

Claudio Martani, Cinzia Talamo, Giancarlo Paganin  
Dipartimento ABC, Politecnico di Milano

claudio.martani@polimi.it  
cinzia.talamo@polimi.it  
giancarlo.paganin@polimi.it

**Abstract.** L'articolo propone un apparato di strumenti e metodi per valutare, in fase di progetto, i rischi relativi ai principali obiettivi di gestione degli edifici. A questo scopo viene presentato uno strumento per relazionare i requisiti tecnologici di ciascuno elemento tecnico agli interventi di manutenzione pertinenti. Poi viene introdotto un metodo per stimare i rischi relativi ai requisiti ambientali attraverso simulazioni con il metodo Monte Carlo. Il processo di gestione del rischio introdotto vuole supportare sia i progettisti che i promotori nel prevedere gli esiti di processi lunghi, non standardizzati, e dipendenti da molte variabili – come il processo edilizio – e quindi nel valutare l'attitudine delle proposte progettuali a soddisfare nel tempo un quadro di obiettivi di gestione.

**Parole chiave:** Gestione del rischio, Manutenzione, Incertezza, Progetto d'architettura, Gestione degli immobili

## Introduzione

La fase d'uso e gestione degli immobili è spesso caratterizzata da una serie di problemi la cui origine è da ricercare nel momento della concezione del progetto. Questi problemi si traducono sovente in caduta di prestazioni e conseguente disagio dell'abitare dovuti a degradi accelerati ed elevati costi di gestione<sup>1</sup>. Le difficoltà di manutenzione dell'ambiente costruito di più recente realizzazione stanno portando ad una sempre maggiore attenzione sul tema del progettare per la gestione. Gli edifici sono oggetti progettati per soddisfare un quadro di esigenze nel corso di decenni e le loro prestazioni durante l'intera fase d'uso e gestione sono largamente determinate a monte, nelle sedi di *brief* e di progetto (Ciribini, 1979). Il resto della vita utile degli immobili è poi un lungo lasso di tempo nel quale appaiono i risultati inerziali delle decisioni iniziali. Per questo motivo è particolarmente cruciale gestire, proprio nella fase di progetto, i rischi legati all'adeguatezza di un edificio a soddisfare nel tempo le esigenze dei promotori e degli utenti.

La difficoltà nel valutare, in sede di progetto, la propensione di

un immobile a mantenere un adeguato livello prestazionale nel tempo è dovuta al fatto che questa attitudine dipende in larga misura da due aspetti poco noti nella pratica corrente del progetto di architettura: la quantità di interventi di cui necessitano gli elementi tecnici e il loro livello di manutenibilità. Infatti, tanto più un edificio è caratterizzato da un grado di manutenibilità adeguata per effettuare la dovuta manutenzione, tanto minore è l'incertezza sulle sue prestazioni nel tempo (Molinari, 2002). La mancanza diffusa di consapevolezza dei progettisti rispetto all'adeguatezza della manutenibilità delle loro soluzioni porta come conseguenza al fatto che le condizioni di un edificio nel lungo periodo sono un risultato non logicamente deducibile dalle informazioni disponibili (De Finetti, 2006) nella fase iniziale del processo. In altri termini, la propensione di edifici a soddisfare nel tempo una serie di obiettivi dichiarati è fortemente incerta nel momento in cui vengono prese le decisioni.

La nozione d'incertezza indica, per definizione, quegli eventi che sono impossibili o difficili da prevedere (Gigerenzer, 2003), e può essere distinta in due tipi: l'incertezza aleatoria – che dipende dalle caratteristiche del sistema e può generalmente derivare da variazioni casuali, fluttuazioni e da fenomeni stocastici occasionali, e l'incertezza epistemica – che dipende, invece, da difetti di conoscenza e percezione dell'analista (Zio, 2012). A differenza dell'incertezza aleatoria, quella epistemica può essere non solo stimata, ma anche trattata e ridotta (De Finetti, 1990). L'incertezza epistemica è spesso trattata con metodi statistici. Infatti, quando non è possibile, o non è conveniente, dedurre i risultati attesi da un processo date tutte le condizioni di partenza, una soluzione ragionevole è quella di assumere le frequenze degli esiti registrati in passato come probabilità degli esiti di altri processi

The control, at the design stage, of risks related to buildings management over time

**Abstract.** In the present paper an apparatus of tools and methods is presented to evaluate, at the design stage, the risks over a set of objectives through buildings lifetime. To this purpose a tool is first presented to relate technological requirements of each technical elements to the pertinent maintenance interventions. Then a process is also proposed to estimate the risks on user requirements running Monte Carlo simulations. The risk management process proposed in the present work aims to support designers and promoters in making predictions on the outcomes of long, not standardized, multivariable dependent processes – as the building process is – in order to indicate the attitude of a designed building to meet a framework of important objectives through its lifetime.

**Keywords:** Risk management, Maintenance, Uncertainty, Architectural design, Building management

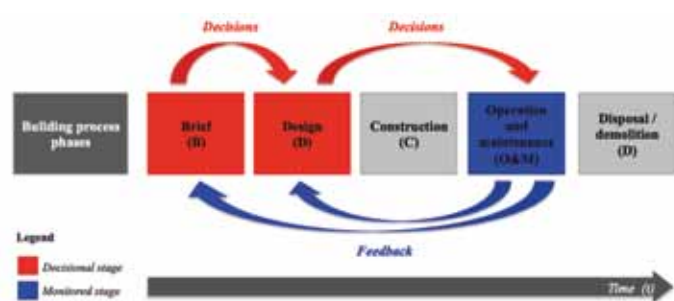
## Introduction

Within the building process the phase of operation and management is often characterized by a number of problems whose origin lies in the moment of the project design. These problems often appear in drop of performances with the result of discomfort of living due to accelerated degradation and high costs of management<sup>1</sup>. Problems in maintaining the most recent built environment are leading nowadays to an increasing pressure on the topic of design for maintenance. Building are items designed to meet a set of needs over decades and their performances during the operation and maintenance phase are largely determined at the early moments of conception – the brief and design phases – (Ciribini, 1979). The rest of their useful life is then a long span of time in which the inertial outcomes of the early de-

isions appear. For this reason, it is particularly crucial to manage, right at the design moment, the risks related to the adequacy of building performances to meet over time promoters and user's needs.

The difficulty in estimating, while designing, the propensity of building to keep adequate performances over time lies on the fact that this attitude depends on two aspects that are largely unknown in the current practice of architectural design: the amount of interventions that elements will need and their level of maintainability. Indeed, the more a building is characterized by a degree of maintainability adequate to carry out the due maintenance, the less its performances over time are uncertain (Molinari, 2002). The lack of confidence of designers on the adequacy of maintainability of their proposals bring as a consequence that

in condizioni simili. Per quanto riguarda il progetto di architettura, però, non è possibile accumulare nel tempo una banca dati statistica di esiti da utilizzare per questo scopo, perché gli edifici non sono oggetti standardizzati, e quindi una conoscenza delle passate esperienze molto spesso non serve ad accrescere il grado di fiducia sui risultati futuri. Tuttavia, anche se tutti gli edifici sono oggetti unici nel loro insieme, i loro elementi e componenti non lo sono altrettanto. Pertanto le informazioni di ritorno dall'uso e dalla manutenzione di elementi e componenti (Fig. 1) sono di grande utilità, se messe in relazione agli aspetti di manutenibilità (Paganin, 2005), perché rivelano la qualità delle decisioni prese in sede di progetto e portano preziose indicazioni sia per migliorare future progettazioni sia per preparare nuovi documenti di *brief* (Talamo, 2010).



Nonostante l'importanza della progettazione nel definire le prestazioni degli edifici vi è, tuttavia, ancora una mancanza di strumenti e metodi per stimare l'incertezza attorno ai requisiti (sia tecnologici che ambientali), in sede di progetto.

the long-term condition of a designed building is a result not logically deducible from the available information (De Finetti, 2006) at the early stage of the process. In other terms, the propensity of buildings to meet through time a set of given goals is strongly uncertain when decision are taken.

The notion of uncertainty is referred, by definition, to those events that are impossible or difficult to predict (Gigerenzer, 2003), and it can be distinguished in two types: the random uncertainty – which depends on the characteristics of the system and can generally be traced back to random variations, fluctuations and occasional stochastic phenomena and the epistemic uncertainty – that depends, instead, on defects of knowledge and perception of the analyst (Zio, 2012). Unlike aleatory uncertainty, the epistemic one can be not only estimated,

but also treated and reduced (De Finetti, 1990). Epistemic uncertainty is often treated using statistics. Indeed, when it is not possible, or not convenient, to deduce expected outputs of a process given all inputs, a reasonable solutions is to adopt the frequencies of outputs recorded in the past as probability of the outcomes of other process in similar conditions. For what it takes buildings design it is not possible to accumulate over time a statistical database of results to be used for this purpose, because buildings are not standardized items and therefore background experiences very often cannot improve the level of confidence on future outcomes. Nevertheless, even though all buildings are quite unique, their elements and components are more standardized. Therefore, feedbacks from use and maintenance of elements and compo-

L'ipotesi avanzata da questo lavoro è quella di gestire il rischio di prestazioni inadeguate nel tempo, valutando sia la manutenibilità che l'esposizione ai guasti di tutti gli elementi tecnologici coinvolti nel progetto al fine di migliorare la consapevolezza dei promotori e dei progettisti sull'incertezza dei requisiti tecnologici. In particolare, nel supportare la valutazione della manutenibilità un significativo contributo è offerto dagli studi sulla cultura materica. Per requisiti più complessi, quali quelli ambientali, un possibile approccio che è avanzato in questo lavoro è quello di stimare l'incertezza utilizzando il metodo Monte Carlo, che permette di valutare i risultati di processi dipendenti da molte variabili, attraverso simulazioni anziché attraverso calcoli analitici (Marseguerra e Zio, 2002). Questo metodo è particolarmente affidabile perché evita l'errore diffuso – noto come *fault of average* (errore della media) – di utilizzare le medie di valori variabili per stimare gli esiti più probabili dei processi (De Neufville e Scholter, 2011), ma utilizza, invece, distribuzioni di probabilità come condizioni di partenza delle simulazioni.

## Metodo

Nel presente lavoro viene proposto un metodo per valutare e gestire, in fase di progetto, i rischi legati alla soddisfazione di un quadro di requisiti di un edificio nel tempo.

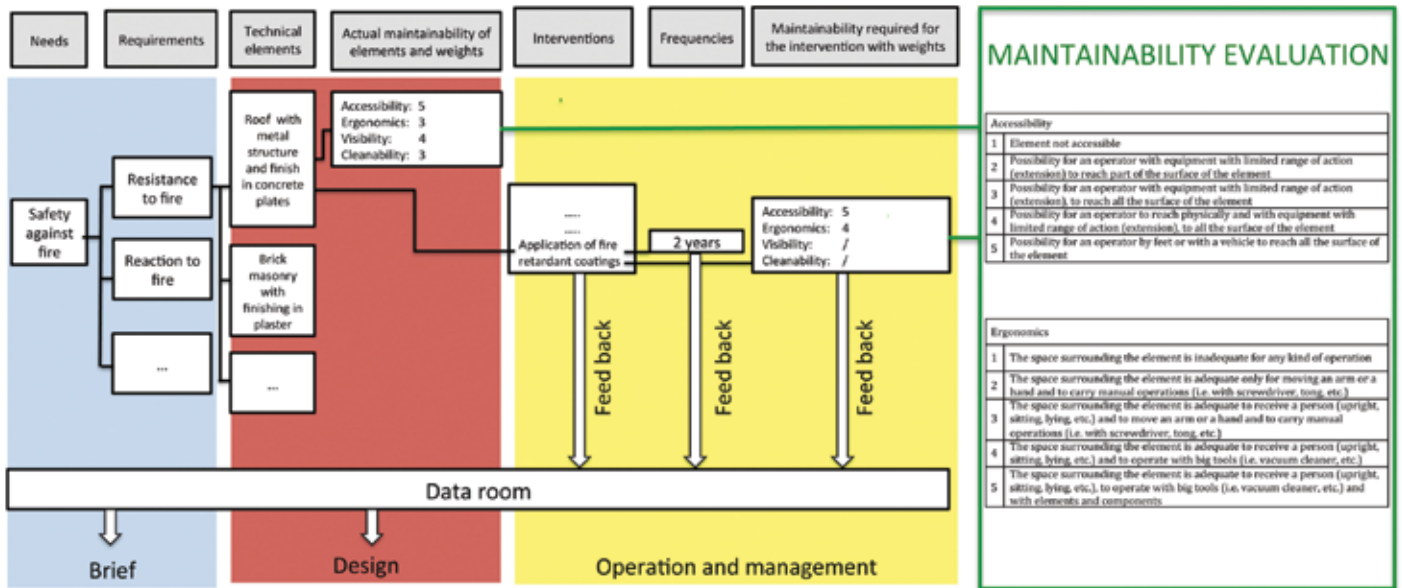
Per gestire il rischio che un edificio diventi insoddisfacente nel lungo termine a causa di difficoltà nella gestione, si propone di stimare l'incertezza attorno ai principali requisiti sulla base sia dell'esposizione ai guasti che dell'adeguatezza delle manutenibilità degli elementi interessati. In fig. 2 è riportato un esempio di come i requisiti sono ricondotti agli interventi e alle condizioni da cui dipendono.

nents (Fig. 1) are very useful, if related to maintainability (Paganin, 2005), because they reveal the quality of the decisions taken in design and brings precious indications for both improving future design and supporting the preparation of new brief documents (Talamo, 2010).

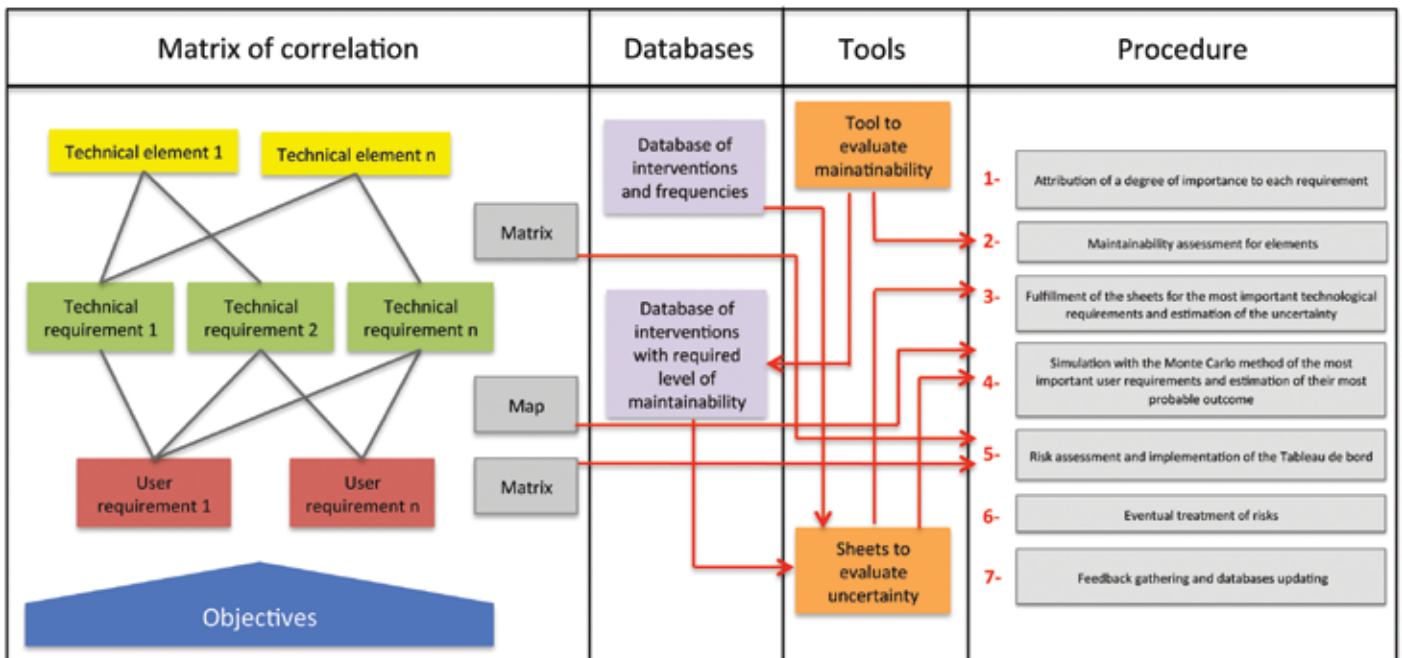
Despite the centrality of informed design in defining the future performance of buildings there is, however, still a lack of tools and methods to take into account uncertainty over requirements (both technological and user requirements), while designing.

The hypothesis of this work is to propose a set of tools and methods to manage, right at the design stage, the risks of inadequate performance over time by evaluating both maintainability and exposure to failure of all technological elements involved in the design, in order to improve the consciousness of

promoters and designers on the uncertainty of technical requirements. In particular to support the assessment of maintainability a significant contribution is provided by the studies on the cultura materica (material culture). For more complex requirements, such as user requirements, a possible solution that is putted forward in this work is to estimate uncertainty by using the Monte Carlo method, which allows to estimate the outcomes of multi-variable processes, passing through simulations instead of through analytical computation (Marseguerra and Zio, 2002). This method is particularly reliable because it avoids the widespread mistake – named “flaw of average” – to use average inputs for estimating most probable outcomes of processes (De Neufville and Scholter, 2011). Instead it uses probability distributions as input conditions for simulations.



02 |



03 |

02 | Mappa delle connessioni tra esigenze, requisiti, elementi tecnici (con il relativo livello di manutenibilità) e interventi (con le relative frequenze e livello di manutenibilità)

*Map of connections between needs, requirements, technical elements (with related level of maintainability) and interventions (with related frequencies and level of maintainability)*

03 | Mappa delle connessioni tra le banche dati, matrici di correlazione, strumenti e fasi della procedura

*Map of connections between databases, matrixes of correlation, tools and steps of the procedure*

I requisiti più rischiosi vengono poi trattati in accordo con le strategie di gestione del rischio.

A supporto del metodo un insieme di strumenti e mappe sono stati realizzati per mettere in relazione le esigenze del promotore e degli utenti con i relativi requisiti. In parallelo a questo set di mappe, è stato anche creato un database aperto delle frequenze di tutti gli interventi (Fig. 3). L'apparato di mappe e database utili a mettere in correlazione requisiti, elementi ed interventi è stato realizzato per stimare il livello di esposizione agli effetti dell'invecchiamento di ciascun requisito. Inoltre, è stato anche messo a punto uno strumento per stimare il livello di manutenibilità degli elementi tecnici.

Sulla base del quadro di strumenti e mappe indicati in fig. 3, viene presentata una procedura per stimare la propensione dei requisiti ad essere mantenuti soddisfatti nel tempo. La procedura si sviluppa lungo 6 fasi ed è finalizzata a identificare e trattare i requisiti più rischiosi.

1. **Attribuzione di un grado di importanza ad ogni esigenza.**  
In accordo con la definizione di rischio data dalla norma ISO GUIDE 73:2009<sup>2</sup>, i requisiti più rischiosi sono quelli più importanti. Per questa ragione, al fine di identificare i principali rischi rispetto agli obiettivi a lungo termine, un grado d'importanza viene attribuito a tutti i requisiti che rappresentano il quadro di obiettivi del promotore e degli utenti. Nel metodo proposto è assegnato un grado d'importanza a tutti i requisiti, in una scala da 1 a 5, dove 1 corrisponde a "irrilevante" e 5 a "fondamentale". Il grado d'importanza di ogni requisito deve

essere definito in collaborazione tra un esperto valutatore e il promotore dell'edificio durante la fase di *brief*, in accordo sia con obiettivi, desideri e vincoli del promotore, che con gli obblighi di legge.

2. **Valutazione della manutenibilità degli elementi.**

Utilizzando lo strumento appositamente realizzato il livello di manutenibilità di un elemento viene valutato con riferimento a 7 fattori (Fig. 4). A questo scopo è necessario, prima raccogliere tutta la documentazione progettuale, poi valutare la manutenibilità degli elementi tecnici legati ai requisiti tecnologici "fondamentali" (con un grado di importanza di 5), sulla base delle caratteristiche di progetto.

3. **Stima dell'incertezza dei requisiti tecnologici attraverso specifiche schede.**

Una scheda è predisposta per stimare l'incertezza dei requisiti tecnologici valutando l'adeguatezza della manutenibilità dell'elemento tecnico interessato (seconda tabella dall'alto in figura 5). Per stimare l'incertezza dei requisiti tecnologici di un elemento, la valutazione della sua manutenibilità viene confrontata con la manutenibilità richiesta dagli interventi pertinenti (Fig. 5). A questo scopo la sintesi finale della valutazione della fase 2 serve come dato d'ingresso per stimare l'incertezza dei requisiti tecnologici (prima casella dall'alto nella figura 5).

In questo modo il grado d'incertezza viene stimato sulla base del numero di interventi programmabili: "difficili da condurre" (la manutenibilità rispetto alla quale è inadeguata), in un

### Assignment of a level of maintainability to each of the factors

- 1- Sheet ID
- 2- Sheet to evaluate the accessibility
- 3- Sheet to evaluate the ergonomics
- 4- Sheet to assess the ease of disassembly and reassembly
- 5- Sheet for assessing the cleanability
- 6- Sheet to assess the substitutability
- 7- Sheet to assess the portability
- 8- Sheet to evaluate the visibility
- 9- Final report

Accessibility		Ergonomics	
LEVEL	INSIDE THE WALLS	LEVEL	INSIDE THE WALLS
0	-	0	-
1	-	1	X
2	-	2	-
LEVEL	INDOOR SURFACES	LEVEL	SPACE SURROUNDING
0	-	0	-
1	-	1	-
2	-	2	-
3	-	3	-
4	X	4	X
5	-		
6	-		
7	-		

FACTORS OF MAINTAINABILITY	LEVEL
Accessability	4
Ergonomics	5

### Final report

FACTORS OF MAINTAINABILITY	LEVEL
Accessability	4
Ergonomics	5
Easy of assembly and disassembly	3
Cleanability	3
Substitutability	1
Portability	2
Visibility	4

04 | Esempio di compilazione dello strumento per valutare la manutenibilità degli elementi  
Example of fulfillment of the tool to evaluate maintainability of elements

Classes of technological units	2 - Closures
Technological units	2.4 - Closures on top
Classes of technical elements	2.4.1 - Roofs
Typological configuration of technical elements	2.4.1.j - Pitched roof (or dome) with structure in reinforced concrete and finish in metal plates (flat or wavy)
Specific technical element	Roof of church 1
Technological requirements	TR2 - Not hygroscopic

**ACTUAL LEVEL OF MAINTAINABILITY OF THE TECHNOLOGICAL ELEMENT**

FACTORS OF MAINTAINABILITY	LEVEL
Accessibility	6
Ergonomics	4
Easy of assembly and disassembly	1
Cleanability	2
Substitutability	3
Portability	2
Visibility	3

**INTERVENTIONS AND MAINTAINABILITY REQUIRED TO KEEP THE TECHNOLOGICAL REQUIREMENT SATISFIED OVER TIME**

**INTERVENTIONS LINKED TO THE TECHNOLOGICAL REQUIREMENT**

Code	Interventions	Frequency [years]	In 30 years [n°]
2.4.1 Int. 1	Inspection and verification of the conditions   top finishing	1	30
2.4.1 Int. 2	Inspection and verification of the conditions   intrados	3	10
2.4.1 Int. 4	General examination of visible tightness elements	1	30
2.4.1 Int. 6	Remaking of the painting of the soffit	7	4
2.4.1 Int. 18	Installation of a new waterproofing layer	WHEN NEEDED	
2.4.1 Int. 23	Partial replacement of elements   top finishing	WHEN NEEDED	
2.4.1 Int. 24	Partial replacement of elements   intrados	WHEN NEEDED	
2.4.1 Int. 25	Total replacement of elements   top finishing	WHEN NEEDED	
2.4.1 Int. 26	Total replacement of elements   intrados	WHEN NEEDED	
2.4.1 Int. 27	Partial remaking	WHEN NEEDED	
2.4.1 Int. 28	Total remaking	WHEN NEEDED	

**LEVEL OF MAINTAINABILITY REQUIRED FROM PROGRAMMABLE INTERVENTIONS**

FACTORS OF MAINTAINABILITY	2.4.1 Int. 1	2.4.1 Int. 2	2.4.1 Int. 4	2.4.1 Int. 6
Accessibility	5 (+1)	5 (+1)	5 (+1)	4
Ergonomics				2
Easy of assembly and disassembly				
Cleanability				
Substitutability				
Portability				
Visibility	4	4	4	

**LEVEL OF MAINTAINABILITY REQUIRED FROM NOT-PROGRAMMABLE INTERVENTIONS**

FACTORS OF MAINTAINABILITY	2.4.1 Int. 18	2.4.1 Int. 23	2.4.1 Int. 24	2.4.1 Int. 25	2.4.1 Int. 26	2.4.1 Int. 27
Accessibility	4 (+2)	4 (+2)	4 (+2)	4 (+2)	4 (+2)	4 (+2)
Ergonomics	2 (+2)	3 (+2)	3 (+2)	3 (+2)	3 (+2)	3 (+2)
Easy of assembly and disassembly						
Cleanability						
Substitutability		2	2	2	2	2
Portability		2	2	1	1	2
Visibility						

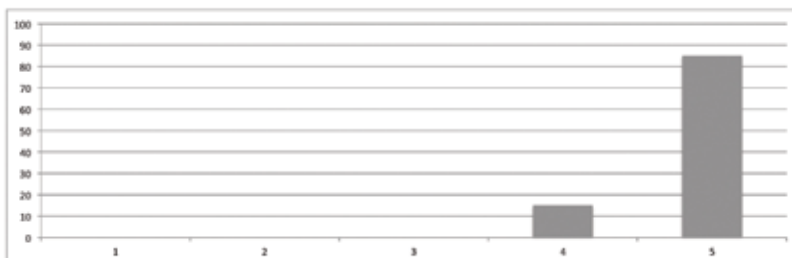
FACTORS OF MAINTAINABILITY	2.4.1 Int. 28
Accessibility	4 (+2)
Ergonomics	3 (+2)
Easy of assembly and disassembly	
Cleanability	
Substitutability	2
Portability	1
Visibility	

**ADEQUACY OF THE MAINTAINABILITY OF THE ELEMENT TO KEEP THE TECHNOLOGICAL REQUIREMENT SATISFIED OVER TIME (AoM)**

Total [n°]	Total interventions		Total [n°]	Interventions "difficult to be executed"	
	Programmable [n°]	Not-programmable [n°]		Programmable [n°]	Not-programmable [n°]
81	74	7	70	70	0

**DEGREE OF UNCERTAINTY OVER THE SATISFACTION OF THE TECHNOLOGICAL REQUIREMENT OVER TIME**

Level	Distrib[%]	Cumu[%]
1 Very low	0	0
2 Low	0	0
3 Medium	0	0
4 High	15	15
5 Very high	85	100



intervallo temporale. Non tutti i requisiti sono influenzati dallo stesso numero di interventi. Per esempio, tra tutti gli interventi di manutenzione che possono essere condotti su murature in mattoni a vista, praticamente nessuno è di qualche rilevanza per il requisito di "isolamento acustico", mentre 11 sono quelli che interessano il requisito di "non igroscopicità". In questo senso il requisito di "non igroscopicità" è più dipendente dalla manutenzione di quello di "isolamento acustico". Cinque possibili gradi di incertezza sono stati definiti: molto basso, basso, medio, alto e molto alto. Infine una distribuzione di probabilità attorno al più probabile grado di incertezza viene definita in base al numero di interventi non programmabili: "difficile da effettuare".

#### 4. Stima dell'incertezza dei requisiti ambientali attraverso simulazioni Monte Carlo.

Per stimare l'incertezza dei requisiti ambientali è necessario, prima identificare i requisiti tecnologici degli elementi tecnici interessati, poi considerare l'impatto che l'incertezza di ognuno di essi ha sull'incertezza complessiva del requisito ambientale.

L'incertezza di tutti i requisiti tecnologici è già stata valutata nella fase 3 (come distribuzione di probabilità attorno ai 5 gradi di incertezza). Partendo da queste informazioni possono essere condotte le simulazioni con il metodo Monte Carlo attraverso quattro passaggi: l'estrazione di numeri casuali in un intervallo da 1 a  $100^3$ , l'associazione di un livello di incertezza ad ogni numero estratto in accordo con la distribuzione di probabilità del requisito (ripetendo l'operazione per tutti i requisiti tecnologici coinvolti con un requisito ambientale tut-

ti gli elementi necessari per la simulazione sono predisposti), la definizione del grado di incertezza da attribuire al requisito ambientale in relazione alle configurazioni dei requisiti tecnologici coinvolti, e la conduzione di un numero appropriato di simulazioni (che in genere varia 1000-5000). Infine i risultati vengono raccolti e la loro distribuzione lungo i 5 gradi di incertezza descrive il livello di incertezza del requisito ambientale nel tempo (Martani, Talamo e Paganin, 2013).

#### 5. Valutazione, ed eventuale trattamento, dei rischi di tutti i requisiti e implementazione del *Tableau de bord*.

La valutazione è finalizzata a produrre un *Tableau de bord* del rischio in cui tutti i requisiti, sia tecnologici che ambientali, sono associati ad un livello di rischio. Il rischio di tutti i requisiti (Fig. 6) viene calcolato moltiplicando i rispettivi gradi di importanza con i gradi di incertezza. Il valore così ottenuto è riportato nelle matrici del *Tableau de bord* dei rischi: *the Tableau de bord of technical requirement and the Tableau de bord of user requirements* (il *Tableau de bord* dei requisiti tecnologici e quello dei requisiti ambientali) (Fig.6).

Ogni requisito riportato nel *Tableau de bord* è collegato alla rispettiva scheda (quella di fig. 5) in modo da poter ricondurre il livello di ogni rischio alle condizioni che lo determinano, al fine di poterlo eventualmente trattare in conformità alle strategie di trattamento del rischio indicate dalla norma ISO31010.

#### 6. Raccolta delle informazioni di ritorno e aggiornamento dei database.

Come ultimo passaggio del processo si propone di raccogliere sistematicamente le informazioni di ritorno dall'uso e della

#### Method

The present work proposes a method to assess and manage, right at the design stage, the risks over buildings requirements in the long term.

To control the risks of buildings to become unsatisfactory over time because of problems with maintenances, it is proposed to estimate the uncertainty over most relevant requirements according to both the exposure to failures and the maintainability of pertinent elements. In fig. 2 an example is reported of how requirements are tracked down to the list of interventions and conditions they depend on. Then requirements pointed out to be particularly risky are treated according to the strategies of the risk management process. In support of the method, a set of tools and maps has been settled to put in correlation users and promoters needs with the pertinent re-

quirements. In parallel with this set of maps, an open database of frequencies of all the interventions has also been created (Fig. 3). These maps of correlations between requirements, elements and interventions are designed to estimate the level of exposure to the aging effect of each requirement. In addition, a tool to assign a level of maintainability to technical elements has also been created.

On the basis of the frame of tools and maps shown in fig. 3, a procedure is presented to estimate the propensity of requirements to be maintained satisfied over time. The procedure is developed along 6 steps and aims to identify and treat the most risky requirements.

##### 1. Attribution of a degree of importance to each requirement.

According to the definition of risk, given from the ISO GUIDE 73:2009<sup>2</sup>,

as a function of importance and uncertainty of an event, the most risky requirements are those with highest importance. For this reason in order to identify the main risks over long-term objectives, a degree of importance has to be given to all requirements that represent the framework of promoter and users goals. In the proposed method a degree of importance have to be assigned to all requirements in a scale from 1 to 5, where 1 correspond to "irrelevant" and 5 to "fundamental". The degree of importance of each requirement has to be defined in collaboration between an expert evaluator and the building promoter during the brief phase, according to both: goals, desires and constrains of the promoter, and the legal obligations.

##### 2. Assessment the maintainability of elements.

Using a tool created on purpose the level of maintainability of an element is assessed with reference to 7 factors (Fig. 4). To this purpose it is needed to collect all project documents in order to carry the evaluation starting from design features. Elements to be evaluated first are those that have one or more "fundamental" technical requirements (those with a degree of importance of 5).

##### 3. Estimate the uncertainty of technological requirements through specific sheets.

A sheet is prepared to estimate the uncertainty over all technological requirements, by evaluating the adequacy of the maintainability of the pertinent element (second box from the top in figure 5). To estimate the uncertainty over all technological requirements of an element the evaluation of its

(i) Importance

		Reliability	Not hygroscopic
		TR1	TR2
Classes of technical elements			
2.1.1	Vertical perimeteral walls		5

(g) Uncertainty

Classes of technical elements			
2.1.1	Vertical perimeteral walls		
	External wall 1		2
	External wall 2		4
	External wall 3		1

(r) Risk

Classes of technical elements			
2.1.1	Vertical perimeteral walls		
	External wall 1		10
	External wall 2		20
	External wall 3		5

		Risk level																								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
		Reliability	Not hygroscopic	Aseptic	No emission of unpleasant odors	No issue of harmful substances	Sound absorption	Light absorption	Attitude to integration of plant	Easiness to equip	Ease of operation and handling	Easiness of maneuvers	Control of the intrinsic energy contents	Control of the solar factor												
		TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8	TR9	TR10	TR11	TR12	TR13												
Classes of technical elements																										
2.1.1 Vertical perimeteral walls																										
	External wall 1		3				6	7		1			5	6												
	External wall 2		3				6	6		1			7	12												
	External wall 3		2				13	10		1			4	2												
2.1.2 Vertical external frames																										
	Window 1						12					10	9	4												
	Window 2						15					3	0	2												
	Window 3						11					4	4	4												
	Window 4						1					10	16	7												

06 | Calcolo del livello di rischio e stralcio del tableau de bord  
Computation of the risk level and sample of the tableau de bord

gestione per aggiornare i database e consentire di rivedere periodicamente le stime sul rischio al fine di migliorare le analisi future. Con riferimento alla tempistica, i dati sono raccolti ogni volta che un operatore effettua un intervento, mentre le revisioni delle stime sono condotte periodicamente, sulla base delle esigenze del promotore e degli utenti. Le banche dati che possono essere aggiornate sono numerose, ad esempio: la banca dati degli interventi, la banca dati dei livelli di manutenibilità richiesta dagli interventi e quella delle relative frequenze.

Conclusioni

Il rischio che si verifichino problemi di gestione durante il ciclo di vita degli edifici è dovuto ad alcuni aspetti critici della pratica corrente del processo edilizio, come ad esempio:

maintainability is compared with the maintainability required to conduct pertinent interventions (Fig. 5) To that purpose the final summary of step 3 serves as input information to estimate the uncertainty over all technological requirements of each element (first box from the top in figure 5). In this way the degree of uncertainty is estimated based on the number of programmable interventions “difficult to be conducted” (the maintainability of which is inadequate), in a slot time. Indeed, not all requirements are influenced from the same number of interventions. For instance, among all interventions of maintenance that can be conducted on masonry in naked bricks, those that are of some relevance for the requirement of “sounds insulation” are almost zero, while those relative to the requirement of “not hygroscopic” are up to eleven. In this sense

the requirement of “not hygroscopic” is more maintenance dependent than that of “sounds insulation”. Five possible degrees of uncertainty have been defined: very low, low, medium, high and very high. Finally a probability distribution around the most probable degree of uncertainty is defined based on the number of not-programmable interventions “difficult to be conducted”.  
4. Estimate the uncertainty of the user requirements through Monte Carlo Simulation. To estimate the uncertainty of user requirements the first step is to identify all elements, and related technological requirements, and then consider the impact that the uncertainty of each of them has on the uncertainty of the overall user requirement. The uncertainty over all technologi-

difficoltà durante le fasi di progetto e di validazione nel considerare le implicazioni delle scelte progettuali sull’uso e la gestione, mancanza di familiarità con la pratica della raccolta di informazioni di ritorno dalla manutenzione per migliorare il processo decisionale di future operazioni. Rispetto a questo quadro di problematiche il presente lavoro propone di mettere in relazione, attraverso il contributo metodologico dagli studi in materia di gestione del rischio, le decisioni prese nelle fasi di *brief* e di progetto, con le conseguenze sull’uso e la gestione. Il contributo introdotto vuole supportare le attività di istruzioni e di validazioni della progettazione con riferimento ai rischi sugli obiettivi a lungo termine. I processi e le tecniche di valutazione e gestione del rischio presentati, e in particolare la stima di probabilità attraverso il metodo Monte

cal requirements of all elements has already been evaluated in step 3 (as a probability distribution over 5 degrees of uncertainty). Starting from this set of information the Monte Carlo simulation can be run in 4 steps: extracting a random number from a range from 1 to 1003, associating a level of uncertainty to the number extracted in accordance to the probability distribution of the pertinent requirement (by repeating this operation for all technological requirements involved with the user requirement a full row is settled for the simulation), defining the degree of uncertainty to be given to each user requirement depending on the configuration of all technological requirements involved, and running an appropriate number of simulations (that typically range from 1000 to 5000). Finally all results are collected and their distributed along the 5 de-

gree of uncertainty describe the level of uncertainty of the user requirement (Martani, Talamo and Paganin, 2013).  
5. Risk assessment, and eventual treatment, of all requirements and implementation of the Tableau de Board. Risk evaluations aims to produce a tableau de bord of risks, where all requirements, both technological and user requirements, are associated to a level of risk. To this purpose the risk of all requirements is computed (Fig. 6) by multiplying the degree of importance, and the degree of uncertainty. The risk obtained in this way is reported into the two matrixes of the tableau de bord of risks: the tableau de bord of technical requirement and the tableau de bord of user requirements (Fig. 6). For each requirement within the tableau the bord the original sheet can be consulted (that of fig. 5) in order to

Carlo e la raccolta continua delle informazioni di ritorno, contribuiscono in modo significativo, se correttamente adottati, a migliorare la consapevolezza in sede di progetto rispetto al rischio che un edificio progettato non soddisfi un quadro di risultati attesi nel tempo. Due possibili aree di sviluppo del metodo sono: espandere la raccolta di *feedback* con più dati di quelli che vengono attualmente raccolti e monitorare il miglioramento delle valutazioni all'aumentare delle informazioni che popolano i database.

#### NOTE

<sup>1</sup> I costi per la gestione possono raggiungere fino al 75-80% del costo globale di una costruzione (in 50-60 anni di ciclo di vita), contro il 2-4% delle attività di pre-progettazione, il 2% del progetto e il 15-20% di costruzione (Perret, 2001).

<sup>2</sup> Il rischio è funzione dell'importanza delle conseguenze e dell'incertezza (ISO GUIDE 73: 2009).

<sup>3</sup> Microsoft Excel lo fa automaticamente con la formula “=RAND()\*100”.

#### REFERENCES

Aven, T. and Zio, E. (2011), “Some considerations on the treatment of uncertainties in risk assessment for practical decision making”, *Reliability Engineering and System Safety*, n. 96, pp. 64-74.

Ciribini, G. (1979), *Introduzione alla tecnologia del design*, Franco Angeli, Milano.

De Finetti, B. (1990), *Theory of probability. A critical introductory treatment*, Wiley & Sons. Chichester.

De Finetti, B. (2006), *L'invenzione della verità*, Raffaello Cortina editore, Milano.

track the level of risk down to its origins and to treat the risk in accordance to the strategies of risk treatment presented into the International Standard ISO31010.

6. Feedback gathering and database updating.

As last step of the process feedbacks are required to be systematically gathered by collecting data from conduction activities. Feedbacks from operation and management lead to updating databases and, eventually, reviewing old estimations. With reference to timing, data are gathered every time an operator conducts an intervention, while updates of database and review of estimations are conducted periodically, on the base of promoter and users needs. Databases that can be updated following up with feedback are numerous. For instance: the database

of interventions, the database of the level of maintainability required for interventions and the database of the frequency of interventions.

#### Conclusions

The risk that problems occur in buildings management lies in some critical aspects of the current practice of building process, such as: a difficulties during both the design and the validation phases in considering impacts of design solutions on the operations and maintenance, and a lack of familiarity with the practice of gathering feedbacks from use and maintenance to improve a process of learning by using. With references to these risks the present paper proposes to put in correlation, through the methodological contribute of the studies on risk management, the decisions taken at the brief and design phases with the con-

Gigerenzer, G. (2002), *Reckoning with risk: learning to live with uncertainty*, Penguin book, London.

De neufville, R. and Scholtes, S. (2011), *Flexibility in Engineering Design*, MIT press, Cambridge (MA).

Marseguerra, M. and Zio, E. (2002), *Basics of the Monte Carlo Method with Application to System Reliability*, LiLoLe Publishing, Hagen (Germany).

Martani, C., Talamo, C. and Paganin, G. (2013), “The control of uncertainty over objective in architectural design”, paper presented at the SCo2013 conference, September 2013, available at: <http://mox.polimi.it/sco2013/>

Molinari, C. (2002), *Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia. Volume 1*, Sistemi Editoriali, Napoli.

Paganin, G. (2005), *Lacquisizione delle informazioni per la manutenzione dei patrimoni immobiliari*, Sistemi Editoriali, Napoli.

Talamo, C. (2010), *Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia. Volume 2*, Sistemi Editoriali, Napoli.

Perret, J. (2001), *Guida alla manutenzione degli edifici*, Maggioli Editore, Rimini.

Zio, E. (2012), “Modellare l'incertezza nell'analisi del rischio”, in *Seminari di cultura matematica*, Politecnico di Milano, Milano.

sequences on the operation and management phase. The contribution introduced want to support the activities of design instructions and validations with references to the risks on the long-term goals. To this purpose the use of risk assessment and management processes and techniques, and in particular the probability estimation through the Monte Carlo method, as well as the continuous feedback updating, can contribute significantly to improve the awareness of designers and promoters with respect to the attitude of a building to achieve a framework of expected results. Two possible future lines of improvement are identified for the method: expand the feedback gathering system with more data than these currently collected and monitor the improvement of the evaluations the more information will populate the databases.

#### NOTES

<sup>1</sup> The costs for management can reach up to 75-80% of the global cost of a construction (in a 50-60 years of life-cycle), against 2-4% of pre-design activities, 2% of project design and the 15-20% of construction (Perret, 2001).

<sup>2</sup> The risk is function of the importance of consequences and uncertainty (ISO GUIDE 73: 2009)

<sup>3</sup> Microsoft Excel does that automatically with the formula “=RAND()\*100”.