazione agli avanzamenti disciplinari e allo scenario normativo internazionale e nazionale. Come per i prodotti industriali, la manutenibilità edilizia è requisito di progetto e presuppone, strumenti, procedure, capacità di programmazione. Questioni non nuove, diversi i caratteri connotanti. Oggi, la Lean Construction e le tecnologie ICT si configurano come metodologie e strumenti sinergici finalizzati a migliorare la "prevedibilità" dei progetti. Rappresentano alcuni dei capisaldi di un innovato approccio, capaci di proiettare nell'era della quarta rivoluzione il settore delle costruzioni e, ancor più, le prassi del progetto da cui discendono le scelte e le strategie di gestione del ciclo di vita e dunque i caratteri di efficienza e sostenibilità. In questo contesto, progetto e manutenibilità, trovano una loro rilettura e attualizzazione, non solo con riferimento ai propri portati operativi, ma principalmente considerando rinnovati approcci *human-centred*.

**Parole chiave:** Progetto; Manutenibilità; Industria 4.0; Lean Construction; Information Communication Technology.

Progetto e manutenibilità – intesa quest'ultima nella sua dimensione di *requisito di progetto* che pone in relazione le decisioni di ordine formale, funzionale, costruttivo, economico con la coerente pianificazione delle successive attività di gestione e manutenzione – sono i termini di una dicotomia percepita, forse mai quanto oggi, come immanente criticità per il settore delle costruzioni.

Già identificata negli anni novanta come anello debole del rapporto tra "costruzione e conservazione degli edifici" (D'Alessandro, 1994), i suoi effetti, non solo sono oggi avvertiti con maggiore preoccupazione dagli operatori del settore, ma configurano una questione che si manifesta in tutta la sua severità per via dei costi, inopinatamente crescenti, dovuti alla mancata manutenzione di infrastrutture, edifici e impianti.

Costi che la società civile paga sul piano prettamente economi-

Project and  
maintainability in the era  
of Industry 4.0

**Abstract.** The paper deals with the many issues related to the relationship between project and maintainability in light of the opportunities offered by Industry 4.0 referred to scientific advances and international and national regulatory context. As for industrial products, building maintainability is a design requirement and requires tools, procedures and programming skills. Not new issues, different the connoting characters. Today, Lean Construction and ICT technologies are synergetic methodologies and tools aimed at improving the "predictability" of design. They represent some of the cornerstones of an innovative approach, capable of projecting the construction sector into the era of the fourth revolution and, even more, the design practices from which descend the choices and strategies for managing the life cycle and therefore the characteristics of efficiency and sustainability. In this context, project and maintainability find

co, su quello della scadente qualità dell'immagine urbana e, purtroppo, anche in termini di vite umane.

Nel nostro Paese, come in Europa, la maggior parte del patrimonio costruito va completando il proprio naturale ciclo di vita; il suo materiale simbolo, il cemento armato, iconografia di una cultura del costruire che non ha considerato in fase di progetto di dover fare i conti con il suo degrado, e quindi con la sua cura, mostra tutte le proprie fragilità.

Nel passato, viceversa, proprio l'aver cura e la costante riparazione costituivano una strategia sostenibile, garanzia di qualità e efficienza; modalità che appaiono abbandonate non già per lasciare il campo a procedure più efficaci, moderne e innovative, quanto, piuttosto, a favore di una sostanziale rinuncia all'attuazione di una politica di governo dell'ambiente antropizzato nel suo insieme.

La reiterata incapacità di pianificare, sin dalla fase di progetto, una corretta gestione del ciclo di vita, ha dunque di fatto negato alla manutenzione il ruolo, attribuitole con lungimiranza da Molinari, di «strategia di sviluppo e riequilibrio delle conseguenze di processi di crescita troppo spesso sfuggiti a qualsiasi forma di controllo» (Molinari, 1998).

Kilbert, quasi contemporaneamente, nel corso della prima Conferenza Internazionale sulle Costruzioni Sostenibili di Ann Arbor, poneva l'attenzione sulle strette relazioni che intercorrono tra produttività e benessere, tra costi economici e costi socio-ambientali. A margine della declinazione dei sei principi per un "costruire sostenibile" – Conserve, Reuse, Renew/Reeyele, Protect Nature, Non-Toxics, Quality – evidenziava tra l'altro che «It also leads us to the use of durable materials that have long lifetimes

a re-reading and updating, not only with reference to their operational capacity, but also mainly considering renewed human-centered approaches.

**Keywords:** Project; Maintainability; Industry 4.0; Lean Construction; Information Communication Technology.

Project and maintainability – the latter being considered as a *project requirement* that relates formal, functional, constructive and economic decisions with the consistent planning of subsequent management and maintenance activities – are the terms of a perceived dichotomy, perhaps never more than today, as immanent criticalities for the construction sector.

Already identified in the nineties as a weak link in the relationship between "construction and conservation of

buildings" (D'Alessandro, 1994), its effects are not only felt today with greater concern by sector's operators, but they shape an issue that manifests itself, in all its severity. It is due to unexpectedly increasing costs caused by the lack of maintenance of infrastructures, buildings and equipment.

Costs that civil society pays on a strictly economic level, on that of the low quality of the urban image and, unfortunately, also in terms of human lives. In our country, as in Europe, most of the built heritage is rounding off its natural life cycle; its symbolic material, the reinforced concrete, iconographic material of a build culture that having not considered in the planning phase to have to deal with its degradation, and therefore with its care, shows all its fragility.

In the past, vice versa, just the having care and the constant repair set up a

and require low maintenance» definendo corrispondenze esplicite tra gli aspetti attuativi e le scelte progettuali dalle quali discende l'ottimizzazione della successiva fase di gestione (Kilbert, 1994). Circa venti anni prima, un'inchiesta sui problemi economici derivanti dalla gestione dei patrimoni immobiliari in alcuni paesi europei, faceva emergere con forza la significativa incidenza dei costi di esercizio e gestione rispetto ai costi totali nel ciclo di vita; voci di costo strategiche per l'economia e la competitività di una nazione; non più trascurabili in fase di programmazione di un intervento edilizio (Cee, 1976).

Dati e indicazioni ribadite e attualizzate di recente, con analogha preoccupazione, dagli analisti del World Economic Forum che, nell'ambito di una più generale riflessione sulla produttività del settore, confermano come i principali costi del ciclo di vita siano in gran parte determinati dalle scelte effettuate in fase decisionale, con una incidenza sul totale del 10-50%, per quelli connessi alle fasi di programmazione, progettazione e realizzazione, che cresce fino al 40-80%, per quelli connessi alla fase di gestione operativa (World Economic Forum, 2016).

Contestualmente allo studio della Cee richiamato, la genesi e la successiva diffusione della disciplina della Terotecnologia nel suo significato di «combination of management, financial, engineering, and other practices applied to buildings and structures in pursuit of economic life cycle costs» segna da quel momento l'affermazione dei principi che saranno poi posti alla base della moderna concezione della manutenibilità nella sua applicazione al settore edile (Department of Industry, 1978).

Da allora la letteratura scientifica e i provvedimenti normativi hanno spesso abbinato all'agire progettuale i termini "costi", "efficienza", "manutenibilità", "sostenibilità".

sustainable strategy, a guarantee of quality and efficiency. Modalities that appear to have been abandoned not to work to more effective procedures' advantage, modern and innovative, but, rather, in favor of a substantial abdication of carrying out a policy of governing the entropized environment as a whole.

The repeated inability to plan, right from the project phase, a correct management of the life cycle, has therefore in fact denied maintenance the role, attributed to it, with foresight by Molinari, of «strategy of development and rebalancing of the consequences of too much growth processes often escaped out of any form of control» (Molinari, 1998).

Kilbert, almost at the same time, during the first International Conference on Sustainable Constructions of Ann Arbor, focused attention on the close

relationships between productivity and well-being, between economic costs and socio-environmental costs. Furthermore, the declination of the six principles for a "sustainable building" – Conserve, Reuse, Renew / Reeyele, Protect Nature, Non-Toxics, Quality – highlighted that «It leads to long lifetimes and require low maintenance» defining explicit correspondences between the feasible aspects and the design choices from which the optimization of the subsequent management phase derives (Kilbert, 1994).

About twenty years before, a survey on the economic problems deriving from the management of real estate assets in some European countries strongly revealed the significant incidence of operating and management costs compared to the total costs in the life cycle. Strategic cost items for a nation's economy and competitiveness; no longer

Questi oggi, unitamente al loro portato teorico-attuativo, costituiscono i principali *pillars* della serie ISO 15686 *Buildings and constructed assets - Service life planning*. Finalizzata a definire e mettere a sistema metodologie e strumenti per garantire durante il ciclo di vita dell'edificio la più efficiente combinazione di costi di investimento, manutenzione e gestione, la serie introduce la stima della vita utile in fase di progetto (ISO 15686, Parte 2), quella dei costi, LCC (ISO15686, Parte 5) e degli impatti ambientali nel ciclo di vita (ISO 15686, Parte 6). Propone inoltre modalità e strumenti per la gestione dei dati, in termini di raccolta e strutturazione (ISO 15686, Parte 7) nonché di trasferimento e comunicazione (ISO 15686, Parte 4). «When the Service life of the building and its parts are estimated, maintenance planning and value engineering techniques can be applied. Reliability and flexibility of use can be increased and the likelihood of obsolescence reduced» (ISO 15686 Parte 1).

A livello nazionale, già dagli anni novanta, la legge 109/1994 teorizzava che «la progettazione è informata, tra l'altro, a principi di minimizzazione dell'impegno di risorse materiali non rinnovabili e di massimo riutilizzo delle risorse naturali impegnate dall'intervento e di massima manutenibilità, durabilità dei materiali e dei componenti, sostituibilità degli elementi, compatibilità dei materiali ed agevole controllabilità delle prestazioni dell'intervento nel tempo». Nei successivi articoli, oltre a introdurre i requisiti d'accettazione dei materiali e dei relativi controlli, definiva regole e strumenti, quali principalmente il Piano di Manutenzione, finalizzati all'ottenimento e al mantenimento di un predeterminato livello di qualità nel tempo.

Un quadro normativo costantemente alimentato negli anni non solo dai contributi forniti dall'Ente di Unificazione Nazionale,

negligible in the planning phase of a building intervention (Cee, 1976).

Data and indications reasserted and recently updated, with similar concern, by the analysts of the World Economic Forum who, on a more general remark on the productivity of the sector, confirm that the main costs of the life cycle are largely determined by the choices carried out in the decision-making phase. With an incidence on the total of 10-50%, for those connected to the programming, design and implementation phases, which grows up to 40-80%, for those connected to the operational management phase (World Economic Forum, 2016).

Parallel with the EEC's mentioned study, the genesis and subsequent diffusion of the Terotechnology discipline in its meaning of «combination of management, financial, engineering, and other practices applied to

buildings and structures in pursuit of economic life cycle costs», marks from that moment the affirmation of some fundamental principles. These one will then be placed at the base of the modern conception of maintainability in its application to the construction sector (Department of Industry, 1978). Since then, scientific literature and regulatory measures have often combined the terms "costs", "efficiency", "maintainability" and "sustainability" with planning.

These today, together with their theoretical-operative outcome, constitute the main *pillars* of the ISO 15686's *Buildings and constructed assets - Service life planning*. Aimed at defining and systemizing methodologies and tools to guarantee the most efficient combination of investment, maintenance and management costs during the building life cycle, the series in-

attraverso la definizione di strumenti operativi e la proposizione di strategie di politica tecnica, ma anche da un ricco e articolato dibattito scientifico-culturale che riconosce alla manutenzione il ruolo di cerniera tra le scelte progettuali e la fase di gestione (Ciribini, 1979; Molinari, 1989; D'Alessandro, 1994).

Studi e teorie che hanno condotto a quei primi chiari e lapidari enunciati riferiti alla centralità del rapporto tra progetto e manutenibilità confluirono, appunto, nella Legge 109/94 e ss.mm.

Dopo aver attraversato le diverse revisioni e riforme legislative, detti enunciati oggi sono riproposti in tutta la loro importanza non solo dal nuovo codice degli appalti, D.L. 50/2016, ma anche dal D.M. dell'ottobre 2017 sui Criteri Ambientali Minimi per l'affidamento di servizi di progettazione.

Ma se è vero, come è vero, che la letteratura scientifica e il quadro normativo – certamente chiari negli enunciati teorici, nella formulazione delle finalità generali e nelle indicazioni delle prassi poste in relazione al ciclo di vita – orientano verso l'attuazione di una attenta politica di pianificazione dei processi gestionali e manutentivi del costruito, è altrettanto vero che tali indicazioni risultano ad oggi, e questo appare in tutta la sua evidenza, totalmente disattese (Cattaneo, 2012).

### Si traggono tuttavia nuove e potenziali opportunità

Il settore delle costruzioni è infatti in cammino verso la quarta rivoluzione industriale.

Un percorso lungo il quale, attraverso le politiche attuative di Industria 4.0 e l'applicazione delle relative Tecnologie Abilitanti, si stanno attivando trasformazioni, talvolta lente ma sostanziali, e affermando contemporaneamente nuovi paradigmi.

introduces the service life estimation in the design phase (ISO 15686, Part 2), that of costs, LCC (ISO 15686, Part 5) and environmental impacts in the life cycle (ISO 15686, Part 6). It also proposes methods and tools for data management, in terms of collection and structuring (ISO 15686, Part 7) as well as transfer and communication (ISO 15686, Part 4). «When the service life of the building and its estimated parts, maintenance planning and value engineering techniques can be applied. Reliability and flexibility of use can be increased and the likelihood of reduced obsolescence» (ISO 15686 Part 1).

At the national level, since the 1990s, law 109/1994 declared that «design is informed, among other things, by principles of minimization of the commitment of non-renewable material resources and maximum re-use of natural resources involved in the

intervention and maximum maintainability, durability of materials and components, substitutability of the elements, compatibility of materials and easy controllability of the performance of the intervention over time». In the following articles, introducing the requirements for the acceptance of materials and related controls, it defined rules and tools, such as the Maintenance Plan, aimed at obtaining and maintaining a predetermined level of quality over time.

A regulatory framework constantly stoked up over the years not only by the contributions provided by the National Unification Agency, through the definition of operational tools and the proposition of technical policy strategies, but also by a copious and articulated scientific-cultural debate that recognizes maintenance to be a bridge between the design choices and

*Reinventing Construction* attraverso la svolta tecnologica è uno tra i più significativi (Mc Kinsey Global Institute, 2017). Quello in grado più di ogni altro, secondo diversi osservatori, di attivare un cambio culturale e fronteggiare il perdurare della stagnazione nella crescita economica di quest'ultimi 15 anni (CRESME, 2018). Al contempo è quello che, proprio con riferimento al rapporto tra progetto e manutenibilità, sembrerebbe poter giocare un ruolo determinante per (ri)affermarne la centralità, attuarne le metodologie operative sottese e annullare gli attuali termini di conflittualità. Tale processo di cambiamento risulta però frenato da diversi fattori endogeni al settore come la cultura conservativa, l'insufficiente innovazione di processo, la scarsa collaborazione tra gli operatori, l'inefficace circolazione delle informazioni e, soprattutto, dalla ancestrale incapacità, in fase di progettazione e di esecuzione, di far tesoro delle *learning lessons* (World Economic Forum, 2016). Tutti fattori connessi alle modalità di operare, già riconosciuti storicamente causa di arretratezza, oggi freno all'affermazione della transizione in atto.

Non appare dunque sufficiente utilizzare come accade – separatamente o sporadicamente – strumenti e metodi nuovi e innovativi, risultano necessari approcci integrati che considerino non più disgiunte innovazione di prodotto e innovazione di processo. Nuovi paradigmi e innovative modalità attuative, riferite all'intero processo edilizio, finalizzate a perseguire un miglioramento continuo attraverso l'aumento dell'efficienza nel tempo e la riduzione dei costi, accostando in termini paritetici obiettivi di sostenibilità e di produttività.

Occorrerebbe cambiare *mindset*, ovvero adottare un differente modello che, abbandonato l'individualismo, consenta il passaggio a un rapporto basato sull'integrazione collaborativa.

the management phase (Ciribini, 1979; Molinari, 1989; D'Alessandro, 1994). Studies and theories that led to those first clear and lapidary statements referring to the centrality of the relationship between project and maintainability converged, in fact, in Law 109/94 and subsequent amendments.

After going through the various legislative revisions and reforms, these statements today are re-proposed in all their importance not only by the new procurement code, D.L. 50/2016, but also by the D.M. of October 2017 on the Minimum Environmental Criteria for the entrustment of design services. But if it is true, as it is true, that the scientific literature and the regulatory framework are certainly clear in the theoretical statements, in the wording of the general aims and in the indications of the practices set in relation to the life cycle. That they guide towards

the carrying out of a careful planning policy of the management and maintenance processes of the built. It is equally true that these indications are to date, and this appears in all its evidence, totally disregarded (Cattaneo, 2012).

However, there are new and potential opportunities.

The construction sector is indeed on its way to the fourth industrial revolution.

A way along which, through the policies of Industry 4.0 and the application of the relevant Enabling Technologies, transformations are being activated, sometimes slow but substantial and affirming at the same time new paradigms.

*Reinventing Construction* through the technological breakthrough is one of the most significant (Mc Kinsey Global Institute, 2017). The one that,

In questo senso si vanno affermando diversi orientamenti teorici e applicativi derivati da settori industriali più evoluti. Tra questi, a livello internazionale, il cosiddetto approccio *Lean*, appare non solo il più maturo rispetto al suo processo di trasferimento, ma in sinergia con l'applicazione delle ICT, *Information Communication Technology*, anche quello che sembra configurare strumenti e metodologie potenzialmente in grado di produrre importanti ricadute sul rinnovamento degli statuti progettuali (Lean Construction Institute, 2014).

Nei suoi principi generali l'approccio *Lean*, fonda le sue origini nelle strategie di sviluppo delle catene di produzione Toyota degli anni '50, finalizzate ad aumentare qualità e produttività, riducendo sprechi e costi, garantendo altresì processi più efficienti e sicuri, insieme ad un migliore soddisfacimento del cliente.

Agli inizi degli anni '90, Koskela ne ipotizzò un'applicazione al settore delle costruzioni con l'obiettivo di migliorare la "prevedibilità" dei progetti, riducendo le possibili criticità in fase di realizzazione e gestione, ponendo dunque le basi per la nascita della Lean Construction (Koskela, 1992). Definizione introdotta nel 1993 in occasione della nascita dell'International Group for Lean Construction, anticipata qualche anno prima da quella di "Lean Management" del 1990 (Womack *et al.*, 1990).

Quasi contestualmente, presso la University of California, Howell proponeva un sistema per il miglioramento dell'affidabilità dei processi realizzativi e della relativa produttività: il Last Planner System\* (Ballard, 1994). I risultati della sua applicazione e il supporto economico di alcune imprese portarono di lì a poco alla creazione, nel 1997, del Lean Construction Institute.

Oggi, accanto all'ormai consolidata dimensione del "Lean Construction Management" quale metodologia avanzata di Project

Management e Value Engineering, ne sono in dinamica evoluzione principi e teorie di ordine generale, unitamente ai quali va affermandosi il concetto di *integrazione collaborativa* (Lean Construction Institute, 2014).

Diretto dunque il richiamo all'idea di interoperabilità, intesa come «capacità di un sistema o di un prodotto informatico di cooperare e di scambiare informazioni» (IEEE, 1990).

Altrettanto diretta è la sua associazione alle moderne tecnologie ICT già disponibili e ad alto valore aggiunto sul piano del portato informativo (Building Information Modeling, Realtà Aumentata, WEB semantico, IoT, Cloud Computing, Building Automation). Ancora non diffusamente utilizzate né utilmente messe a sistema tra loro, queste tuttavia, nell'interpretare gli aspetti applicativi dell'interoperabilità, promuovono inedite modalità di gestione delle informazioni e supportano un dialogo attivo tra i soggetti coinvolti chiamati a governare e valutare criticamente dati che ad oggi, nel settore delle costruzioni, hanno diversa natura, provengono da fonti disparate e risultano per nulla organizzati. In particolare l'applicazione delle metodologie di modellazione BIM, Building Information Modeling, nell'accezione introdotta dall'European Construction Industry Federation, appare la risposta più evoluta in termini strumentali nell'ambito delle Tecnologie Abilitanti codificate da Industria 4.0. «BIM is a pragmatic database-centred working, the scope of which has been considerably extended by today's ICT means to use and share hitherto unimaginable quantities of data and the crucial information about the interdependency of construction products» (ECIF, 2017).

Le metodologie BIM potranno dunque esprimere al meglio le loro potenzialità solo se opportunamente e coerentemente uti-

more than any other, according to various observers, can activate a cultural change and face the continuing stagnation in the economic growth of these last 15 years (CRESME, 2018). At the same time, it is that, just with reference to the relationship between project and maintainability would seem to be able to play a decisive role in (re) affirming its centrality, implementing the underlying operating methods and removing the current terms of conflict.

However, this change process is slowed down by various endogenous factors in the sector such as conservative culture, sketchy process innovation, scant collaboration between operators, ineffective information circulation and, above all, by the ancestral inability in the design and execution phase, to learn from *learning lessons* (World Economic Forum, 2016). All factors closed related to the modalities of op-

eration, already historically recognized as cause of backwardness, today deterrent to the affirmation of the transition in progress.

Therefore, it does not appear sufficient to use as it happens – separately or sporadically – new and innovative tools and methods, integrated approaches that consider no longer separated product innovation and process innovation are becoming necessary. New paradigms and innovative implementation methods, referring to the entire building process, aimed at pursuing continuous improvement through increasing efficiency over time and reducing costs, combining sustainability and productivity objectives together.

It would be necessary to change mindset that is to adopt a different model that, abandoned individualism, allows the transition to a relationship based on collaborative integration.

In this sense, different theoretical and applicative directions derived from more advanced industrial sectors become apparent. Among these, at international level, the so-called *Lean* approach, appears not only the most mature with respect to its transfer process, but in synergy with the application of ICT, *Information Communication Technology*, even that which seems to configure tools and methodologies potentially capable to produce important effects on the renewal of the project statutes (Lean Construction Institute, 2014).

In its general principles the *Lean* approach, bases its origins in the development strategies of the Toyota production chains of the 50s, aimed at increasing quality and productivity, reducing waste and costs, also guaranteeing more efficient and safer processes, together with a best customer satisfaction.

At the beginning of the 90s, Koskela proposed its application to the construction sector with the aim of improving the "predictability" of the projects, reducing the possible critical issues in the construction and management phase, thus laying the foundations for the birth of the Lean Construction. (Koskela, 1992) Definition introduced in 1993 on the birth of the International Group for Lean Construction, anticipated a few years earlier by that of "Lean Management" in 1990 (Womack *et al.*, 1990).

Almost at the same time, at the University of California, Howell proposed a system for improving the reliability of the manufacturing processes and their productivity: the Last Planner System\* (Ballard, 1994). The results of its application and the economic support of some companies soon led to the creation, in 1997, of the Lean Construction Institute.

lizzate rispetto alla loro natura – così ben espressa dalla dall'European Construction Industry Federation – di modelli che consentono la gestione, in formati aperti IFC, *Industrial Foundation Classes* (ISO 16739), di tutte le informazioni disponibili. Da quelle elaborate in fase di progetto a quelle integrate nella fase di realizzazione (*as built*), fino a quelle connesse alla fase di esercizio e di gestione.

Si rilevano tuttavia con intensità crescente atteggiamenti fideistici che tendono a confondere il *mezzo* con il *fine*. Quel che si auspica per il settore non è quindi, come parrebbe, l'attuazione di una mera politica della digitalizzazione BIM, quanto piuttosto l'affermazione di processi collaborativi integrati che mettano a sistema e in valore tutte le potenzialità degli approcci e degli strumenti descritti.

L'integrazione di Lean, ICT e BIM, in particolare, configura in questo senso un nuovo e specifico filone di ricerca dal quale emergono con chiarezza valori esponenziali di utilità connessi alla loro contestuale e sinergica applicazione (Dave *et al.*, 2013). Si tratta di studi che ne costituiscono la base di conoscenze teorico-applicative. Riguardano l'interpretazione dei diversi meccanismi di relazione e di interferenze critiche nell'ambito dei processi progettuali e realizzativi. Analisi da cui deriva la lettura della potenziale capacità di penetrazione e diffusione nel settore (Sacks *et al.*, 2010).

Poche le sperimentazioni rintracciate in letteratura. Il primo progetto in cui risulta siano stati applicati sia la Lean Construction che il BIM è stato realizzato nel 2007 in California, il *Camino Medical Centre* (<https://www.cei.com/our-work/camino-medical-center>).

Negli ultimi anni altre sperimentazioni progettuali ne hanno

Today, in addition to the well-established "Lean Construction Management" as an advanced Project Management and Value Engineering methodology, general principles and theories are evolving dynamically, together with the concept of *collaborative integration* is affirming itself too (Lean Construction Institute, 2014).

Therefore, directed the reference to the idea of *interoperability*, understood as «the ability of a computer system or product to cooperate and exchange information» (IEEE, 1990).

Equally direct is its association with modern ICT technologies already available and with high value in terms of information provision (Building Information Modeling, Augmented Reality, Semantic WEB, IoT, Cloud Computing, and Building Automation). However, they all, still not widely used nor usefully related each to another, in

interpreting the application aspects of interoperability, promote new methods of information management. Moreover, they support an active dialogue between the subjects involved called to govern and critically evaluate data that today, in the construction sector, have different nature, come from disparate sources and are not organized at all. In particular, the application of BIM, *Building Information Modeling*, in the meaning introduced by the European Construction Industry Federation, appears to be the most advanced response in instrumental terms in the field of Enabling Technologies coded by Industry 4.0. «BIM is a pragmatic database - centred working, the scope of which has been considerably extended by today's ICT means to use and share hitherto unimaginable quantities of data and crucial information on the interdependency of con-

dimostrato l'efficacia operativa per il superamento dell'anglossassone *making do*, la diffusa e dispendiosa prassi di intervenire con variazioni in corso d'opera. Diretta conseguenza di errori e/o incoerenze progettuali che implicano aggravii di costi e allungamento dei tempi di realizzazione dell'opera.

In questa direzione, un importante esempio è il *One Island East Project* in Hong Kong. Grazie all'utilizzo contestuale di Lean e BIM in quest'opera del valore di oltre 300 milioni di dollari, sono stati identificate prima della fase di cantierizzazione circa 2000 interferenze con un risparmio stimato del 15-20% del costo totale ed un significativo anticipo dei tempi di realizzazione (Eastman *et al.*, 2011).

A livello nazionale, si richiamano alcune pionieristiche esperienze presentate nel corso di RE+Build 2017. Nell'occasione il tema del Convegno, "Edilizia off-site" ha consentito di verificare non solo le opportunità date dal trasferimento "in fabbrica" di attività eseguite di norma nei cantieri, ma contemporaneamente i vantaggi in termini di efficienza, sostenibilità e qualità derivanti dall'applicazione dei principi Lean.

Tra le più significative le attività e le applicazioni di cantieri "digitali" proposte dalle imprese Wood Beton, azienda leader nell'Edilizia industriale come viene definito il settore della prefabbricazione spinta; Focchi S.p.A., società che realizza facciate continue coniugando artigianato industriale e produzione Lean e da Impresa Percassi S.p.A.

Nonostante i grandi sforzi e le esperienze condotte nella direzione della diffusione di tali approcci innovativi nelle prassi progettuali e attuative, emerge tuttavia che la loro applicazione alla pianificazione prima, e al management dopo, della fase di

struction products» (ECIF, 2017).

The BIM methodologies can therefore best express their potential only if appropriately and consistently used with respect to their nature – so well expressed by the European Construction Industry Federation – of models that allow the management, in open formats IFC, *Industrial Foundation Classes* (ISO 16739), of all available information. From those developed in the project phase to those integrated in the construction phase (*as built*), up to those connected to the in use and management phase.

However, fideistic attitudes that lean to confuse the *mean* with the aim are pointed out with increasing intensity. What is hoped for the construction sector is therefore not, as it would seem, the implementation of a mere BIM digitalization policy, but rather the affirmation of integrated col-

laborative processes that increase and implement the potentialities of the approaches and tools described.

The integration of Lean, ICT and BIM, in particular, outlines in this sense a new and specific research field, from which emerge clearly exponential utility values connected to their contextual and synergic application (Dave *et al.*, 2013).

These studies form the background of theoretical and applicative knowledge. They concern the interpretation of different relationship mechanisms and critical interferences in the design and construction processes. Analysis from which derives the reading of their potential capacity in entering and diffusion in the sector (Sacks *et al.*, 2010). Few the experiences come across the literature on the subject. The first project, in which both the Lean Construction and the BIM were applied, was carried

gestione del costruito appare ancora limitata, sia sul piano della ricerca che su quello più prettamente applicativo; come peraltro confermato dalle conclusioni dell'ultimo Rapporto SmartMarket sull'argomento (Lean Construction Institute, 2014).

Non si tratta, purtroppo, di una novità in quanto il *governo del costruito*, sconta molto più delle altre fasi processuali, criticità storiche connesse alla strutturazione e alla circolazione delle informazioni, nonché alla mancata applicazione di approcci integrati e collaborativi.

Un aspetto che il criterio evolutivo dei livelli della piramide DIKW (*Data Information Knowledge Wisdom*) ben raffigura attraverso i passaggi coerenti dai dati alle informazioni, confermando la necessità di costruire lessici condivisi (*knowledge base*) e favorire la circolazione delle conoscenze (*knowledge shared*) che, se opportunamente strutturate, potrebbero essere più efficacemente utilizzate fin dai processi decisionali, riducendo così errori, disqualità e diseconomie nelle successive fasi di realizzazione e gestione degli edifici.

A partire da queste ultime considerazioni e riconducendo la riflessione al rapporto tra progetto e manutenibilità nell'era di Industria 4.0, si aprono contemporaneamente riflessioni critiche sulle ragioni di tale limitata applicazione e nuove necessarie prospettive di ricerca, delineando altresì orientamenti per possibili approfondimenti disciplinari.

Riflessioni, prospettive e orientamenti che traggono origine, non tanto dalla auspicata – ma semplicistica nella sua versione attuale – svolta digitale, quanto piuttosto, principalmente, dalla convergenza e dalle ricadute sulla società civile dei grandi temi contemporanei che la Vision 2050 per l'industria delle costruzioni intercetta e fonda su nove indirizzi chiave: «collaborative and

fair, performance-based, human-centred, holistic and systemic, smart and connected, sustainable and affordable, safe and secure, long term, and responsive and responsible».

«The construction industry is required to quickly react and foresee the implications of introduction of new technologies as well as the introduction of innovative business models in the dynamics of the built environment» (World Economic Forum, 2018). Si tratta di sfide globali alla luce delle quali appare possibile rileggere e ricucire in altri termini il richiamato rapporto tra progetto e manutenibilità inteso, già dalla fase decisionale, nella sua essenza di ricerca di nuove alleanze e nuovi equilibri tra i principali fattori della gestione di un bene: costi, sicurezza, efficienza, sostenibilità.

La richiamata svolta digitale e le applicazioni delle relative tecnologie operative sono dunque da intendere non come strumenti isolati e risolutivi ma costituenti significative, necessarie ma non sufficienti, all'attuazione di processi collaborativi che, proprio nell'epoca in cui è massima la fiducia nella tecnologia, sono viceversa chiamati a ritornare ad una dimensione *human centred*. Una vera rivoluzione culturale – questa certamente – che posta in tale prospettiva potrebbe contribuire ad indirizzare verso una revisione sostanziale degli statuti del progetto medesimo, orientare il mercato dell'industria delle costruzioni verso nuove opportunità di crescita e, soprattutto, sembra poter promettere, attraverso rinnovati processi proattivi, più alti livelli di benessere per gli utenti finali.

out in 2007 in California, the *Camino Medical Center* (<https://www.cei.com/our-work/camino-medical-center>).

In recent years, other design experiences have demonstrated the operational effectiveness in overcoming the Anglo-Saxon *making do*, the widespread and costly practice of intervening with variations during construction phase. Direct consequence of design errors and/or inconsistencies that imply additional costs and longer execution times.

In this direction, an important example is the *One Island East Project in Hong Kong*. Thanks to the simultaneous use of Lean and BIM, in this work worth over 300 million dollars, approximately 2000 interferences have been identified before the construction site phase, with an estimated saving of 15-20% of the total cost and a significant advance of the realization times

(Eastman et al., 2011).

At national level, some pioneering experiences presented during RE + Build 2017 are recalled. On this occasion, the theme of the Conference, "Building off-site", allowed to verify not only the opportunities given by the transfer "in factory" of activities performed normally on construction sites, but at the same time the advantages in terms of efficiency, sustainability and quality deriving from the application of the Lean principles.

Among the most significant are the activities and applications of "digital" construction sites proposed by the companies Wood Beton, a leading company in industrial construction as defined in the sector of high prefabrication; Focchi S.p.A., a company that creates curtain walls combining industrial craftsmanship and Lean production and by Impresa Percassi S.p.A.

However, despite the great efforts and the experiences carried out towards the diffusion of such innovative approaches in design and construction practices, it emerges that their application before to the planning and afterwards to the management phase of building still appears limited. Both at research level rather than at the operative one; as also confirmed by the conclusions of the last SmartMarket Report on the subject (Lean Construction Institute, 2014).

Unfortunately, this is not a novelty as the *government of the built environment* suffers much more than the other procedural phases, historical criticalities connected to the structuring and circulation of information, as well as the failure in applying integrated and collaborative approaches.

An aspect that the evolutionary criterion of the levels of DIKW pyramid

(Data-Information-Knowledge-Wisdom) well depicts through the coherent passages from data to information, confirming the need to build shared lexicons (*knowledge base*) and favor the circulation of knowledge (*knowledge shared*) which, if properly structured, could be more effectively used since the decision-making processes. Thus reducing errors, disquality and diseconomies in the subsequent building construction and management phases.

Starting from these last considerations and bringing back thinking about the relationship between project and maintainability in the Industry 4.0 era, critical remarks emerge at the same time on the reasons of such limited application and new necessary perspectives of research, outlining also orientations for possible disciplinary close improvement.

## REFERENCES

- Ballard, H.G. (1994), "The Last Planner", *Northern California Construction Institute, Spring Conference*, Monterey.
- Cattaneo, M. (2012), *Manutenzione, una speranza per il futuro del mondo*, Franco Angeli, Milano.
- Cee/Sous Comité de l'industrie du bâtiment (1976), *Enquête sur les problèmes économiques et techniques de l'entretien et de la modernisation des immeubles*.
- Ciribini, G. (1979), *Introduzione della tecnologia del design*, Franco Angeli, Milano.
- D'Alessandro, M. (Ed.) (1994), *Dalla manutenzione alla manutenibilità*, Franco Angeli, Milano.
- Dave, B., Koskela, L., Kiviniemi, A., Owen, R. and Tzortzopoulos, P. (2013), *Implementing Lean in construction: Lean construction and BIM* CIRIA C725. Department of Industry (1978), *Terotechnology handbook*, Hmsco, Londra.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. and Liston, K. (2011), *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, 2nd Edition, John Wiley & Sons Inc., USA.
- ECIF - European Construction Industry Federation (2017), "Making BIM a global success".
- IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers (1990), "Standard Computer Dictionary a Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries".
- ISO 16739 (2013), "IFC Industry Foundation Classes based standard".
- Kilbert, C.J. (1994), "Establishing principles and a model for sustainable construction", *Proceedings of First International Conference of CIB TG16*, Ann Arbor, Michigan, USA.
- Koskela, L. (1992), *Application of the new production philosophy to construction*, Technical Report #72, CIFE Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University.
- Lean Construction Institute (2014), *Lean Construction - Leveraging Collaboration and Advanced Practices to Increase Project Efficiency*, SmartMarket Report, McGraw Hill Construction.
- Mc Kinsey Global Institute (2017), "Reinventing Construction. A route to higher productivity".
- Molinari, C. (1989), *Manutenzione in edilizia. Nozioni, problemi, prospettive*, Franco Angeli, Milano.
- Molinari, C. (1998), "Introduzione", in Talamo, C. (Ed.), *La manutenzione in edilizia. Le coordinate di una nuova professione*, Maggioli, Rimini.
- Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. and Owen, R. (2010), "The interaction of Lean and Building Information Modeling in construction", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 136.
- Womack, J.P., Jones, D.T. and Roos, D. (1990), *The Machine that Changed the World: the Story of Lean Production-Toyota's Secret Weapon in the Global Car Wars that is Revolutionizing World Industry*, Free Press, New York.
- World Economic Forum (2018), "Infrastructure and Urban Development – Industry Vision 2050".
- World Economy Forum, Boston Consulting Group (2016), "Shaping the Future of Construction. A Breakthrough in Mindset and Technology".
- XXVI Rapporto congiunturale e previsionale Cresme (2018), "Il mercato delle costruzioni 2018-2023".

Consideration, perspectives and orientations that arise, not so much from the hoped for - but simplistic in its current vision - digital turning point, but rather, mainly, from the convergence and effects on civil society of the great contemporary themes that Vision 2050 for the industry of the buildings intercepts and bases on nine key areas. «Collaborative and fair, performance-based, human-centered, holistic and systemic, smart and connected, sustainable and affordable, safe and secure, long term, and responsive and responsible».

«The construction industry is required to quickly react and foresee the implications of introduction of new technologies as well as the introduction of innovative business models in the dynamics of the built environment» (World Economic Forum, 2018). These are global challenges in the light

of which it seems possible to re-read and repair in other terms the aforementioned relationship between project and maintainability understood, right from the decision-making phase, in its essence of quest for new alliances and new balances between the main factors of managing a good: costs, safety, efficiency, sustainability.

The aforementioned digital turning point and the application of the relative operating technologies are therefore to be understood not as isolated and decisive instruments but significant constituents, necessary but not sufficient, for the implementation of collaborative processes that, just in the age in which trust in technology is at its maximum. On the other hand, they are called to return to a *human centred* dimension.

A true cultural revolution – this certainly – that placed in such a perspec-

tive could contribute to turn attention to a substantial revision of the statutes of the project, orienting the construction industry market towards new growth opportunities and, above all, seems to be able to promise, through renewed proactive processes, higher levels of wellness for end users.