Engineering and management of information modeling requirements

Giuseppe Martino Di Giuda*, Manuela Grecchi, Valentina Villa, Mirko Locatelli, Laura Pellegrini

TEMA
Technologies Engineering Materials Architecture
e-ISSN 2421-4574
Vol. 5, No. 2 (2019)

Highlights

Definition and management of requirements through RsE and RsM methods.
Integration of requirements into the design process through Information Modelling.
Monitoring the quality gap by means of model controls.
Pre-occupancy simulation to evaluate interactions among users.

Abstract

The presented document discusses the application of Requirements Engineering and Management methods and techniques for identification and traceability of requirements to support Information Modelling during the design process. Errors and ambiguities are generally found during the briefing phase. Pre-occupancy simulation on the information model verifies the interactions among future users to meet the intended use. The information model allows to monitor the gap between expected and actual quality throughout the design process.

Keywords

Requirements Engineering and Management, Information Modelling, Pre-occupancy Simulation, Space Programme, Room Data Sheet

1. INTRODUCTION

The requirements are the basis of each project: the final product should meet the needs and requirements expressed by the Client and the Stakeholders. The requirements define the basis for project planning, risk management and monitoring of possible adjustments to the design [1]. They are the main part of the brief phase and of the whole process. During the preliminary stages, the Client provides the actors with information on his needs and requirements: the project has to meet this kind of information [2]. Research reveals a lack of identification, management and traceability of requirements during the design process in the AEC sector [3,4,5,6,7,8].

The need for well-defined requirements and the dynamic nature of the process

Giuseppe M. Di Giuda
ABC - Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, via G. Ponzio 31, Milano, 20133, Italia

Manuela Grecchi
ABC - Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, via G. Ponzio 31, Milano, 20133, Italia

Valentina Villa
DISEG - Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino, corso Duca degli Abruzzi 24, Torino, 10129, Italia

Mirko Locatelli
ABC - Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, via G. Ponzio 31, Milano, 20133, Italia

Laura Pellegrini
ABC - Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, via G. Ponzio 31, Milano, 20133, Italia

* *Corresponding author*
Tel.: +39-0223995749;
e-mail:
giuseppe.digiuda@polimi.it

requires the identification of the several kinds of requirements. During an empirical survey conducted in 1976, Bell and Thayer stated that incorrect or incomplete definition of requirements is one of the main causes of overcoming time, cost and quality [9]. The authors stated that the requirements for different projects of different fields should be engineered and continuously reviewed [9,10]. An imbalance towards the final stages of the information flow in a traditional process is one of the reasons of the inefficiency of the building process. Indeed, the initial phases of brief and definition of the requirements are critical for the whole process [11]. It is clear that the design teams without any properly defined requirements, methods and monitoring tools are not able to evaluate all the impact of a project change. A solution that meets one requirement could have a negative effect on another crucial goal [10].

In addition, the requirements do not actually support the design process [12], they are not implemented as the design evolves, leading to data loss in the information flow. The high number of changes occurring during the design and the iterative nature of the process increases the complexity of the problem [13]. As a result, changes and decisions are frequently based on the previous version of the design, in order to improve the design solution, without real monitoring of compliance between the design and the initial demands. The design resulting can strongly diverge from the original targets with the impossibility to understand the differences between the design and the client's goals [13]. (Fig. 1)

1. INTRODUZIONE

I requisiti sono alla base di ogni progetto: il prodotto finale deve soddisfare bisogni e necessità espressi dalla Committenza e dai differenti stakeholder. I requisiti costituiscono la base per la pianificazione del progetto, la gestione del rischio, il monitoraggio e il controllo delle possibili modifiche [1]. Sono gli elementi essenziali della fase di briefing e dell'intero processo progettuale. Durante il processo di briefing il cliente informa gli attori delle proprie esigenze e necessità a cui il progetto è chiamato a rispondere [2]. Tuttavia studi precedenti rivelano nel settore AEC una carenza nell'identificazione, gestione e tracciabilità dei requisiti durante il processo di progettazione [3,4,5,6,7,8].
La natura dinamica del processo progettuale e l'importanza di avere requisiti ben definiti implicano la necessità di identificare precisamente i diversi requisiti presenti in un progetto. Come dimostrato da Bell e Thayer in uno studio empirico, un'errata o incompleta definizione dei requisiti nella fase di briefing è una delle principali cause del superamento di tempi e costi, del mancato rispetto delle aspettative e della minor qualità del prodotto [9]. Inoltre, in riferimento a differenti progetti, appartenenti a diversi settori, gli autori identificano la necessità di ingegnerizzare i requisiti di un sistema e di sottoporli a continue revisioni lungo il processo progettuale [9,10]. In conclusione, l'inefficienza di un processo edilizio tradizionale può essere ricondotta

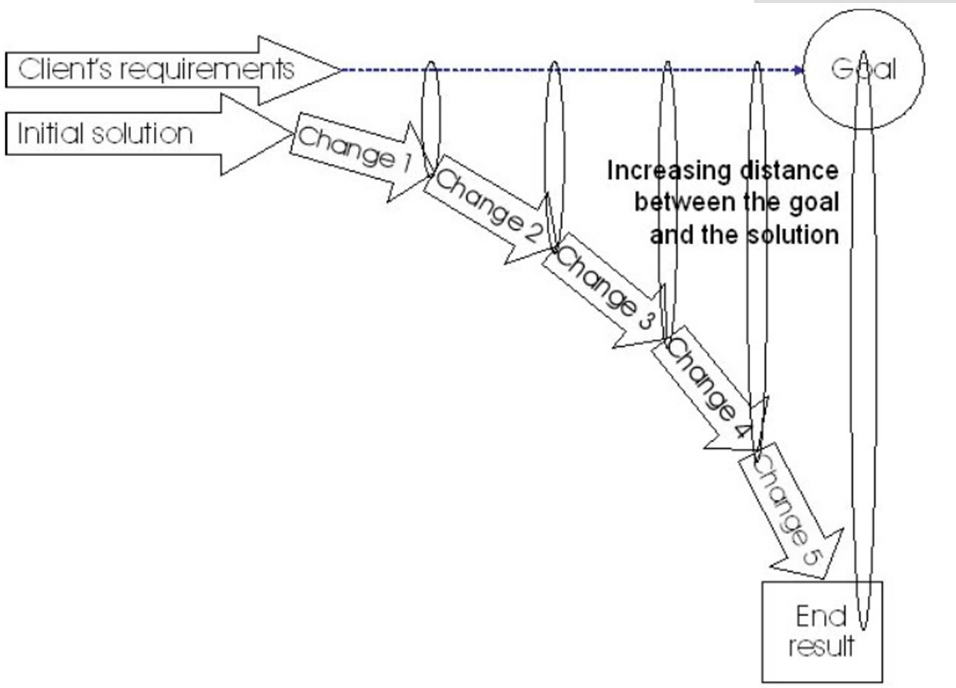

Figure 1. Qualitative distance between demands and design [13].

In order to reduce ambiguity and inaccuracy in the requirements' definition, Requirements Engineering (RsE) and Management (RsM) techniques may be applied to the design process. The main purpose of RsE and RsM is to correctly define and simply manage the requirements. Correct application of RsE/M in the AEC sector, as a support to Information Modelling (BIM), can lead to the integration of the requirements into the design process and ensures that the final product meets the customer's needs.

The work proposes a method of translating the demands into alphanumeric requirements to support the Information Modeling; the method is applied to the design of a primary and secondary school in Posada (NU), on the basis of the Documento Preliminare alla Progettazione (DIP), as a part of Progetto Iscol@, a program of the Region of Sardinia to promote and develop school buildings. The DIP at the basis of the tender was translated into computational requirements. The alphanumeric data supported the decision-making process during the design phase and guided the whole design process. As a result, the BIM methodology allows to link the requirements with the development of the design solution by means of analyses and simulations on the information model. The case study focused on the number of interactions among users in order to ensure the integration of architecture and educational approach, one of the mail goals of Progetto Iscol@. The validation required the use of Pre-Occupancy Simulation.

As a conclusion, the work provides the correct definition and monitoring of requirements by means of RsE and RsM tecniques to verify the existing gap between expected and actual. The results of the research show the value of these activities to ensure effectiveness of BIM methodology application and to optimize the design referring to the Client's goals.

2. METHODOLOGY

The identification of the best design solution requires the evaluation of design alternatives and their comparison. The expression of Client's demands through a set of measurable, computational and alphanumeric requirements enables the correct evaluation of design alternatives [14]. The building process carried out with BIM methodology is a progressive production and elaboration of data, based on the correct definition of the demand by means of computational requirements or the translation of a traditional demand.

Requirements Engineering (RsE) and Management (RsM) techniques can be applied for this purpose. These methods allow the definition and management of design requirements during the design process: it is possible to record

ad un flusso informativo sbilanciato verso le fasi finali a sfavore delle fasi iniziali di briefing e definizione dei requisiti, che si sono dimostrate cruciali [11]. Infatti, nel caso in cui non siano stati correttamente definiti requisiti, metodi e strumenti di monitoraggio, i team di progettazione non sono in grado di valutare tutte le ricadute di una modifica proposta. U na soluzione che soddisfa un requisito potrebbe avere un effetto negativo su un altro obiettivo fondamentale [10].
Inoltre, i requisiti definiti non sono poi attivamente utilizzati nel processo di progettazione [12] e non sono integrati con l'evolversi della progettazione, causando perdite di dati nel flusso i nformativo. Un altro aspetto rilevate è la natura iterativa del processo progettuale, durante il quale il progetto subisce numerose modifiche, aumentando la complessità del sistema [13].
Inoltre, in un processo tradizionale ogni revisione del progetto è confrontata con la revisione precedente, nel tentativo di migliorare progressivamente la soluzione progettuale, senza tuttavia verificarla r ispetto a i requisiti iniziali e senza monitorare la rispondenza tra offerta progettuale e domanda. In questo modo, il team di progettazione può perdere di vista gli obiettivi iniziali e la soluzione progettuale può progressivamente discostarsi dai requisiti definiti dalla Committenza [13].(Fig. 1)
Allo scopo di ridurre ambiguità e imprecisioni nella definizione dei requisiti si possono applicare tecniche di Requirements Engineering (RsE) and Management (RsM). Lo scopo principale di RsE e RsM è definire i requisiti e facilitarne la gestione. La corretta applicazione nel settore AEC di RsE e RsM a supporto della Modellazione Informativa (BIM) può favorire l'integrazione dei requisiti nel processo progettuale e garantire che il prodotto finale soddisfi le richieste da Committenza.
Il lavoro propone un metodo di traduzione della domanda in requisiti alfanumerici a supporto della modellazione informativa; il metodo è applicato al progetto di una scuola elementare e media a Posada (NU), sulla base del bando di progettazione, parte del Progetto Iscol@, un programma della Regione Sardegna per promozione e sviluppo dell'edilizia scolastica. Il Documento di Indirizzo Progettuale (DIP) posto a base di gara è stato tradotto in obiettivi e requisiti computabili. Le informazioni alfanumeriche sono state utilizzate a supporto del processo decisionale durante la fase metaprogettuale e hanno accompagnato l'intero processo progettuale. La metodologia BIM permette, quindi, di porre in relazione diretta obiettivi e requisiti con l'evolversi della soluzione progettuale, grazie all'esecuzione di controlli, analisi e simulazioni sul modello informativo. Particolare attenzione è stata data alla verifica del numero di interazioni tra gli

and trace the requirements during the design verification cycles. As a result, design changes can be properly managed and the final building performance can be assessed according to the initial requirements. The adoption of RsE and RsM methods allows to generate, compare and verify several design alternatives and to evaluate the impact of design changes on the requirements. It means that it is possible to check the quality of design solutions in terms of compliance with the Client's requirements. As a result, the selection of the best alternative is based on a structured and defined method, minimising the uncertainty and risks associated to the decision-making process.

Decision Support System

The method adopted to structure the demands can be considered as a Decision Support System (DSS) for the Client. DSSs allow to define the best alternative that meets the initial requirements through an optimization process [15,16,17,18]. The correct definition of the DSS requires to express goals and requests by means of RsE and RsM, as previously mentioned.

In the current case study, the strategic aims representing the Client's needs were identified on the basis of the DIP analysis. The strategic goals were then translated into specific targets and alphanumeric requirements. In many cases the DIP includes considerations and information on the aesthetic quality of spaces: a primary issue is the translation of quality requirements into computational requirements, as discussed below.

Requirements Engineering: Kansei Engineering and Analytic Hierarchy Process

Traditionally, it is possible to translate qualitative verbal expressions into computational and numerical values, according to the Quality Function Deployment (QFD) method. In a traditional approach, the same actors who expressed a qualitative evaluation on a product's feature translate the expression into a numerical value. Qualitative verbal expressions such as "good", "medium" or "not sufficient" is translated into a number through the Likert value scale [14].

Referring to the case study, the demands expressed in the DIP are the basis of the tender and therefore cannot be modified. As a consequence, a methodology based on Kansei Engineering [19] was used to define the requirements and sub-requisites. This method developed in Japan allows to translate the quality requirements the customer expresses into quantitative attributes of a product [20]. As a result, this approach ensures a higher quality of the product, designed according to the end-user's targets.

utenti nell'ottica di integrazione tra architettura e pedagogia, obiettivo cardine del Progetto Iscol@. La verifica ha richiesto l'utilizzo di Pre-Occupancy Simulation.
In conclusione, il lavoro prevede la corretta definizione e il monitoraggio di obiettivi e requisiti tramite RsE e RsM per la verifica del gap esistente tra qualità attesa ed effettiva della soluzione progettuale. I risultati ottenuti dalla ricerca evidenziano l'importanza di queste attività sia per l'efficacia di applicazione della metodologia BIM, sia per l'ottimizzazione del progetto rispetto agli obiettivi della Committenza.

2. METODOLOGIA

Il confronto tra alternative progettuali e la loro valutazione, per l'individuazione della soluzione migliore, può essere effettuato solo se presente un sistema di requisiti misurabili: si rileva, quindi, la necessità di formalizzare il quadro esigenziale in modo alfanumerico e computazionale [14]. Il processo edilizio gestito tramite metodologia BIM è una progressiva produzione ed elaborazione di dati, in un flusso alla base del quale si pone la domanda tradotta in requisiti quantificabili. Risulta di fondamentale importanza la corretta definizione della domanda tramite obiettivi e requisiti o la traduzione successiva di una domanda formulata in modo tradizionale.
A questo scopo è possibile applicare le tecniche di Requirements Engineering (RsE) and Management (RsM). Questi metodi permettono di definire e gestire i requisiti di un progetto lungo tutto il processo progettuale. L'utilizzo di queste tecniche permette di registrare e rintracciare i requisiti durante i cicli di verifica del progetto, permettendo una corretta gestione dei cambiamenti e una valutazione delle prestazioni finali dell'edificio coerente con gli obiettivi iniziali. L'adozione di metodi di RsE e RsM permette di generare, confrontare e verificare differenti alternative di progetto e valutare la ricaduta delle modifiche al progetto sugli obiettivi e requisiti alla base del progetto. Risulta, così, possibile monitorare la qualità della soluzione progettuale, intesa come rispondenza ai requisiti identificati. In questo modo, la scelta dell'alternativa migliore si basa su un metodo strutturato e definito, minimizzando l'incertezza e i rischi derivanti dal processo decisionale.

Decision Support System
La strutturazione della domanda proposta in questa ricerca si configura come un sistema di supporto decisionale (Decision Support System) per la Committenza. I DSS consentono di individuare l'alternativa migliore che soddisfi i requisiti iniziali, tramite un processo di ottimizzazione [15,16,17,18]. La strutturazione corretta del DSS necessita della definizione di obiettivi e richieste tramite RsE e RsM, come anticipato

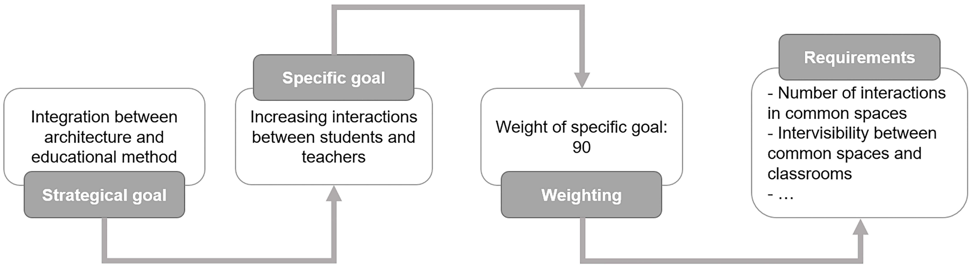

Figure 2. Identification and translation of a strategic goal.

The method adopted focuses on the analysis of the DIP to identify the strategic goals, unable to be expressed in alphanumeric terms. The increasing level of detail of the strategic goals made it possible to define measurable targets to express the Client's needs. These targets are defined specific targets, as shown in the flow in Figure 2.

The specific goals have the following features: Specific, Measurable, Achievable, Realistic, Time-related; moreover, they allow the unambiguous evaluation of design alternatives through numerical values and computational requirements.

Once the system was structured, a multi-criteria analysis made it possible to evaluate the alternatives according to the identified goals. During this phase, conflicts may arise among different and contrasting targets. The Analytic Hierarchy Process (AHP) method, a kind of multi-criteria analysis, allows to introduce a hierarchy among the several alternatives and to solve possible conflicts [21]. The AHP method enables the assignment of weights to the specific targets, creating a hierarchy of targets. The method to assign weights to the specific targets was the verification of how many times a specific target, or the related strategic goal, is mentioned in the DIP, as a Client's need or indication [22]. This way, each design alternative gets a score. Weights are then assigned to the scores according to the related specific targets' weights, thus allowing a numerical matching of the design solutions.

Space programme and Room Data Sheet

The requirements defined and structured by means of RsE and RsM were then collected and categorized in the Space Programme's design document, according to related specific targets and spatial units. BIM methodology provides digital data containers defined Room Data Sheets (RDS) to collect and manage the defined requirements. The information integrated into the RDSs creates a direct link between the Client's requirements, the design method and the information model. As a result, the management and traceability of requirements and the monitoring of the design process evolution are facilitated.

precedentemente. Nel caso in esame, gli obiettivi strategici che rappresentano i bisogni della Committenza sono stati identificati dall'analisi del DIP e, successivamente, tradotti in obiettivi specifici e requisiti alfanumerici. In molti casi il DIP include considerazioni e informazioni sulla qualità estetica o percettiva degli spazi da progettare: una difficoltà primaria nell'operazione di traduzione del DIP è la traduzione dei requisiti qualitativi in requisiti quantificabili, analizzata in seguito.

Requirements Engineering: Kansei Engineering e Analytic Hierarchy Process

Tradizionalmente, è possibile eseguire una traduzione di espressioni verbali qualitative in valori numerici computabili, secondo il metodo definito Quality Function Deployment. L'approccio tradizionale prevede che gli stessi soggetti che hanno espresso una valutazione qualitativa sulla caratteristica di un prodotto traducano l'espressione in un valore numerico. L'espressione verbale qualitativa come "buono", "medio" o "non sufficiente", è tradotta in un numero attraverso la scala di valori Likert [14].

Nel caso specifico, la domanda espressa nel DIP è posta a base di gara e pertanto non può essere modificata dai soggetti che l'hanno redatta. Di conseguenza, per la definizione di requisiti e sub-requisiti è stata utilizzata una metodologia basata sulla Kansei Engineering [19]. Questo metodo sviluppato in Giappone permette di tradurre le richieste qualitative espresse dal cliente in caratteristiche quantitative di un prodotto [20]. Questo approccio garantisce, quindi, una maggiore qualità del prodotto, progettato sulla base degli obiettivi espressi dall'utente finale.

Il metodo utilizzato è basato sull'individuazione di obiettivi strategici, non esprimibili in termini alfanumerici, a partire dal DIP. L'aumento del livello di dettaglio degli obiettivi strategici ha permesso di definire criteri quantificabili per esprimere le necessità della Committenza, definiti obiettivi specifici, come mostrato nel flusso in Fig. 2.

Gli obiettivi specifici hanno le

Moreover, the Information Modeling allows to gather in a single database, i.e. the information model, the data for the definition of the design concepts; consequently, data and constraints provided by the Client, regulations and context are no longer a subsequent verification, rather than a support to the definition of the design solution. As a result, it anticipates the encounter/clash between the creative process and the checks and analyses necessary to correctly define the design.

Pre-occupancy Simulations to verify interactions among users

The evaluation of some of the requirements implies the use of simulations to get a numerical value for each design alternative. The application of Pre-occupancy Simulations enabled the numerical verification of the interactions among users in the designed spaces. This was a key parameter in order to meet one of the main goals of the process, namely the integration of architecture and educational approach.

Pre-occupancy simulations are based on Crowd Simulation systems. Crowd Simulation systems are computerized analyses of the movement of crowds and are generally used for emergency simulations [23,24,25]: in the case study, the simulation reproduces the actual use of spaces, in order to verify the spatial quality of the designed spaces. Spatial quality is defined as the ability of spaces to meet the intended use.

There are two types of Pre-occupancy Simulation: Agent-based and Narrative driven, described below. Microscopic Agent-based simulations are the ones used in the current case study: the users maintain their own peculiarities and the ability to act independently, while at the same time their behaviour influences choices and movements of nearby occupants [26]. There is, therefore, an effect of individualisation of the movement of crowds [27]. The user reacts to simple motion rules (K.I.S.S.) [28] and a widespread A.I. (Artificial Intelligence) drives its actions and ensures randomness of movements in space [27]. Pure Agent-based simulation has a limitation: it is possible to populate the model of a building; however, the movement of the occupants is extremely chaotic [29].

As a consequence, it is necessary to apply a second type of simulation, defined Narrative Driven, which formalizes the sequence of activities the user carries out. A Narrative Driven simulation also presents some limits: the need to formalize every single activity carried out inside the spaces causes a strong rigidity. As a results, the analysis appears more as an animation than as a simulation.

The adopted solution involves the mixed use of the two systems, thus removing

seguenti caratteristiche: Specific, Measurable, Achievable, Realistic, Time-related; inoltre, permettono di valutare senza ambiguità le alternative progettuali tramite valori numerici e requisiti quantificabili.
Una volta strutturato il sistema, un'analisi multicriterio ha permesso di valutare le alternative rispetto agli obiettivi identificati. In questa fase possono nascere conflitti tra diversi criteri in contrasto tra loro. Il metodo dell'Analytic Hierarchy Process (AHP), un'analisi multicriterio, permette di introdurre una gerarchia tra le alternative e di risolvere eventuali conflitti tra obiettivi in contrasto tra loro [21].
Tramite l'AHP sono stati assegnati pesi agli obiettivi specifici, creando una gerarchia dei criteri. Il metodo per assegnare un peso agli obiettivi specifici è stato la verifica del numero di volte in cui un obiettivo specifico, o l'obiettivo strategico di provenienza, è richiamato da un'indicazione o un bisogno della Committenza espressi nel DIP [22].
In questo modo è definito un punteggio per ciascuna alternativa progettuale e i punteggi sono pesati in funzione del peso dell'obiettivo specifico a cui rispondono, consentendo così un confronto numerico tra le soluzioni progettuali.

Space programme e Room Data Sheet

I requisiti definiti e strutturati tramite RsE e RsM sono stati poi raccolti e indicizzati nel documento meta-progettuale dello Space Programme, classificandoli in funzione dei relativi obiettivi specifici e unità ambientali.
La metodologia BIM è stata utilizzata per gestire i requisiti strutturati nel documento dello Space Programme, predisponendo le Room Data Sheet (RDS), contenitori digitali di dati, inseriti nel modello informativo. La modellazione delle informazioni nelle RDS crea un collegamento diretto tra le esigenze della Committenza, il metodo di progettazione e il modello informativo. In questo modo si facilita la gestione e tracciabilità dei requisiti e il monitoraggio dell'evoluzione del processo progettuale.
La modellazione informativa permette, inoltre, di riunire in un unico database le informazioni per la definizione dell'ipotesi progettuale, ossia il modello informativo; in questo modo, dati e vincoli forniti da Committenza, normative e contesto rappresentano non più una verifica a posteriori, quanto un supporto alla definizione dell'ipotesi progettuale, anticipando l'incontro/scontro tra il processo creativo e i controlli necessari ad una corretta definizione del progetto.

Pre-occupancy Simulation per la verifica delle interazioni

La valutazione di alcuni requisiti rende necessario l'uso di simulazioni per ottenere un valore numerico the above limitations. This kind of simulation is not currently implemented in a traditional design process, resulting in lower quality of the design solution [29].

3. ANALYSES AND RESULTS OF THE CASE STUDY

The above methodology was applied to the case study of the design of a primary and secondary school in Posada. During the preliminary stages, data, constraints and requirements resulting from the DIP supported the definition of the design alternatives. This method allowed the accurate check for compliance of the alternatives with the Client's needs. The translation of the DIP into computational requirements required in the initial phase a relevant amount of time: 14 strategic goals, the related 36 specific targets and 25 spatial requirements were identified and assigned to the Room Data Sheets, relating to each space. According to the methodology above, weights are then assigned to each specific targets.

The evaluation of design alternatives in preliminary stages referring to the measurable requirements allowed to get advanced design concepts. Each alternative is linked to a weighted score according to the demands. As a result, during the concept phase needs and constraints guided the design changes. Information Modeling enabled also to carry out analyses and simulations to verify the requirements since the preliminary design phase. This operation is complex or excessively expensive in a traditional approach.

As mentioned above, a mixed approach based on Agent-based and Narrative Driven simulations was checked and allowed to measure the spatial quality. The model used is unable to replicate and simulate all aspects of human behavior; it provides just predictive data on number and quality of interactions among users in spaces. The proposed model allows, therefore, to quantify, verify and evaluate the spatial configurations, according to the spatial quality, defined as the number and variety of interactions, as well as the personal comfort of each user by reducing the crowding phenomena [22].

Simulations on the information model increased the comprehension of the design and the effectiveness of the Customer-designer communication. It is also possible to anticipate the effects of the future occupants' use of the building and their interactions [30], resulting in changes of designed spaces features.

Simulations identified issues related to the management of spaces, as well as the need to review some aspects of the common spaces' design. The outputs of the Pre-occupancy Simulation software are frequency and density maps showing crowding data at any point in the space (Fig. 3).

di riferimento per l'alternativa progettuale. Simulazioni di Pre-occupancy sono state applicate per la verifica numerica delle interazioni tra gli utenti negli spazi in progetto, parametro fondamentale per il rispetto di uno degli obiettivi cardine del progetto, ovvero l'integrazione tra architettura e metodo pedagogico.

Le Pre-occupancy Simulation, o simulazioni d'uso, si basano su sistemi di Crowd Simulation. I sistemi di Crowd Simulation sono analisi computerizzate del movimento delle folle e sono generalmente utilizzati per la simulazione di situazioni di emergenza [23,24,25]: nel caso studio la simulazione riproduce l'uso effettivo degli spazi, in ottica di verifica della qualità spaziale del progetto, intesa come capacità dell'ambiente di accogliere l'uso previsto.

Le Pre-occupancy Simulation si dividono in due tipologie: Agent-based e Narrative driven, descritte nel seguito. Le simulazioni Agent-based utilizzate nel caso studio sono di tipo microscopico: ogni utente modellato mantiene le proprie peculiarità e la capacità di agire autonomamente, ma allo stesso tempo il suo comportamento condiziona le scelte e i movimenti degli individui circostanti [26]. Si ha, quindi, un effetto di individualizzazione del movimento delle folle [27]. L'utente risponde a regole semplici di movimento (K.I.S.S.) [28] ed è controllato da una A.I. (intelligenza artificiale) diffusa che ne determina le azioni e garantisce la casualità di movimento nello spazio [27]. La simulazione Agent-based pura presenta una limitazione: è possibile popolare il modello di un edificio, tuttavia il movimento degli utenti risulta eccessivamente caotico [29]. Per questa ragione, è necessario l'utilizzo di un secondo tipo di simulazione, definita Narrative driven, che formalizza la sequenza di attività che l'utente deve svolgere. Una simulazione Narrative driven presenta anch'essa dei limiti, legati all'eccessiva rigidità dovuta alla necessità di formalizzare ogni singola attività da svolgersi all'interno dello spazio, configurando l'analisi più come un'animazione che come una simulazione.

La soluzione adottata prevede l'uso misto dei due sistemi andando a sopperire alle limitazioni sopra esposte. Simulazioni di questo tipo non sono ad oggi implementate nel tradizionale processo progettuale, a discapito della qualità effettiva del progetto stesso [29].

3. ANALISI E RISULTATI DEL CASO STUDIO

La metodologia presentata è stata applicata al caso studio del progetto di una scuola elementare e media a Posada.

In fase preliminare la definizione delle ipotesi progettuali è stata supportata dai dati, limiti e requisiti prestazionali contenuti

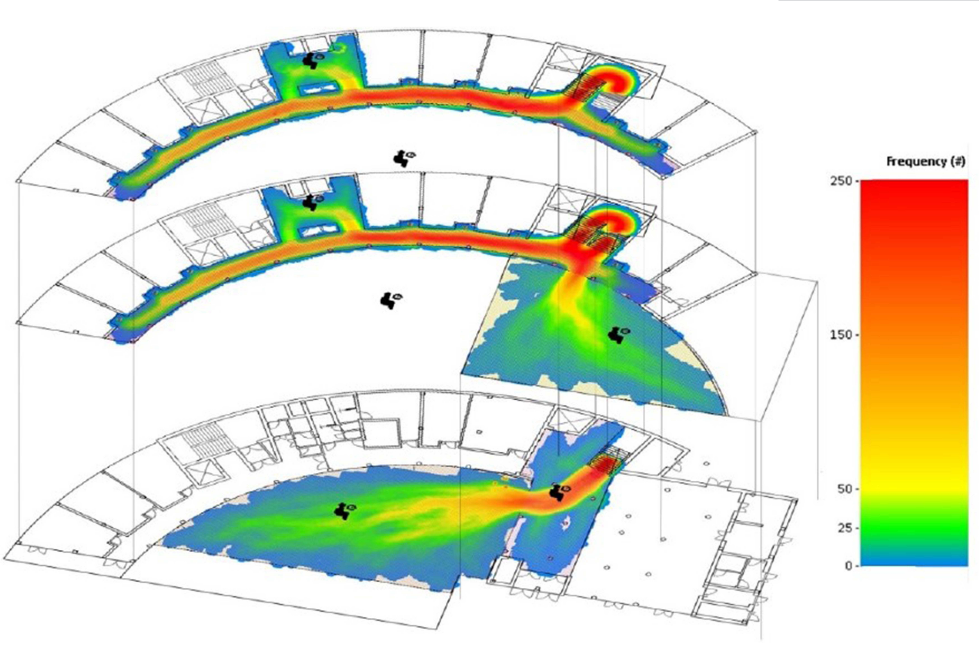

Figure 3. Frequency map [22].

The data collected are useful to identify the main flows and define space occupation index, allowing the evaluation of size and ability of the spaces to meet the future users' needs.

Simulation results highlighted the need to increase the number of exits: it enabled to reduce the intensity of entry and exit flows. Moreover, the simulation showed the need to review design and features of the stairs connecting the school levels, in order to avoid dangerous situations of overcrowding. The most remarkable aspect of these results is that spaces and elements modified were already sized according to the regulations. As a result, the analyses revealed issues associated to the actual use of the designed school and related to the complexity of the planned users' flows.

4. CONCLUSIONS

The case study highlighted the advantages of applying the proposed methodology. The use of RsE and RsM techniques and simulations to support the Information Modeling method allowed to identify, manage and trace the requirements while integrating them in the design process. The information model, by means of analyses and simulations, ensured the monitoring of the design alternatives and the check for compliance with the Client's needs. The various stakeholders became aware of the impact of the changes, thanks to the clear, defined and well-structured requirements.

Future development includes the possible connection of the information model to automatic Business Intelligence systems: these systems can be used

nel DIP a base del bando di gara, permettendo una verifica puntuale della rispondenza delle ipotesi alle necessità della Committenza. La traduzione del DIP in una domanda computazionale ha richiesto in fase iniziale un dispendio considerevole in termini di tempo: sono stati identificati 14 obiettivi strategici, i relativi 36 obiettivi specifici e 25 requisiti spaziali da assegnare alle Room Data Sheet per ogni ambiente in progetto. A ciascun obiettivo specifico è stato, quindi, associato un peso, secondo la metodologia proposta.

La verifica delle alternative in fase preliminare rispetto ai requisiti quantificabili ha permesso di ottenere ipotesi progettuali avanzate associate ad un punteggio pesato che rappresenta la rispondenza delle stesse alla domanda. In questo modo è stato possibile fin dalla fase di concept modificare le ipotesi progettuali in funzione di vincoli e bisogni. Inoltre, tramite la modellazione informativa è stato possibile effettuare analisi e simulazioni per la verifica dei requisiti sin dalla fase preliminare del progetto, operazione complessa o eccessivamente dispendiosa in un approccio tradizionale.

Come accennato in precedenza, l'approccio adottato e sperimentato per quantificare l'aspetto della qualità spaziale è stato la modellazione mista basata su logica Agent-based e Narrative driven. Il modello utilizzato non è in grado di restituire e simulare ogni aspetto del comportamento umano; si limita a fornire dati di previsione sulla numerosità e qualità delle interazioni tra utenti nello spazio. Il modello proposto permette, quindi, di quantificare, verificare e valutare per via numerica le configurazioni distributive e spaziali to manage and show performance indices related to the design process. As a result, data collected from several analyses can be visualized in real-time: subjects responsible of the decision-making process and unaware of modelling processes can decide on currently up-to-date data and performance diagrams related to the design.

5. REFERENCES

[1] Hull, E. [et.al.], *Requirements Engineering, Second Edition*. Springer, 2005.
[2] Construction Industry Board (CIB), Briefing the Team: A Guide to Better Briefing for Clients. «Thomas Telford Publishing», (1997).
[3] Arayici Y. [et.al.], *A Requirements Engineering Framework for Integrated Systems Development for the Construction Industry*. John Wiley and Sons, 2009.
[4] Barrett, P.S; Stanley, C., *Better Construction Briefing*. Oxford: Blackwell Science, 1999.
[5] Chan, E.H.W.; Liu, C., Corporate portals as extranet support for the construction industry in Hong Kong and nearby regions of China, «Electronic Journal of Information Technology in Construction», 2007.
[6] Kamara, J.M.; Anumba, C.J., A Critical Appraisal of the Briefing Process in Construction, «Journal of Construction Research», 2(1), 2001, p. 13-24.
[7] Kelly, J.R. [et.al.], *The Briefing Process: A review and critique*. The Royal Institution of Chartered Surveyors, 1992.
[8] Yu, A. T. W.; Chan, E. H. W., Requirements Management in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry: The Way Forward Construction. In CIB Congress 2010, 10-13 May 2010. Salford: The Lowry Salford Quay, CIB: 2010, p. 1-11.
[9] Bell, T. E.; Thayer, T. A., Software Requirements: Are They Really a Problem?" In ICSE '76 Proceedings of the 2nd International Conference on Software Engineering, San Francisco, California, USA, 1976, p. 61–68.
[10] Lamsweerde, A. van, *Requirements Engineering: From system Goals to UML Models to Software Specifications*. England: Wiley, 2009.
[11] Bragança L. [et.al.], Building sustainability assessment, «Sustainability 2:2010–2023», 2010.
[12] Kagioglou, M. [et.al.], *A Generic Guide to the Design and Construction Process Protocol*. University of Salford, 1998.
[13] Kiviniemi, A., *Requirements management interface to building product models*. VTT Publications, 2005.
[14] Erol, I.; Ferrell, W. G., A methodology for selection problems with multiple, conflicting objectives and both qualitative and quantitative criteria, «International Journal of Production Economics», 2003, 86(3), p. 187–199.
[15] Karmellos, M. [et.al.], A multi-objective approach for optimal prioritization of energy efficiency measures in buildings: Model, software and case studies. «Applied Energy», 2015, 139, p. 131–150.
[16] Martínez-Rojas, M., [et.al.], The role of information technologies to address data handling in construction project management. «Journal of Computing in Civil Engineering», 2015, p. 1–10.
[17] Turskis, Z., [et.al.], Multi-criteria Optimization System for Decision Making in Construction Design and Management. «Engineering Economics», 2009, p. 7–17.
[18] Zou, R. R., [et.al.], An Exploratory Study of Information Decision-Making Model. In The 29th ARCOM Conference. At Reading, UK, September 2013, p. 69–80.
[19] Nagamachi, M., Kansei Engineering: A new ergonomic consumer-oriented technology for product development. «International Journal of Industrial Ergonomics», 1995, p. 3–11.
[20] Akao, Y., *Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements. Into Product Design*. Taylor & Francis, 2004.
[21] Saaty, T., Decision making with the Analytic Hierarchy Process. «Int. J. Services Sciences», 2008, p. 83–98.
[22] Locatelli, M.; Pellegrini, L., La modellazione informativa per il Progetto Iscol@, il nuovo campus dell'istruzione a Posada [master's degree thesis]. Milano: Politecnico di Milano, 2017.
[23] Almeida, J. E., [et.al.], Crowd Simulation Modeling Applied to Emergency and Evacuation Simulations using Multi-Agent Systems. March 2013.
[24] Montella, D. R., *Fire Safety Management*. 2012.
[25] Tang, F.; Ren, A., Agent-Based Evacuation Model Incorporating Fire Scene and Building

proposte, in funzione della qualità spaziale, definita c ome numerosità ed eterogeneità delle interazioni, nonché del comfort personale del singolo utente tramite la riduzione dei fenomeni di affollamento [22].
Le simulazioni sul modello informativo hanno consentito un aumento della comprensione del progetto, dell'efficacia della comunicazione Committente-progettista e della capacità di anticipare gli effetti dell'uso dell'edificio d a p arte d ei futuri utenti e le loro interazioni [30], modificando d i c onseguenza le caratteristiche degli spazi in progetto.(Fig. 3)
Le simulazioni hanno messo in luce problematiche relative alla gestione degli spazi in progetto, nonché la necessità di rivedere alcuni aspetti progettuali degli spazi comuni della scuola. Il software utilizzato per le Pre-occupancy Simulation permette di estrarre mappe di frequenza e densità contenenti i dati relativi all'affollamento in ogni punto dello spazio. I dati sono utili all'identificazione dei principali flussi e definire l'indice di occupazione degli spazi, permettendo una valutazione sul dimensionamento e sulla capacità degli ambienti di accogliere le attività dei futuri utenti.
L'analisi dei risultati della simulazione ha evidenziato, ad esempio, la necessità di aumentare il numero di uscite previste, riducendo l'intensità dei flussi i n e ntrata e uscita. Sono stati, inoltre, rivisti i dimensionamenti delle scale di collegamento tra i piani della scuola, per evitare situazioni pericolose di affollamento eccessivo. L'aspetto rilevante di questi risultati è che gli ambienti ed elementi modificati grazie alle simulazioni erano già stati correttamente dimensionati secondo i limiti normativi. Di conseguenza, le analisi hanno anticipato problematiche date dalla complessità dei flussi di utenti previsti e che, altrimenti, si sarebbero presentate solo una volta che la scuola fosse occupata.

4. CONCLUSIONI

Il caso studio analizzato ha evidenziato i vantaggi dell'applicazione della metodologia proposta. L'uso di RsE, RsM e simulazioni a supporto della modellazione informativa ha permesso di individuare, gestire e tracciare i requisiti integrandoli nel processo progettuale. Il modello informativo, tramite controlli e simulazioni, ha garantito il monitoraggio dell'andamento della progettazione rendendo i vari attori consapevoli dell'impatto delle modifiche, in quanto il quadro esigenziale risulta chiaro, definito e ben strutturato.
Uno sviluppo futuro è il possibile collegamento del modello informativo a sistemi automatici, di Business Intelligence, per gestione e visualizzazione di indici di performance. Questo consentirebbe la visualizzazione in tempo reale dei

Geometry, «Tsinghua Science and Technology», 2008, p. 708–714.
[26] Ijaz, K., [et.al.], A Survey of Latest Approaches for Crowd Simulation and Modeling using Hybrid Techniques. In 17th UKSIM-AMSS International Conference on Modelling and Simulation, 2015, p. 111–116.
[27] Santos, G.; Aguirre, B. E., *A Critical Review of Emergency Evacuation Simulations Models*. Disaster Research Center, 2004.
[28] Axelrod, R., *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration*. Princeton: Princeton University Press, 1997.
[29] Simeone, D., *Simulare il comportamento umano negli edifici. Un modello previsionale*. Roma: Gangemi editore, 2015.
[30] Shen, W., [et.al.], The User Pre-Occupancy Evaluation Method in designer–client communication in early design stage: A case study. «Automation in Construction», 2013, p. 112–124.

risultati delle analisi, permettendo a soggetti responsabili delle scelte riguardanti il progetto ed estranei al mondo della modellazione di prendere decisioni su dati e grafici di performance sempre aggiornati.