

Cinzia Talamo^a, Giancarlo Paganin^b, Nazly Atta^a, Francesco Rota^a,

^a Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, Italia

^b Dipartimento di Architettura e Studi Urbani, Politecnico di Milano, Italia

cinzia.talamo@polimi.it
giancarlo.paganin@polimi.it
nazly.atta@polimi.it
francesco.l.rota@polimi.it

Abstract. All'industria delle costruzioni è in questo momento richiesta la capacità di confrontarsi sempre di più con il tema dell'incertezza e con i rischi ad essa associati. Il testo prende spunto da una riflessione sulla duplice natura dell'incertezza: l'incertezza aleatoria (anche detta ontologica) normalmente associata alla perfetta casualità e l'incertezza epistemica, ossia quella derivante da informazioni mancanti o incomplete che comportano una conoscenza parziale dei processi e dei fenomeni che li caratterizzano.

In particolare, il testo si concentra sull'incertezza epistemica nel processo edilizio, assumendo l'ipotesi che il progetto esecutivo, in quanto luogo della completa esplicitazione delle scelte progettuali e di convergenze degli approfondimenti specialistici relativi all'intero ciclo di vita dell'opera, sia il luogo deputato alla raccolta e organizzazione delle informazioni e delle conoscenze necessarie a ridurre il livello di incertezza e di conseguenza a identificare, analizzare e valutare i diversi tipi di rischi (tecnologici, di processo, economici, sociali, ambientali, ecc.) che potranno interessare l'opera dalla sua costruzione fino alla sua dismissione.

Parole chiave: Risk management; Incertezza; Informazione; Supply chain.

Introduzione

L'industria AEC (Architecture, Engineering and Construction)

è attualmente chiamata a confrontarsi con un quadro di parti interessate¹ (stakeholder) sempre più ampio e eterogeneo e con caratteristiche estremamente diversificate di competenza, consapevolezza e sensibilità rispetto al processo edilizio (Xia *et al.*, 2018; Mok *et al.*, 2018). La maggiore complessità del quadro degli stakeholder e delle loro aspettative dall'ambiente costruito ha introdotto nel settore delle costruzioni numerose innovazioni che impattano sulla concezione degli edifici come ad esempio:

- nuovi modelli di uso degli edifici quali smart working, co-housing, co-working o agile working (Manca, 2018);
- nuove aspettative da parte degli investitori nel settore delle costruzioni legate a mutate valutazioni dei rischi finanziari e alle sempre crescenti richieste di abitazioni nelle grandi città

Epistemic uncertainty, risk management and information: the role of the detailed design

Abstract. Nowadays, the ability to face uncertainty and its related risks is increasingly required to the construction industry. This paper is based on the wide debate concerning the dual nature of uncertainty: *aleatory uncertainty* (also known as ontological uncertainty) which is associated to the randomness, and *epistemic uncertainty*, which is derived from missing or incomplete information, resulting in a partial knowledge of processes and of their characteristic phenomena. In particular, the paper focuses on *epistemic uncertainty* in the context of the construction process, assuming the hypothesis that the detailed design – as the clarification moment in which design choices and technical details related to entire building life cycle are taken – is the proper venue for collecting and organizing all the required information and knowledge to reduce the uncertainty level and to identify, analyze and assess

che spingono verso una maggiore densità urbana e alloggi più piccoli (PwC, 2014);

- nuovi modelli per la valutazione delle prestazioni ambientali degli edifici (ad esempio protocolli LEED, BREEAM, DGNB, ecc.) che influenzano la attrattività degli edifici nel mercato immobiliare;
- nuovi posizionamenti del ruolo stesso degli edifici all'interno delle città che sono in continua evoluzione nella prospettiva "smart buildings in smart cities" (Norsa, 2018);
- nuove e articolate richieste di prestazioni agli edifici non ancora supportate da adeguate competenze e tecniche che comportano (BSRIA, 2014) un frequente scostamento tra le prestazioni dell'edificio come progettato e le prestazioni rilevate nell'edificio in fase d'uso (Gana *et al.*, 2017).

La complessità e la frammentazione del quadro di relazioni con gli stakeholder e le crescenti esigenze e nuove funzionalità si combinano con un quadro altrettanto frammentato relativo alla catena di fornitura e realizzazione. Il World Economic Forum (2016) attribuisce all'industria AEC un valore della produzione di circa 10.000 miliardi di dollari – pari a circa il 6% del prodotto interno lordo mondiale – con una occupazione di circa 100 milioni di addetti pari a circa un addetto ogni 100.000 dollari di valore della produzione. Come riportato in tabella 1, in Italia per ogni milione di euro di valore prodotto dal settore delle costruzioni operano più di 4 imprese, quasi il doppio della media europea che attiva 2,3 imprese per ogni milione prodotto e oltre quattro volte il dato del Regno Unito nel quale per ogni milione di produzione opera meno di una impresa.

the different types of risk (technological, process, economic, social, environmental, etc.) which can affect the building from its construction to its disposal.

Keywords: Risk Management; Uncertainty; Information; Supply Chain.

Introduction

The AEC (Architecture, Engineering and Construction) industry is currently facing an increasingly heterogeneous range of stakeholders¹, which have highly diversified competences, awareness and sensitivity towards construction process (Xia *et al.*, 2018) (Mok *et al.*, 2018). The greater complexity of the stakeholder framework and their expectations with respect to the built environment has introduced in the building sector many innovations, which impact on buildings design as:

- new models for building use such as smart working, co-housing, co-working or agile working (Manca, 2018);
- new expectations from investors in the building sector linked to changed financial risk assessments and to the ever-increasing demand for housing in large cities, which push towards greater urban density and smaller housing (PwC, 2014);
- new models for assessing environmental performance of buildings (such as LEED, BREEAM, DGNB, etc.) which influence their attractiveness in the Real Estate market;
- new positioning of the role of buildings within cities that are constantly evolving towards "smart buildings in smart cities" perspective (Norsa, 2018);
- new and articulated performance requirements for buildings not-

Tab. 01 | Fonte: FIEC European Construction Industry Federation "Key figures activity 2017 construction in europe" (2018)
Source: FIEC European Construction Industry Federation "Key figures activity 2017 construction in europe" (2018)

Tab. 02 | Probabilità di accadimento di rischi di incremento dei costi di costruzione e di ritardo nei tempi di realizzazione. Interventi iniziati e conclusi tra il 2000 e il 2007 (AVCP, 2009)

Probability of occurrence of risks related to the increase of construction costs and to delays in the construction schedule. Operations started and completed between 2000 and 2007 (AVCP, 2009)

In queste condizioni di contesto produttivo particolarmente frammentato sono sempre più frequenti le problematiche relative a scarse prestazioni delle opere realizzate, a insufficiente soddisfacimento delle aspettative dei principali portatori di interesse, a incremento di dispute relative a incremento dei costi, cattiva qualità e ritardi nella consegna delle opere (Abolghasemi *et al.*, 2018) (Zidane and Andersen, 2018). Anche nel contesto italiano la probabilità di rispettare i parametri di tempo e di costo fissati nella progettazione è alquanto ridotta (Tab. 2).

La diversità dei soggetti che a diverso titolo si configurano come parti interessate in un progetto di costruzione è esemplificata nella tabella 3. Ognuno dei soggetti coinvolti nel processo è portatore, durante il ciclo di vita del progetto, di compiti, aspettative, incertezze, e diverse sensibilità rispetto agli obiettivi e agli impatti del progetto che possono generare incertezze con le quali il progetto dovrà confrontarsi.

Molte di queste incertezze possono derivare dal funzionamento più o meno efficace dei processi di comunicazione e scambi di informazioni tra le parti che, in funzione del modello organizzativo assunto per il progetto, possono essere estremamente numerose² (Hughes and Murdoch, 2001).

Il coinvolgimento di molteplici stakeholder in un progetto comporta (Ward *et al.*, 2006) il doversi confrontare con incertezze che derivano da:

- obiettivi e aspettative dei differenti stakeholder;
- diversa percezione degli stakeholder rispetto ai rischi di progetto;

supported by appropriate skills and techniques (BSRIA, 2014) which imply a frequent deviation between the expected building performance – as designed – and the real building performance detected during the use-phase (Gana *et al.*, 2017).

The complexity and the fragmentation of the relationships among stakeholders along with the growing needs and new features have to combine with an equally fragmented structure of the supply chain and delivery chain. The World Economic Forum (2016) attributes to the AEC industry a production value of about 10.000 billion dollars – equivalent to about 6% of the worldwide Gross Domestic Product – with an employment of about 100 million employees equal to about one employee per 100.000 dollars of the value of production. As shown in table 1, more than 4 companies operate in

Italy for each million euro of production value by the construction sector, which is almost twice of the European average of 2,3 enterprises per million produced and more than four times of United Kingdom average, where less than one enterprise operates for each millions of production.

In these particularly fragmented production conditions, issues are increasingly frequent, especially those regarding to poor performance of existing buildings, insufficient satisfaction of the expectations of the main stakeholders, increasing disputes related to extra costs, poor quality and delays in the works delivery (Abolghasemi *et al.*, 2018; Zidane and Andersen, 2018). Also in the Italian context, the probability of complying with time and cost parameters set during the design phase is very low (Tab. 2).

The diversity of stakeholders in a

| Europa | |
|--|--|
| Valore della produzione | 1.364.000 ME |
| Numero di imprese | 3.192.000 |
| Rapporto (imprese/valore della produzione) | 2,34 imprese per milione di euro produzione) |
| Italia | |
| Valore della produzione | 123.000 ME |
| Numero di imprese | 511.000 |
| Rapporto (imprese/valore della produzione) | 4,15 imprese per milione di euro produzione) |
| Germania | |
| Valore della produzione | 322.000 ME |
| Numero di imprese | 370.000 |
| Rapporto (imprese/valore della produzione) | 1,14 imprese per milione di euro produzione) |
| UK | |
| Valore della produzione | 221.000 ME |
| Numero di imprese | 209.000 |
| Rapporto (imprese/valore della produzione) | 0,94 imprese per milione di euro produzione) |

| Classe di scostamento (%) | % interventi con scostamento finanziario | % interventi con scostamento temporale |
|---------------------------|--|--|
| Nulla (<=0) | 25% | 23% |
| Lieve (>0 <5%) | 30% | 2% |
| Moderato (>=5% <20%) | 33% | 9% |
| Forte (>=20%) | 12% | 66% |
| Totale interventi | 100% | 100% |

- definizione e relativa percezione di ruoli e responsabilità nel progetto;
- flussi di comunicazione alle interfacce tra i diversi stakeholder;
- capacità e abilità dei diversi stakeholder;

construction project is exemplified in table 3. During the project life cycle, each actor involved in the process contributes with tasks, expectations, uncertainties, and different sensitivities to the objectives and impacts of the project and this contribution may generate uncertainties that the project has to face.

Many of these uncertainties may arise from the poor effectiveness of communication and information exchange processes among the involved parties that, depending on the project organizational model, can be extremely large² (Hughes and Murdoch, 2001).

The involvement of multiple stakeholders in a project implies (Ward *et al.*, 2006) having to deal with uncertainties, which arise from:

- objectives and expectations of different stakeholders;
- different perceptions of stakehold-

- ers with regard to project risks;
- definition and perception of roles and responsibilities in the project;
- communication flows for interfaces among different stakeholders;
- ability and skills of different stakeholders;
- formal terms of contract and related effects;
- informal agreements among the different parties;
- procedures, coordination and control systems.

Risk and uncertainty in the construction process

The combination of these conditions makes clear the multiplicity of risk categories related to the possibility that the outcomes considered in the project life cycle, will not match the objectives. The industrial sectors have long applied, within specific domains,

- condizioni formali di contratto e loro effetti;
- accordi informali tra le diverse parti;
- procedure e sistemi di coordinamento e controllo.

Rischio e incertezza nel processo edilizio

L'insieme di queste condizioni rende evidente la molteplicità delle categorie di rischi relativi alla possibilità che gli esiti del progetto, considerato nel suo ciclo di vita, non corrispondano agli obiettivi. Gli ambiti industriali da tempo applicano, all'interno di specifici domini, metodi e strumenti di gestione del rischio nello sviluppo dei progetti, anche se, come emerge dall'analisi dell'intensa produzione scientifica sul tema, esistono ancora barriere alla adozione generalizzata ed è tuttora vivace il dibattito circa i più adeguati modelli e approcci da adottare (Zio *et al.*, 2013).

Per il progetto di architettura, benché per sua natura più soggetto rispetto ad altri a condizioni di incertezza, i molteplici possibili fattori di ostacolo alla diffusione di una cultura del risk management (Tab. 4) risultano essere ancora più condizionanti e non appare esistere una prassi applicativa appropriata rispetto alla specificità e alla complessità del settore delle costruzioni e dei suoi operatori.

Viceversa, la definizione generale di rischio della norma ISO Guide 73:2009 "Risk management - Vocabulary" presenta molteplici spunti per l'ambito del progetto di architettura. La norma definisce il rischio come "effetto dell'incertezza sugli obiettivi" e caratterizza questo concetto specificando che:

- un effetto è una variazione (positiva e/o negativa) su quanto atteso;
- gli obiettivi possono avere differenti aspetti (finanziari, rela-

methods and tools of risk management for projects development, although – as emerged from the analysis of the significant scientific production on this topic – barriers to the widespread adoption still exist and there is still a lively debate about the most appropriate models and approaches to be adopted (Zio *et al.*, 2013).

For construction and architectural projects, although by their nature they are more subjects than others to uncertainty, the multiple possible factors that represent an obstacle to the spread of a culture of risk management (Tab. 4) are even more constraining and, moreover, there does not seem to be an appropriate practice with respect to the specificity and complexity of the construction sector and its operators.

Conversely, the general definition of risk by ISO Guide 73:2009 "Risk management - vocabulary" presents

multiple suggestions into the area of the architecture project. The standard defines risk as the "effect of uncertainty on objectives" and it characterizes this concept by specifying that:

- an effect is a variation (positive and/or negative) on the expected outcomes;
- the objectives may have different aspects (financial, health and safety, environment, etc.) and they can be applied at different levels (organization, project, product, process);
- the risk is often expressed in terms of the combination of the consequences of an event (including changes in conditions) and the associated probability of occurrence;
- uncertainty is the state, even partial, of lack of information, understanding or knowledge of an event, its consequences or probability. In figure 1, the model proposed by Port

| Area della programmazione | Area della progettazione | Area della realizzazione |
|---|---|---|
| Committenti | Progettisti generali | Fornitori di materiali e componenti |
| Utenti | Società di ingegneria e architettura | Fornitori di attrezzature (software, macchinari, ecc.) |
| Comunità locali | Progettisti specialisti (disciplinari) | Fornitori di servizi di cantiere (trasporti, CND, ecc.) |
| Associazioni locali ONG | Esperti tempi e costi Pubblica amministrazione (permessi) | Imprese generali Aziende di prefabbricazione |
| Associazioni di categoria | Fornitori di servizi tecnici (indagini suolo, ambientali, rumore, ecc.) | Imprese specialistiche |
| Sindacati | Consulenti specialistici alla progettazione | Società di gestione e manutenzione (FM) |
| Associazioni industriali | Certificatori energetici | Imprese di demolizione |
| Enti di normazione | Tecnici competenti in acustica | Società di bonifiche (ambientali, belliche) |
| Operatori del credito/finanziatori | Gestori di servizi (utilities) interferenti | Consulenti specialistici alla esecuzione |
| Assicurazioni (per committenti, progettisti, appaltatori, ecc.) | Gestori di reti di trasporto (ferrovie, ecc.) | Gestori rifiuti costruzione e demolizione C&D |
| Autorità di controllo pubbliche | Enti di controllo privati (verifica progettazione) | Società di general contracting |
| Società di agency | Coordinatori della sicurezza CSP | Direttori dei lavori |
| Esperti legali | | Coordinatori della sicurezza CSE |
| Autorità di regolazione (legislatore) | | Collaudatori |
| | | Enti di controllo privati (verifica esecuzione) |

and Wilf (2019), outlines the possible conditions of uncertainty in the risk assessment.

The topic of uncertainty is central to the architectural project and, more generally, to the construction process, which – as stated by Ezio Manzini (1985) – is configured as a game with "incomplete information", because:

- none of the actors is able to define the most rational strategy starting on the assumption of having all the necessary information already available;
- project is not closed until the end of the construction of the building since – during the construction phase – operators, in order to cope with the randomness of their context, propose solutions by assuming that "the design runs in parallel with the construction";

- information collected in the design development is partial because it is influenced by the assumed priorities and assumptions, with the risk of neglecting – in decision-making and in the development of solutions – aspects which may influence the project quality;
- available knowledge is incomplete since some information may derive from future events not easily foreseeable in the present, but still able to affect the project outcomes over time.

All these conditions highlight how the construction process constantly deals with epistemic uncertainty, that is the uncertainty category resulting from missing or incomplete information, which involves a partial knowledge of the processes, phenomena and outputs that characterize them. In the context

| | |
|---|--|
| NP NC | SP NC |
| Note probabilità Note conseguenze | Sconosciute probabilità Note conseguenze |
| NP SC | SP SC |
| Note probabilità Sconosciute conseguenze | Sconosciute probabilità Sconosciute conseguenze |

- (attività a salute e sicurezza, ambiente, ecc.) ed essere applicati a diversi livelli (organizzazione, progetto, prodotto, processo);
- il rischio è spesso espresso in termini di combinazione delle conseguenze di un evento (includendo modifiche nelle condizioni) e l'associata probabilità di accadimento;
- l'incertezza è lo stato, anche parziale, di carenza di informazioni, comprensione o conoscenza di un evento delle sue conseguenze, o della sua probabilità. In figura 1 il modello proposto da Port, D. and Wilf (2019) schematizza le possibili condizioni di incertezza nella valutazione del rischio.

Il tema dell'incertezza è centrale per il progetto di architettura e, più in generale, per il processo edilizio che, come affermava Ezio Manzini (1985), si configura come un gioco a "informazione incompleta", poiché:

- nessun attore può decidere la propria strategia più razionale partendo dal presupposto di avere già in mano tutta l'informazione necessaria;
- il progetto non viene chiuso che a conclusione dell'opera in quanto in sede di realizzazione gli operatori per far fronte all'aleatorietà del loro contesto inventano soluzioni, "la progettazione corre in parallelo alla costruzione propriamente detta";
- le informazioni raccolte nello sviluppo del progetto sono parziali in quanto condizionate dalle priorità e dai presupposti assunti, con il rischio di trascurare, nell'assunzione di decisioni e nella elaborazione delle soluzioni, aspetti che possono influenzare la qualità del progetto;
- la conoscenza a disposizione è incompleta in quanto alcune informazioni potranno derivare da eventi futuri non prevedibili nel presente ma comunque in grado di incidere sul ri-

sultato del progetto nel tempo. L'insieme di queste condizioni evidenzia il fatto che il processo edilizio costantemente si confronta con l'incertezza epistemica, ossia con quella forma di incertezza derivante da informazioni mancanti o incomplete, che comporta una conoscenza parziale dei processi e dei fenomeni e degli output che li caratterizzano. Nel contesto delle valutazioni di rischio probabilistiche l'incertezza è normalmente riferita a due condizioni (Zio, 2013): la prima (incertezza ontologica o obiettiva) è quella caratterizzata dalla casualità dovuta alla variabilità intrinseca dei sistemi, la seconda (epistemica o soggettiva) è quella attribuibile all'imprecisione dovuta alla mancanza di conoscenza e informazioni sul sistema.

Gli effetti di questa incertezza coinvolgono l'organizzazione, il progetto, i prodotti, i processi e riguardano rischi rispetto a due scale temporali:

- sul breve periodo, sostanzialmente la fase realizzativa, i rischi sono legati al non raggiungimento degli obiettivi in termini di tempo e costi di costruzione e di qualità tecnica;
- sul medio e lungo periodo i rischi riguardano sia il mantenimento, al mutare delle condizioni di contesto, della serviceability³, sia gli impatti del progetto su diversi piani di lettura

of probabilistic risk assessments, uncertainty is normally referred to two conditions (Zio, 2013): the first (ontological or objective uncertainty) is characterized by randomness due to the intrinsic systems variability, the second (epistemic or subjective) is imputable to the imprecision due to the lack of knowledge and information about the system.

The effects of this uncertainty involve organizations, projects, products, processes and they regard risks related to two temporal scales:

- in the short term, essentially during the construction phase, risks are linked to the failure in achievements of the objectives, in terms of time schedule, construction costs and technical quality;
- in the medium and long term, the risks concern both keeping - according to changes of context

conditions - the expected serviceability³, and the project impacts on different context aspects (environmental, social, etc.).

Many organizational studies (Ward *et al.*, 2006) (Perminova *et al.*, 2008) (Zidane and Andersen, 2018) (Xia *et al.*, 2018; Chapman, 2019) have proposed to shift the focus from the most traditional risk management practices to the most innovative uncertainty management approach. It is clear the proactive value of an approach which aims to identify and address possible uncertainty sources (ex ante approach) rather than dealing only with their effects in terms of the risk of not achieving the objectives (ex post approach). *Uncertainty management* implies the exploration and the understanding of the origins of project uncertainty before trying to manage it (Ward *et al.*, 2006), that is to manage threats and

opportunities, and their risk implications, through the various sources of uncertainty, which generate and set risks (Smith, 2003). Although the importance of the implementation of risk management processes within organizations is constantly increasing, and normalized and shared approaches for their implementation are available⁴, there are still several barriers to their systematic diffusion (Tab. 4).

This focus on the relationship between risk and epistemic uncertainty opens up the possibility of transferring and applying to the specific area of the architectural project some of the contributions of the many studies that are developing theoretical models and experimentations about uncertainty management methods within decisional and execution processes. In particular, considering the general uncertainty model proposed by Heland

(2003) shown in figure 2, it is possible to identify each of the four uncertainty conditions identified within the construction process.

In particular, focusing on the conditions of lack of information and of undetermined uncertainty generated by the high number of relationships between different stakeholders, it is possible to make some reflections about the role of the detailed design in the definition of strategies and tools for managing uncertainty.

Detailed design and uncertainty management

Considering the complexity of information flows and relationships within the construction process, it is possible to state that the detailed design can be identified as the appropriate place to manage the epistemic uncertainty. The detailed design is in fact a system of

Tab. 04 | Barriere alla diffusione del risk management: aree di riferimento e esempi (rielaborazione da Chapman, 2019)
Barriers to the spread of risk management: reference areas and examples (adapted from Chapman, 2019)

del contesto (ambientale, sociale, ecc.).
 Diversi studi organizzativi (Ward *et al.*, 2006) (Perminova *et al.*, 2008) (Zidane and Andersen, 2018) (Xia *et al.*, 2018) (Chapman, 2019) propongono di spostare l'attenzione dalle più tradizionali prassi di *risk management* al più innovativo approccio di *uncertainty management*, ossia dalla gestione del rischio alla gestione dell'incertezza, riconoscendo il valore proattivo di un approccio teso a identificare e trattare le possibili fonti di incertezza (approccio ex ante) piuttosto che trattare solo i loro effetti in termini di rischio di non raggiungimento degli obiettivi (approccio ex post). *Uncertainty management* implica esplorare e comprendere le origini dell'incertezza di progetto prima di cercare di gestirla (Ward *et al.*, 2006), ossia gestire minacce e opportunità e le loro implicazioni in termini di rischi attraverso la gestione delle varie fonti di incertezza che generano e configurano i rischi (Smith, 2003). Benchè l'importanza della implementazione dei processi di risk management nelle organizzazioni sia sempre maggiore e siano disponibili approcci normalizzati e condivisi per la loro attuazione⁴, si riscontrano ancora numerose barriere alla loro diffusione sistematica (Tab. 4).

Questa focalizzazione sul rapporto tra rischio e incertezza epistemica apre a possibilità di trasferimento e applicazione all'ambito specifico del progetto d'architettura di alcuni dei contributi dei tanti studi che in ambito organizzativo stanno sviluppando modelli teorici e sperimentazioni sulle modalità di gestione dell'incertezza nei processi decisionali ed esecutivi.

In particolare, considerando il modello generale di incertezza proposto da Hetland (2003) e riportato in figura 2, è possibile

documents that includes and systemizes all the information deriving from the processing, the negotiations and the decisions taken by the upstream operators. This is therefore information that should, at the same time, allow to assess the quality of the design solutions in relation to the initial objectives, to predict product and process performance and to simulate future behavior. In addition, the information included in the detailed design is the actuator of the decisions and actions of the operators that are located downstream and that are related to the supply, construction, operation and management. The detailed design, however, is at the same time liable to be affected by a plurality of elements of epistemic uncertainty attributable, referring to the models in figures 1 and 2: upstream to the condition of lack of information regarding the outcomes of

the processes; and downstream to the indeterminate uncertainty in relation to the possible behaviors, relationships and decisions that will be assumed by the complex system of the executors/operators. The relationships between process and design relate the nature and operating practices of the client to the qualification of the person responsible for design (Arbizzani, 2012).

The epistemic uncertainty management model, proposed in figure 3, assumes the detailed design as its center of gravity, characterizing it in its systemic relationships with 3 areas:

- *Brief Document (BD)*: the BD is a fundamental tool to manage the level of uncertainty in the project. If developed in an articulated and in-depth manner, it is a useful tool for defining reference requirements, expected performances, measurement methods and criteria

| Leadership e Governance |
|---|
| Mancanza di una funzione aziendale dedicata al risk management e di un budget corrispondente |
| La gestione del rischio non è vista come una disciplina che aggiunge valore |
| La gestione del rischio non è una priorità per la leadership e per tutti i livelli di gestione del progetto |
| Cultura |
| Mancanza di applicazione delle "lessons learned" per supportare l'identificazione del rischio |
| Partecipanti non formati nelle pratiche e procedure di gestione del rischio specifiche di un progetto |
| La cultura manageriale non incoraggia e ricompensa il personale a tutti i livelli per identificare il rischio |
| Compliance |
| Mancata individuazione della legislazione da rispettare e delle sanzioni per non eventuali non conformità |
| Comunicazione |
| Mancata comunicazione dell'esposizione al rischio al gruppo dirigente |
| Contesto |
| Gli obiettivi del progetto non sono espliciti, chiaramente identificati e adeguatamente comunicati |
| Il contesto del progetto non è adeguatamente descritto e comunicato |
| Le parti interessate esterne con la capacità di incidere sugli obiettivi del progetto non sono state completamente identificate |
| Persone |
| Il personale non ha esperienza e capacità adeguate agli obiettivi di progetto |
| Processo: Identificazione dei rischi |
| I rischi non sono identificati, valutati e riesaminati continuamente |
| Non tutte le discipline di progetto sono coinvolte nel processo di identificazione dei pericoli per garantire che sia completo |
| Processo: Pianificazione della risposta |
| Pianificazione della risposta ai rischi non attuata in modo rigoroso o coerente |
| I piani di mitigazione del rischio non sono monitorati per valutare la loro efficacia |

for evaluating the design results; it also outlines the framework of the necessary information that must be present in the detailed design for the purpose of its final verification and validation. This connection of direct information correspondence between the requests of the BD and the contents of the detailed design, besides being an essential condition for the careful quality control of the project, represents a reliable reference within the complex relationships between the stakeholders, with respect to the expected informational outcomes of their interactions;

- *map of uncertainty sources*: as mentioned above, the construction process in its development encounters many possible sources – both endogenous and exogenous – of uncertainty. The detailed mapping

of all the relationships between stakeholders enables to highlight the causes and effects of the possible "short circuits" in the cognitive and decision-making contents of their interactions, as well as the design documents in which it is possible to verify, intercept and manage the poor quality of the necessary information. Table 5 shows an example of mapping related to some documents of the detailed design, but this analysis should be extended – also with the objective to allow for consistency checks – to all the phases of the design process;

- *organizational models of the construction process*: the construction process can have different organizational models (Levy, 2010) in relation to a multiplicity of issues (characteristics and capacity of the stakeholders, reference context, ex-

identificare all'interno del processo edilizio ciascuna delle quattro condizioni di incertezza individuate. In particolare, focalizzando l'attenzione sulla condizione di mancanza di informazione e di incertezza indeterminata generata dalla elevata quantità di relazioni tra stakeholder diversi, è possibile condurre alcune riflessioni sul ruolo del progetto esecutivo nella definizione di strategie e di strumenti per la gestione dell'incertezza.

Progetto esecutivo e gestione dell'incertezza

Considerando la complessità dei flussi informativi e delle relazioni all'interno del processo edilizio, è possibile affermare che il progetto esecutivo può essere identificato come il luogo privilegiato per la gestione dell'incertezza epistemica. Il progetto esecutivo è infatti quel sistema di elaborati e documenti che contiene e mette a sistema tutte le informazioni che sono gli esiti delle elaborazioni, delle negoziazioni e delle decisioni assunte dagli operatori a monte. Si tratta quindi delle informazioni che dovrebbero allo stesso tempo consentire di valutare la qualità delle soluzioni progettuali in relazione agli obiettivi iniziali, di prevedere le prestazioni di prodotto e di processo, di simulare comportamenti futuri. Inoltre le

informazioni contenute nel progetto esecutivo sono gli attivatori delle decisioni e delle azioni degli operatori che si collocano a valle e che sono relativi della fornitura, della costruzione e della gestione. Il progetto esecutivo è però allo stesso tempo passibile di essere affetto da una pluralità di elementi di incertezza epistemica attribuibili, riferendosi ai modelli di figura 1 e 2, a monte alla condizione di mancanza di informazioni per quanto riguarda gli esiti dei processi e a valle alla incertezza indeterminata in relazione ai possibili comportamenti, relazioni e decisioni che verranno assunti dal sistema complesso degli esecutori/gestori. Le analisi delle relazioni fra processo e progetto possono inoltre consentire, sempre in una prospettiva di gestione dei rischi, di mettere in relazione la natura e le prassi operative del committente con la qualificazione del soggetto incaricato dell'esecuzione del progetto (Arbizzani, 2012).

Il modello di gestione dell'incertezza epistemica, proposto in figura 3, assume come baricentrico il progetto esecutivo, caratterizzandolo nelle sue relazioni sistemiche con 3 ambiti:

- *il Documento Preliminare alla Progettazione (DPP)*: il DPP è uno strumento fondamentale per controllare il livello d'incertezza del progetto. Se sviluppato in modo articolato e approfondito, nel definire requisiti di riferimento, prestazioni

| | | Stato | |
|------|----------------|---------------------------|--------------------------|
| | | Chiuso | Aperto |
| Dati | Conoscenza | Incertezza deterministica | Variabilità |
| | Non Conoscenza | Mancanza di informazione | Incertezza indeterminata |

Incertezza deterministica: Incertezza in situazioni "closed game", ossia in domini circoscritti, dove tutte le informazioni circa i possibili risultati (numero, valori e probabilità di accadimento) sono completamente note.

Mancanza di informazione: incertezza dovuta a informazioni incomplete, che possono portare a interpretazioni ambigue all'interno di domini definiti. Questa incertezza può essere ridotta investendo per l'acquisizione di nuove informazioni e/o nella più approfondita interpretazione dei dati disponibili.

Variabilità: Incertezza riferibile a variabili calcolate utilizzando una combinazione di dati storici e stime di probabilità soggettive (per esempio costo e durata di una attività). A differenza della incertezza deterministica, in questo caso i possibili risultati dei processi (numero, valori e probabilità di accadimento) sono determinati sulla base di giudizi professionali supportati da dati, relativi a situazioni analoghe e trattati statisticamente.

Incertezza indeterminata: incertezza derivante dalle interazioni aperte tra attori/componenti all'interno di processi complessi, caratterizzati dalla elevata variabilità delle relazioni e degli elementi di contesto.

Esempio: valutazione della prestazione termica di una chiusura verticale con definizione precisa di materiali e spessori costituenti la parete. L'algoritmo per determinare la prestazione (ad esempio trasmittanza termica) è conosciuto e chiaramente definito (stato chiuso). I dati relativi a materiali e spessori sono conosciuti e di conseguenza i valori di densità, conduttività e calore specifico sono definiti a meno della variabilità statistica intrinseca di tali caratteristiche.

Esempio: inserimento di un sistema di facciata in un quadro di azioni esterne (climatiche, antropiche, fisiche) definito. In questa situazione l'algoritmo che descrive il comportamento dell'elemento è conosciuto (ad esempio per le sue prestazioni termiche, acustiche, di tenuta all'acqua, ...) ma si ha mancanza di informazioni relative alla durata di vita utile dell'elemento di facciata che rende incerto il comportamento nel tempo del sistema nel contesto del progetto. La mancanza di informazione potrebbe ad esempio essere ridotta attraverso la esecuzione di un numero adeguato di prove di invecchiamento.

Esempio: per una parte d'opera la determinazione dei tempi necessari alla realizzazione nell'opera in fase di progetto è in una situazione di incertezza aperta perché non esiste un quadro completo (algoritmo) per determinare il tempo di esecuzione che viene stimato sulla base di informazioni derivanti da progetti precedenti o sulla base di giudizio degli esperti. Lo stato di incertezza è aperto perché nel progetto potrebbero essere presenti fattori diversi da quelli dei progetti precedenti o che non sono stati precedentemente affrontati dagli esperti (l'algoritmo non è chiuso e definito).

Esempio: fase di realizzazione di una parte d'opera dell'edificio nella quale lo stato di incertezza è aperto perché non è perimetrato a priori il campo dei possibili soggetti intervenenti (che dipende dalle strategie di approvvigionamento dell'appaltatore) e delle loro tecniche e modalità esecutive e non sono disponibili tutte le informazioni relative alla fase (ad esempio condizioni climatiche, condizioni di traffico giornaliero per l'avvicinamento al cantiere dei materiali e componenti, ...).

attese, modalità di misurazione e criteri di valutazione degli esiti della progettazione, traccia il quadro di riferimento delle informazioni necessarie che devono essere presenti nel progetto esecutivo al fine della sua verifica finale e validazione. Questo legame inscindibile, di diretta corrispondenza informativa tra richieste del DPP e contenuti del progetto esecutivo, oltre a essere condizione essenziale per il controllo puntuale della qualità del progetto, rappresenta un riferimento certo, nelle relazioni complesse tra stakeholder, relativamente agli attesi esiti informativi delle loro interazioni;

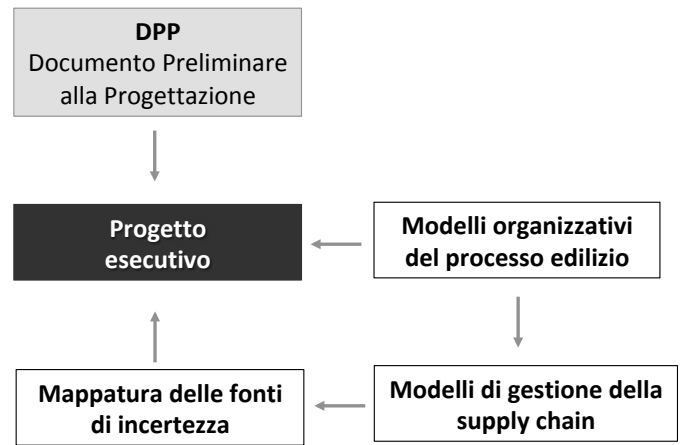
- *la mappa delle fonti di incertezza*: come si è detto, il processo edilizio, nel suo sviluppo, incontra moltissime possibili fonti – sia endogene che esogene – di incertezza. La mappatura dettagliata di tutte le relazioni tra stakeholder consente di evidenziare sia cause ed effetti dei possibili “corti circuiti” nei contenuti conoscitivi e decisionali delle loro interazioni, sia gli elaborati progettuali nei quali è possibile verificare, intercettare e gestire la mancanza o la scarsa qualità delle informazioni necessarie. In tabella 5 è riportato un esempio di mappatura relativo ad alcuni elaborati del progetto esecutivo, ma questa analisi dovrebbe essere estesa, anche con obiettivi di verifiche di coerenza, a tutte le fasi del processo progettuale;
- *i modelli di organizzazione del processo edilizio*: il processo edilizio può assumere diversi modelli organizzativi (Levy, 2010) in relazione a una pluralità di questioni (caratteristiche e capacità degli stakeholder, contesto di riferimento, tempi attesi di sviluppo, propensione al rischio degli investitori, ecc.). Una delle questioni da prendere in considerazione è legata al livello di incertezza che è possibile riconoscere al progetto, sia in termini di variabili di contesto sia in termini

pected development schedules, risk attitude of the investors, etc.). One of the issues to be taken into consideration is linked to the level of uncertainty that can be attributed to the project, both in terms of context variables and in terms of the innovativeness of the initiative and also in terms of skills of the operators of the execution phases. In relation to the adopted model, the detailed design can be extended to the construction and operation phase (from the traditional design-bid-build model to design-build models with the evolution of the fast track or construction management model, up to the complete union of the phases of planning, construction and management in partnership models, construction and operation concessions or Build-Operate-Transfer contracts), deferring the

management of uncertainty sources and related risks after the design stage and entrusting decisions to other actors of the supply chain (for example suppliers or contractors).

Conclusions

Epistemic uncertainty is inherent in the cognitive and decision-making processes of architectural design. Considering the project life cycle perspective, the sources of uncertainty are multiple and interrelated: variability and uniqueness of the context, multiplicity of techniques and disciplines, quantity of stakeholders and their interactions, hypertrophy of the framework of standards and rules, spatial and temporal expansion of project impacts and consequences of decisions, etc. Recent studies on project management propose a shift in approach from *risk management to uncertainty man-*



ni di innovatività dell’iniziativa sia di competenze possedute dagli operatori delle fasi esecutive. In relazione al modello assunto, il progetto esecutivo può essere dilatato fino alla fase realizzativa e gestionale (dal tradizionale modello design-bid-build a modelli di design-build con le evoluzioni del modello fast track o construction management, fino ad arrivare alla completa unione delle fasi di progettazione costruzione e gestione nei modelli di partenariato, nelle concessioni di costruzione e gestione o nei contratti *Build-Operate-Transfer*) dilazionando la gestione delle fonti di incertezza e dei relativi rischi a valle della concezione del progetto e affidando decisioni a altri soggetti della catena di fornitura (per esempio fornitori o esecutori).

Conclusioni

L’incertezza epistemica è conaturata nei processi conoscitivi e decisionali del progetto di architettura. Considerando la prospettiva del ciclo di vita del progetto (*project life cycle*) le fonti di incertezza sono molteplici e interrelate: variabilità e unicità del contesto, molteplicità delle tecniche e delle discipline, quantità degli stakeholder e delle loro interazioni, ipertrofia del quadro di norme e regole, dilatazione spaziale e temporale degli impatti del

agement with the perspective of acting proactively on risk sources and not on their potential consequences.

The transfer to the architectural project of the principles of the uncertainty management approach can be realized through the development of: an information framework capable of systemizing the project objectives and a map of the uncertainty sources. The detailed design seems to be the appropriate place to apply and interpret this mapping activity, which helps to identify important and prior information for project management – and at the same time to fill in any identified information gaps – and to allocate them to individuals elements also through the adoption of a Building Information Modeling approach.

The clear definition – starting from the specifications of the brief document – and communication of the expected

content to all stakeholders, together with the mapping of the sources of uncertainty in the various parts of the supply chain, makes it possible to maintain the centrality of the detailed design as an effective tool for the uncertainty and project risk management.

NOTES

¹ The term stakeholder has been defined by Freeman (1984) as «any group or individual who can affect, or is affected by, the achievement of the organization’s objectives». More recently, the ISO 9000:2015 standard has proposed a further definition, such as «person or organization that can affect, be affected by, or perceive itself to be affected by a decision or activity». The concept of perception added by ISO 9000:2015 appears particularly important for construction projects, where the number and variety of stakehold-

Tab. 05 | Esempio non esaustivo di mappatura dei fattori di incertezza associati ad alcuni dei documenti costituenti il progetto esecutivo
Non-exhaustive example of mapping of uncertainty factors associated with some of the documents of the detailed design

| Documento | Stakeholder di riferimento (mon- te) | Stakeholder di riferimento (valle) | Possibili fonti di incertezza (epistemica) |
|-------------------------------------|---|--|--|
| a) Relazio- ne generale | <ul style="list-style-type: none"> - committenti; - utenti; - collettività; - comunità e associazioni locali; - enti autorizzativi; - gestori interferenze. | <ul style="list-style-type: none"> - committenti; - utenti; - collettività; - comunità e associazioni locali; - fornitori; - appaltatori; - subappaltatori; - organismi di verifica dei progetti; - gestori interferenze; - enti autorizzativi; - addetti al controllo (qualità, sicurezza e ambiente); - addetti alla gestione (Facility Management). | <ul style="list-style-type: none"> - assenza di canali di comunicazione efficaci da attivare nei confronti delle parti interessate nelle diverse fasi del ciclo di vita del progetto; - condizioni di contesto (ambientale, economico, sociale) e parametri che possono influire sulle attività di approvvigionamento, esecuzione e gestione (stato delle bonifiche già eseguite, rimozione delle interferenze già attuate, analisi delle componenti ambientali significative per l'intervento, presenza di comunità locali che possono impattare sulla esecuzione delle opere, ecc.); - mancata esplicitazione delle modalità di uso previste per l'opera e per le sue componenti; - assenza di definizione di obiettivi per la gestione ambientale nella fase di esecuzione; - assenza di definizione di obiettivi per gli aspetti di sicurezza nella fase di esecuzione; - assenza di definizione degli obiettivi di qualità per l'intervento nelle fasi del ciclo di vita; - assenza di formulazione di criteri e strategie per la fase di esercizio e manutenzione; - mancata identificazione dei processi da attivare per la gestione delle interferenze con le lavorazioni in fase di esecuzione; - mancata definizione di strategie per la gestione della qualità nelle fasi di costruzione e gestione (qualifica dei processi, qualifica delle competenze, prototipazione, interfaccia con i controlli qualità in fabbricazione, performance indicator per le fasi di esercizio e manutenzione, ecc.); - mancata previsione dei criteri di revisione prezzi da adottare nel ciclo di vita del progetto. |
| b) relazioni specialisti- che | <ul style="list-style-type: none"> - committenti; - enti autorizzatori; - enti regolatori; - utenti; - addetti alla gestione. | <ul style="list-style-type: none"> - Committenti; - soggetti deputati al controllo esterno; - appaltatore; - subappaltatori; - fornitori; - addetti al controllo qualità (in fabbricazione e in costruzione); - operatori della gestione; - direttori dei lavori; - ecc. | <ul style="list-style-type: none"> - mancata esplicitazione di tutte le ipotesi assunte e dei criteri adottati; - mancata analisi di costruibilità; - mancata analisi di operabilità; - mancata analisi di manutenibilità; - mancata definizione dei processi e metodi di verifica e dei criteri di accettazione nelle diverse fasi del ciclo di vita del progetto (fabbricazione, posa in opera, manutenzione); - mancata definizione dei contenuti minimi per i piani di fabbricazione e controllo (produzione off-site) e per i piani di posa degli elementi e componenti (produzione on-site); - mancata espressione dei requisiti di competenza e operatività da richiedere a fornitori e esecutori ("capability", attrezzature, certificazioni di competenza del personale, ecc.); - mancato utilizzo di strumenti di correlazione tra elaborati grafici e altri elaborati di progetto (5). |

| Tab. 05

progetto e delle conseguenze delle decisioni, ecc. I recenti studi in materia di gestione dei progetti propongono uno spostamento di approccio dal *risk management* all'*uncertainty management* con la prospettiva di agire in maniera proattiva sulle fonti di rischio e non sulle loro potenziali conseguenze.

Trasferire al progetto di architettura i principi dell'approccio di *uncertainty management* può concretizzarsi nella costruzione di un framework informativo capace di mettere a sistema gli obiettivi di progetto e una mappatura delle fonti di incertezza. Il progetto esecutivo appare essere il luogo privilegiato rispetto al quale applicare e interpretare tale mappatura che aiuta a identificare le informazioni importanti e prioritarie per la gestione del progetto – e nello stesso tempo a colmare le eventuali lacune informative identificate – e ad allocarle ai singoli elementi anche attraverso il ricorso ad un approccio di Building Information Modeling.

La chiara definizione, a partire dalle specifiche del DPP, e comunicazione dei contenuti informativi attesi a tutti gli stakeholder unitamente alla mappatura delle fonti di incertezza nelle varie articolazioni della supply chain, consente di mantenere la centralità e l'unitarietà del progetto esecutivo quale strumento efficace per la gestione dell'incertezza e dei rischi di progetto.

NOTE

¹ Il termine “parte interessata” è frequentemente sostituito dal termine “stakeholder” per il quale una delle definizioni più conosciute è quella fornita da Freeman (1984) «any group or individual who can affect, or is affected by, the achievement of the organization's objectives». Più recentemente lo standard ISO 9000:2015 ha proposto una ulteriore definizione: «person or organization that can affect, be affected by, or perceive itself to be affected by a

ers sensitivity is extremely diversified

² For instance, 20 operators can activate up to 190 information flows which are likely to generate uncertainty in the process

³ Serviceability: ability to meet or exceed relevant performance requirements (ISO 15686-3:2002 Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 3: Performance audits and reviews).

⁴ In 2009, after an initial phase of testing voluntary standards on the subject of risk management – such as the standard AS/NZS 4360-2004 “Risk management” – the international technical standard ISO 31000: 2009 “Risk management - Guidelines” was published. The standard, updated in 2018, proposes a framework for the implementation of risk management principles within organizations.

decision or activity». Il concetto di percezione aggiunto dalla ISO 9000:2015 appare particolarmente importante per i progetti di costruzione nei quali il numero e la varietà di sensibilità degli stakeholder è estremamente diversificato.

² Ad esempio 20 soggetti possono attivare fino a 190 flussi di informazioni in grado di generare incertezza nel processo.

³ Serviceability: ability to meet or exceed relevant performance requirements (ISO 15686-3:2002 Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 3: Performance audits and reviews).

⁴ Nel 2009, dopo una prima fase di sperimentazione di standard volontari sul tema del risk management – come ad esempio lo standard AS/NZS 4360-2004 Risk management – è stata pubblicata la norma tecnica internazionale ISO 31000:2009 Risk management – Guidelines. La norma, aggiornata nel 2018, propone un quadro di riferimento per la implementazione dei principi di risk management all'interno delle organizzazioni.

⁵ Ad esempio sistemi di breakdown structure (space breakdown structure, product breakdown structure, organizational breakdown structure, work breakdown structure, etc.).

REFERENCES

Abolghasemi, M., Ismail, S., Sharif, N.B.M., Kookhdan, A.R. and Mardani, A. (2018), “Enhancing the Performance of Residential Construction Project Through Stakeholder Satisfaction: The Application of Structural Equation Modelling (SEM)”, *Transformations in Business & Economics*, Vol. 17, n. 2 (44).

Alarcón, L.F. and Mardones, D.A. (1998), “Improving the design-construction interface”, *Proceedings of the 6th Annual Meeting of the International Group for Lean Construction*, pp. 1-12.

Andi, A. and Minato, T. (2003), “Design documents quality in the Japanese construction industry: Factors influencing and impacts on construction process”, *International Journal of Project Management*, Vol. 21, pp. 537-546.

- Arbizzani, E. (2012), *Il progetto per costruire. Strumenti operativi per la gestione dei rischi nei processi attuativi pubblici*, Maggioli Editore, Milano.
- Assaf, S., Hassanain, M.A. and Abdallah, A. (2017), "Assessment of Deficiencies in Design Documents for Large Construction Projects", *Journal of Performance of Constructed Facilities*, Vol. 31(5).
- AVCP Autorità Vigilanza Contratti Pubblici (2009), "Il metodo del Public Sector Comparator e l'analisi del valore".
- Aven, T., Baraldi, P., Flage, R. and Zio, E. (2013), *Uncertainty in risk assessment: the representation and treatment of uncertainties by probabilistic and non-probabilistic methods*, John Wiley and Sons.
- Building Services Research and Information Association (BSRIA) (2014), *The soft landings framework for better briefing, design, handover and building performance in-use*, UK.
- Chapman, C. and Ward, S. (2002), *Managing Project Risk and Uncertainty*, Wiley, Chichester.
- Chapman, R.J. (2019), "Exploring the value of risk management for projects: improving capability through the deployment of a maturity model", *IEEE Engineering Management Review*.
- Freeman, R.E. (1984), *Strategic management: a stakeholder approach*, Pitman Publishing.
- Gana, V., Giridharan, R. and Watkins, R. (2017), "Application of Soft Landings in the Design Management process of a non-residential building", *Architectural Engineering and Design Management*, Vol.14 (3), pp. 178-193.
- Hetland, P.W. (2003), "Uncertainty management", in Smith, N.J. (Ed.), *Appraisal, Risk and Uncertainty*, Thomas Telford.
- Hughes, W. and Murdoch, J., (2001), *Roles in construction projects*, University of Reading UK.
- Levy, S. (2010), *Construction process planning and management*, Elsevier.
- Manca, C., Grijalvo, M., Palacios, M. and Kaulio, M. (2018), "Collaborative workplaces for innovation in service companies: barriers and enablers for supporting new ways of working", *Service Business*, Vol. 12, pp. 525-550.
- Manzini, E. et al., (1985), *L'architettura e la complessità del costruire. Convenzioni, dimensioni, linguaggi*, CittàStudi.
- McElroy, B. and Mills, C. (2000), *Managing stakeholders. Gower handbook of project management*, Gower Publishing Limited, Burlington, VT, pp. 757-775.
- Mok, K.Y., Qiping Shen, G. and Yang, J. (2018), "Stakeholder management studies in mega construction projects: A review and future directions", *International Journal of Project Management*, Vol. 33, pp. 446-457.
- Norsa, A. (2018), *Report 2018 on the Italian Construction, Architecture and Engineering Industry*, Guamari.
- Perminova, O., Gustafsson, M. and Wikstro, K. (2008), "Defining uncertainty in projects - a new perspective", *International Journal of Project Management*, Vol. 26, pp. 73-79.
- Port, D. and Wilf, J. (2019), "Classifying Risk Uncertainty for Decision Making", *Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences*.
- PwC (2014), "Real Estate 2020: Building the future".
- Smith, N.J. (2003), *Appraisal, Risk and Uncertainty*, Thomas Telford.
- Ustinovičius, L. et al. (2007), "Uncertainty analysis in construction project's appraisal phase", *The 9th International conference, Modern building materials, structures and techniques*.
- Vestbro, D.U. (2010), "Living Together - Cohousing Ideas and Realities Around the World", *Proceedings from the international collaborative housing conference in Stockholm* May 5-9.
- Ward, S., Atkinson, R. and Crawford, L. (2006), "Fundamental uncertainties in projects and the scope of project management", *International Journal of Project Management*, Vol. 24, pp. 687-698.
- World Economic Forum (2016), "Shaping the Future of Construction. A Breakthrough in Mindset and Technology".
- Xia, N., Zou, P.X.W., Griffin, M.A., Wang, X. and Zhong, R. (2018), "Towards integrating construction risk management and stakeholder management: a systematic literature review and future research agendas", *International Journal of Project Management*, Vol. 36, pp. 701-715.
- Zidane, Y.J.T. and Andersen, B. (2018), "The top 10 universal delay factors in construction projects", *International Journal of Managing Projects in Business*, Vol. 11, Issue 3, pp. 650-672.
- Zio, E. (2013), *The Monte Carlo Simulation Method for System Reliability and Risk Analysis*, Springer Verlag, Springer Series in Reliability Engineering, Berlin.