



# TEMA

Technologies  
Engineering  
Materials  
Architecture

**Journal Director** R. Gulli

**e-ISSN** 2421-4574  
**Vol. 2, No. 2 (2016)**

**Issue edited by Editor in Chief** M. D'Orazio

**Cover illustration** E. Garda, C. Mele, *Industrialized building and the quality of housing in Turin during the years of the great immigration*

**Editorial staff**

Cover design: C. Mazzoli  
Journal Manager: D. Prati

Search TEMA:

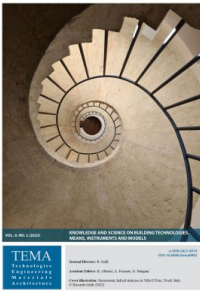
Submit your article

Referee access

[About the Journal](#)
[Open Call for papers](#)
[All issues](#)
[In press](#)
[Editorial Team](#)
[Ethical Code](#)
[Guidelines](#)
[Information](#)
[Call for papers Archive](#)

## VOL. 2 N. 2 (2016)

## Latest Issue: Vol. 9 N. 2 (2023)


[Click to download full issue \(PDF\)](#)

## All Issues

- [+ Year 2023](#)
- [+ Year 2022](#)
- [+ Year 2021](#)
- [+ Year 2020](#)
- [+ Year 2019](#)
- [+ Year 2018](#)
- [+ Year 2017](#)
- [+ Year 2016](#)
- [+ Year 2015](#)

## Submission

The evaluation for new submissions publication is always open. Follow the [Guidelines for authors](#) and [click here to submit your article](#)

**The industrialization of construction in the second half of the XX century. A global perspective**

**Submission status:** Open  
**Deadline:** January 22, 2024

## Editorial

## WOODEN ROOFING IN BOLOGNA AREA

Riccardo Gulli

Published online: December 5, 2016  
DOI: 10.17410/tema.v2i2.115

## DECISION-MAKING METHODS APPLIED TO REGENERATIVE PROCESS OF EXISTING BUILDINGS

Clara Vite

Published online: December 5, 2016  
DOI: 10.17410/tema.v2i2.102

## KREO: KINETIC RESPONSIVE ENVELOP BY ORIGAMI

Gianluca Rodonò, Vincenzo Sapienza

Published online: December 5, 2016  
DOI: 10.17410/tema.v2i2.111

## INVESTIGATION PROTOCOLS FOR ONSITE ASSESSMENT OF FLOOR AND WALL COMPONENTS IN HISTORICAL SCHOOL BUILDINGS

Mariella De Fino

Published online: December 5, 2016  
DOI: 10.17410/tema.v2i2.107

## INNOVATIVE METHODS ON TERRITORIAL VULNERABILITY STUDY FOR THE PREPARATION OF EMERGENCY PLANS

Roberto Castelluccio, Federica Pascale, Marina Fumo, Francesco Polverino

Published online: December 5, 2016  
DOI: 10.17410/tema.v2i2.108

## METADESIGN STRATEGIES FOR COMPATIBLE REUSE: THE CASE OF THE SINGLE HALL CHURCHES IN CATANIA

Angelo Salemi, Attilio Mondello, Alessandro Lo Faro

Published online: December 5, 2016  
DOI: 10.17410/tema.v2i2.110

## INSTRUMENTAL ANALYSIS AND OPERATIONAL PROTOCOLS FOR THE EVALUATION OF THE QUALITY OF CONSTRUCTION

Riccardo Gulli, Luca Guardigli, Giovanni Mochi

Published online: December 5, 2016  
DOI: 10.17410/tema.v2i2.113

## THE DOPOLAVORO BUILDING IN CARBONIA. CONSERVATION, RENOVATION, REUSE

Antonello Sanna, Paolo Sanjust, Giuseppina Monni

Published online: December 5, 2016  
DOI: 10.17410/tema.v2i2.101

## TECHNOLOGIES FOR WATER MANAGEMENT. TRADITIONAL AND MODERN BUILDING TECHNIQUES IN WESTERN SARDINIA

Francesco Marras

Published online: December 5, 2016  
DOI: 10.17410/tema.v2i2.103

**INDUSTRIALIZED BUILDING AND THE QUALITY OF HOUSING IN TURIN DURING THE YEARS OF THE GREAT IMMIGRATION**

Emilia Garda, Caterina Mele

Published online: December 5, 2016

DOI: 10.17410/tema.v2i2.109

**CONTRIBUTION TO THE KNOWLEDGE OF WIDE SPAN WOODEN ROOFING IN BOLOGNA AREA**

Luca Guardigli, Davide Prati, Giovanni Mochi

Published online: December 5, 2016

DOI: 10.17410/tema.v2i2.114

**ELECTROCHROMIC GLASS: TESTING IN THE MEDITERRANEAN AREA**

Gianraffaele Loddo

Published online: December 5, 2016

DOI: 10.17410/tema.v2i2.104

**DESIGN OF A CONSTRUCTION SITE IN A HEALTHCARE FACILITY SUPPORTED BY SIMULATIVE APPROACHES**

Ugo Maria Coraglia, Antonio Fioravanti, Daniela D'Alessandro, Davide Simeone

Published online: December 5, 2016

DOI: 10.17410/tema.v2i2.112

**THE ROLE OF SEMANTIC ENRICHMENT IN BUILDING INFORMATION MODELLING**

Davide Simeone, Stefano Corsi

Published online: December 5, 2016

DOI: 10.17410/tema.v2i2.105

**Indexing****Publisher****Publisher Partner****Media Partner**

© 2024 TEMA. All Rights Reserved. Privacy and Cookie Policy

# Design of a construction site in a healthcare facility supported by simulative approaches

Ugo Maria Coraglia\*, Davide Simeone, Antonio Fioravanti,  
Daniela D'Alessandro

---

## Highlights

The breakdown of the problem into variables to tackle the integrated model simulation.  
Definition and use of an “enriched” BIM model to link the semantics relating to use and construction to the various parts of the model. Distinguishing and simulating of activities and behaviours for modelling the Use processes.  
Conceptual framework based on three key points: Knowledge base, Simulation e Visualisation.

---

## Abstract

This research aims at providing a model to support the design of a low-impact construction site, in a healthcare facility, through an integrated system of BIM models, as databases of geometric information and semantics relating to use, and qualitative simulations of energetic-environmental phenomena and behaviour and activities of the actors involved, developed through a Game Engine. The interaction between the “enriched” model and the simulation environment represents a possible way of estimation of the risks, costs and impact on the healthcare setting, supporting the selection of the best management and design solutions.

---

## Keywords

Healthcare Construction site, Game Engine, Gaming, Building Information Modelling, BIM architecture, Simulation

---

## 1. INTRODUCTION

The problem of the conservation of existing buildings, both in Italian and international context, emerges increasingly and, from this design philosophy, could not be excluded the healthcare facilities. Only in Italy, there are more than a thousand healthcare facilities and the majority need to be adapted through the implementation of newer-generation-systems relying on new technologies. In any case, it is necessary the use not only of workers with specific skills but also specialized.

Generally, who work on Health&Safety on a construction site turn one's attention exclusively to site workers, adopting an inherent safety approach for event prevention (fire, chemical agents and air pollutant exposure) associated with the construction phase. Otherwise, in healthcare facilities, the problem

### Ugo Maria Coraglia

DICEA - Dipartimento di  
Ingegneria Civile, Edile ed  
Ambientale, Sapienza Università  
di Roma, via Eudossiana 18,  
Roma, 00185, Italia

### Davide Simeone

DICEA - Dipartimento di  
Ingegneria Civile, Edile ed  
Ambientale, Sapienza Università  
di Roma, via Eudossiana 18,  
Roma, 00185, Italia

### Antonio Fioravanti

DICEA - Dipartimento di  
Ingegneria Civile, Edile ed  
Ambientale, Sapienza Università  
di Roma, via Eudossiana 18,  
Roma, 00185, Italia

### Daniela D'Alessandro

DICEA - Dipartimento di  
Ingegneria Civile, Edile ed  
Ambientale, Sapienza Università  
di Roma, via Eudossiana 18,  
Roma, 00185, Italia

\* Corresponding author  
Tel.: +39-392-6797412;  
e-mail:  
ugomaria.coraglia@uniroma1.it



focusing on the exposure of the patients to risk factors, primarily those who are immunocompromised, being more susceptible to airborne infection by opportunistic pathogens carried forth by the dust.

Each type of intervention must be devised in order to avoid any interruption of healthcare activities. The impact of a construction site in a healthcare facility is emblematic of high-risk scenario, “characterised by a strong temporal variability of resources, occupied spaces and negative impact on the environment, which must be controlled and mitigated to avoid negative consequences for the exposed population” [1].

The impact of a construction site in a healthcare facility, during daily operations and emergencies alike, brings about multiple setbacks that must be handled in real-time, depending on evolving conditions of the building. The operators of both sectors, healthcare and construction site, in providing a structured and detailed organization, should acknowledge the issues affecting tasks conducted inside the Healthcare facility but also during possible emergency situations that may occur anytime over the course of the site’s continuing activity (e.g. fires, evacuations, epidemics).

The costs and design are crucial for the construction site duration but, as regards the healthcare sector, in addition, these problems it must acknowledge of those stemming from the organization and continued-operation-functionality management of the healthcare activities and patient care.

On this basis, the research aims to provide support for construction site design, right from the initial stages, through a single model to simultaneously simulate the three domains (Use-Build-Environment). Through the simulative environment will permit evaluation of the mutual interferences which, once known, will allow to minimize the impact of the construction site both on the users (e.g. patients, visitors) and on the activities of healthcare staff.

## 2. STATE OF ART AND CONTEXT

In Italy, the prevention and protection of the work environment on construction sites, delegated to the responsibility of individual professionals, is regulated by the Consolidation Act on health and safety at work, D. Lgs 81/08, and previously by the D. Lgs 626 / 94 and 494/96, without specifying the type of building context wherein it operates.

If everything can be valid for a generic construction site, proves, instead, inadequate in a healthcare sector, where several actors, professional and not, operate, most of the time, in the same area, observing, so, an increase of categories involved (Site workers, Patients, Healthcare staff and Visitors). The proactive approach recommended by international guidelines for risk

### 1. INTRODUZIONE

*Emerge sempre più, sia in ambito italiano sia internazionale, il problema della salvaguardia del costruito e, da tale filosofia progettuale, non potevano certamente essere escluse le strutture ospedaliere. Solo in Italia, sono presenti più di mille Istituti di cura e la maggior parte di questi necessita di essere conformato con impianti che tengano il passo con l'evoluzione delle nuove tecnologie. In ogni caso è d'obbligo l'impiego di maestranze con competenze non solo specifiche ma anche specializzate.*

*Generalmente, coloro che si occupano della sicurezza del cantiere orientano le proprie attenzioni quasi esclusivamente ai lavoratori in riferimento alla prevenzione di eventi (incendi, esposizione da agenti chimici e polveri) legati alla fase costruttiva. D'altro canto, negli ospedali, il problema si focalizza sull'esposizione dei pazienti a fattori di rischio, basti pensare alla presenza di degenti immunodepressi, suscettibili ad infezioni determinate da agenti patogeni “facoltativi” veicolati dalle polveri.*

*Ogni tipo di intervento deve essere previsto in modo da evitare qualsiasi interruzione delle attività ospedaliere. L'impatto di un cantiere all'interno di una struttura sanitaria rappresenta il caso emblematico di concentrazione di rischi, essendo “caratterizzato da una forte variabilità temporale di risorse, spazi fisici utilizzati ed impatti negativi sull'ambiente, che devono essere controllati e minimizzati per evitare conseguenze negative sulla popolazione esposta” [1].*

*La presenza di un cantiere all'interno di un ospedale, nella quotidianità e nell'emergenza, comporta molteplici ricadute operative che, in funzione delle mutate condizioni dell'edificio, devono essere gestite in tempo reale. Gli operatori di entrambi i settori, sanitario e di cantiere, nel prevedere una articolata e dettagliata organizzazione, devono prendere atto delle problematiche che ricadono sulle attività svolte all'interno dell'ospedale oltre alle eventuali situazioni di emergenza che si potranno venire a creare nel corso della durata del cantiere (ad es. incendi, evacuazioni, epidemie).*

*I costi e le scelte progettuali sono determinanti per fissare la durata di un cantiere ma, per quanto riguarda l'ambito ospedaliero, oltre tali problematiche si deve prendere atto di quelle derivanti dall'organizzazione e dalla gestione per il mantenimento della funzionalità delle attività sanitarie e del benessere dei pazienti.*

*Partendo da queste premesse, la ricerca si prefigge di fornire un supporto alla progettazione del cantiere, fin dalle fasi iniziali, attraverso un unico modello per simulare contemporaneamente i tre domini (Uso-Edificio-Ambiente). Attraverso l'ambiente simulativo potranno essere considerate le reciproche interferenze che, una volta note, consentiranno di minimizzare l'impatto della presenza del cantiere sia sugli utenti (ad es. pazienti, visitatori) sia sulle attività svolte dal personale sanitario.*

### 2. STATO DELL'ARTE E CONTESTO

*In Italia, la prevenzione e protezione*

management, via ICRA (Infection Control Risk Assessment), examines the potential risk of communicable pathogens within Healthcare facilities to limit the environmental sources of risk, while supporting the architectural and plant design. These guidelines translate into checklists based on identifying the type of situations and risks which could occur during site operations. Since 2001, The American Institute of Architects [2] [3] and the Canada Communicable Disease Report (CCDR) – and subsequently many other international bodies – use a matrix (see Fig. 1) that enables comparison between the operational risk-assessment classification and that of risk conditions to the patient/healthcare worker [4].

Construction site classification, then, is based on the type of work:

Type A – Non-invasive and inspection operations (e.g. activities that do not generate dust or require removal of walls, with interruption of water supply limited to involving under two hospital rooms);

Type B – Small-scale and short-lived operations (e.g. activities where the spread of dust generated can be controlled, with water supply interruption affecting more than two hospital rooms but less than 30 min);

Type C – Works generating a medium-to-high level of dust (e.g. activities that could result in demolition of parts of the building, with water supply interruption affecting more than two hospital rooms and exceeding 30 min but less than 1h in duration);

Type D – Construction and/or demolition works (e.g. activities that require several consecutive work shifts, where water supply interruption influences more than two hospital rooms, lasting more than 1h).

The classification of the wards, instead, is based on the level of vulnerability of the patients, starting from a level of Low Risk (e.g. office, etc.), passing through the one of Middle (e.g. cardiology, nuclear medicine, etc.) and High risk (e.g. A&E department, delivery room, etc.), up to that of Critical Risk (e.g. immunocompromised patient area, ICU, etc.).

The matrix, resulting from the intersection of classifications considered, allows producing a reasoned list of classes of precautions.

In Europe, the French propose the Risk assessment evaluation where the type of construction site is classified in terms of the degree of hazard and in

*del luogo di lavoro nei cantieri, demandata alla responsabilità dei singoli professionisti, è regolamentata dal Testo Unico in materia di salute e sicurezza sul lavoro, D.lgs. 81/08, e precedentemente dai D.lgs. 626/94 e 494/96, senza specificare la tipologia di contesto edilizio nel quale si opera.*

*Se tutto ciò può essere valido per un cantiere generico, risulta, invece, fortemente deficitario in ambito ospedaliero, dove diverse figure, professionali e non, si ritrovano, il più delle volte, ad agire nella stessa area, registrando, così, un incremento delle categorie coinvolte (Addetti di cantiere, Pazienti, Operatori sanitari e Visitatori).*

*L'approccio proattivo previsto dalle linee guida internazionali per la gestione del rischio, ICRA (Infection Control Risk Assessment), prende in esame il potenziale rischio di trasmissibilità degli agenti patogeni all'interno di un ospedale, supportando la progettazione architettonica ed impiantistica, in modo tale da limitare le sorgenti ambientali di rischio. Queste linee guida si traducono in checklist basate sulla tipologizzazione delle situazioni e dei rischi che si possono venire a creare in funzione delle lavorazioni in corso. L'American Institute of Architects [2] [3] ed il CCDR – Canada Communicable Disease Report dal 2001, poi ripresa da molti altri enti internazionali, si avvalgono di una matrice (vedere Fig. 1) attraverso la quale è possibile mettere in relazione la classificazione delle lavorazioni in base al rischio con quella delle condizioni di rischio del paziente operatore sanitario [4].*

*La classificazione dei cantieri, quindi, avviene in base alla tipologia delle lavorazioni:*

*Tipo A – Attività non invasive e d'ispezione (es. attività che non generano polveri o richiedono abbattimento di pareti, con interruzione dei rifornimenti idrici non superiore alle due stanze di ricovero);*

*Tipo B – Attività a piccola scala e di breve durata (es. attività in cui la diffusione delle polveri generate può essere controllata, con interruzione dei rifornimenti idrici superiore alle due stanze di ricovero per meno di 30 min.);*

*Tipo C – Lavori che generano un livello medio-alto di polveri (es. attività che possono comportare demolizione di parti di edificio, con interruzione dei rifornimenti idrici superiore alle due stanze di ricovero per oltre 30 min., ma meno di 1h);*

*Tipo D – Grandi opere di costruzione e/o demolizione (es. attività che richiedono diversi turni consecutivi di lavoro, con interruzione dei rifornimenti idrici superiore alle due stanze di ricovero per oltre 1h).*

*La classificazione dei reparti, invece, avviene in base al livello di*

Type of Construction Site		TYPE A	TYPE B	TYPE C	TYPE D	Classes of Precaution
Level of Vulnerability						
LOW						I
MEDIUM						II
HIGH						III/IV
CRITICAL						V

Figure 1. Risk Matrix.

function of its localisation (see Fig. 2).

This approach, while describing in detail the preventive measures not only for the construction site but also for the hospital ward, considers only the operating theatres and wards with patients at high risk for invasive Aspergillosis [1].

In recent years, Research has demonstrated that simulation is an excellent tool to examine complex problems, e.g. healthcare environment, and a way to obtain results that can be applied to improve the quality of activities [5].

vulnerabilità dei pazienti, partendo da un livello di Basso Rischio (es. uffici, etc.), passando per quello di Medio (es. cardiologia, medicina nucleare, etc.) e di Alto Rischio (es. pronto soccorso, sala parto, etc.), fino ad arrivare a quello di Altissimo Rischio (es. aree con pazienti immunocompromessi, terapia intensiva, etc.).  
La matrice, risultante dall'intersezione delle classificazioni considerate, permette di compilare un elenco ragionato di classi di precauzioni.  
In Europa, i francesi, propongono una analisi del livello di rischio nella quale

Type of Construction Site	Localisation	Risk level
I - Outside Construction Works	in proximity	3
	under prevailing winds	3
	remote	1
II - Inside Construction Works	inside hospital ward	4
	same floor	4- 5
	another floor	5
III - Inside Maintenance Works	inside hospital ward - not compartmentalized	5
	inside hospital ward - compartmentalized	4
	same floor	4
	another floor	2

Figure 2. Definition of risk level by type of construction site and localisation.

The Game Engine, widely used in the recreational and serious game, allow the User to immerse themselves, in real time, in an interactive experience with the virtual environment, as both First and Third person player. This makes it possible to visualise, almost instantly, the simulation of Users' behaviour [6].

The use of Game Engine allows, more accurate and in real-time, the integrated simulation of physical and behavioural phenomena (e.g. user behaviour and movement, energetic parameters).

In recent years, Research has tackled the management of on-site construction safety logistics through the use of BIM and BIM4D platforms, which have provided a visual approach to allow for direct and detailed monitoring of interferences. The choice for using the traffic-light colour-scheme has allowed for easier management and comparison of information pertaining to the on-site resources, e.g. vehicles, workers [7].

la tipologia di cantiere è classificata secondo il grado di pericolosità ed in funzione della sua localizzazione (vedere Fig. 2).  
Questo approccio, pur definendo dettagliatamente le misure di prevenzione non solo per il cantiere, ma anche per il reparto ospedaliero, prende però solamente in considerazione le sale operatorie ed i reparti con degenti ad alto rischio per Aspergilloso invasiva [1].  
Negli ultimi anni, la Ricerca ha evidenziato come la simulazione sia un ottimo strumento per studiare i problemi complessi, ad es. quelli relativi all'ambiente ospedaliero, ed ottenere dei risultati da poter usare per il miglioramento della qualità delle attività [5].  
I Game Engine, largamente utilizzati nell'ambito ludico e nei serious game, permettono all'utente di immergersi, in tempo reale, in un'esperienza interattiva con l'ambiente virtuale, sia in prima sia in terza persona. Ciò rende possibile la visualizzazione, pressoché istantanea, della simulazione del comportamento degli utenti [6].  
L'uso di Game Engine permette, in modo più accurato ed in tempo reale, la simulazione integrata dei fenomeni

### 3. CONCEPTUAL FRAMEWORK

The breakdown of the problem into variables results crucial to tackling the integrated model simulation (see Fig. 3).

Enviroment	Actors	Operations
Hospital or Hospital Ward	Patients	Patients care
	Visitors	Visitors care
	Healthcare staff	Healthcare staff care
Healthcare staff Activities		
Construction site	Construction team	Construction team care
		Construction site Activities

Figure 3. Variable Integrated System.

The first macro area, through the sum of two variables (Healthcare facilities or Healthcare ward and Construction site), defines the Environment and its parameters.

These variables are reflected on the second macro area, define by the Actors involved in the environments. From the analysis of the Healthcare sector are obtained the variables related to Patients, Visitors, and Healthcare staff, while the variable of Construction team is obtained from the Construction site.

Analysing the third macro area, relating to Operations, four variables can be obtained from the healthcare sector (Patient Care, Visitor Care, Healthcare Staff Care and Healthcare Staff Activities) and two from the construction site (Construction Team Care and Construction Site Activities).

The three macro areas, thus defined, allow to evaluate the Impact that the construction site is having on the healthcare facilities and the actors involved, especially patients.

The set of parameters, linked by mutual interference, is an integrated system of variables, disassemblable and feasible through the technologies of A.I., Modelling and Simulation.

The use of an “enriched” BIM model allows associating to the various parts of the model the semantics relating to Use and Construction.

The virtual model includes both the Building and the Construction site, defined in each individual item. Components, Equipment and Spaces for the healthcare sector, and Equipment, Developments and Spaces for the construction site [8].

fisici e comportamentali (ad es. flussi e comportamenti delle persone, parametri energetici).

Negli ultimi anni la Ricerca ha affrontato la gestione della logistica della sicurezza nei cantieri attraverso l'uso di piattaforme BIM (Building Information Model) e BIM4D in

modo da ottenere un approccio visivo per un controllo diretto e capillare delle interferenze. La scelta dell'uso dei colori semaforici (verde, giallo e rosso) ha permesso una gestione ed un confronto facilitato delle informazioni inerenti a risorse, mezzi ed operai presenti in cantiere [7].

#### 3. STRUTTURA CONCETTUALE

La scomposizione del problema in variabili risulta decisiva per affrontare il modello integrato di simulazione (vedere Fig. 3).

La prima macro area, attraverso la somma di due variabili (l'Ospedale o Reparto ospedaliero e il Cantiere), definisce l'Ambiente ed i suoi parametri.

Tali variabili si ripercuotono sulla seconda macro area, ovvero quella relativa agli Attori che intervengono negli ambienti sopra citati. Dall'analisi dell'ambito ospedaliero si ottengono le variabili relative ai Pazienti, ai Visitatori ed agli Operatori sanitari, mentre la variabile dei Lavoratori è ottenuta da quello di cantiere.

Analizzando la terza macro area, ovvero quella relativa all'Operatività, possono essere ricavate quattro variabili dall'ambito ospedaliero (Salvaguardia del Paziente, dei Visitatori, del Personale sanitario e le Attività ospedaliere) e due da quello del cantiere (Salvaguardia dei Lavoratori e le Attività del cantiere).

Le tre macro aree, così definite, permettono di valutare l'Impatto che il cantiere opera sull'ospedale e sulle figure presenti, soprattutto i pazienti. L'insieme di parametri, legati tra loro da mutue interferenze, rappresenta un sistema integrato di variabili, scomponibile ed affrontabile attraverso le tecnologie dell'Intelligenza Artificiale, della modellazione e della Simulazione. L'utilizzo di un modello di BIM “arricchito” permette di



In Figure 4 is noted as the subcategory of Spaces interfaces between the two main categories, but with an increased presence in the healthcare sector, since the space of the construction site is obtained inside the latter.

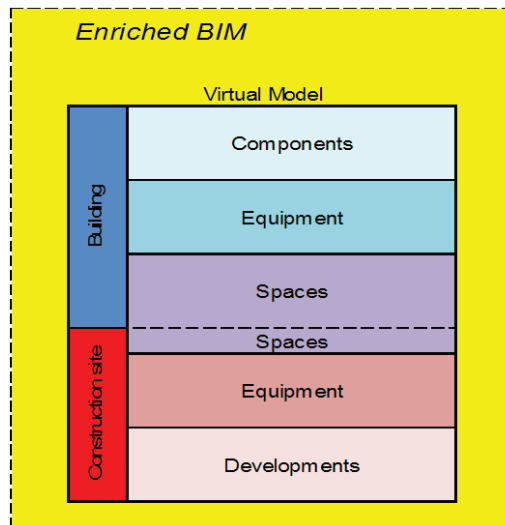


Figure 4. Enriched BIM.

After modelling the domain relative to the Building and the Construction site, the Use processes must be monitored that is to say the activities' structures and the behavioural libraries of actors involved.

Distinguishing between activities and behaviours is necessary because the former relate to the processes of all activities that are carried out (e.g. Pre, during and post-operative procedures in healthcare facilities and those for cement storage in silos in construction site) while the latter concerns only the individual (e.g. the sleeping patient or the worker going on coffee break).

Behavioural libraries, even if they are not structured activities from an operational perspective, do affect this phenomenon (e.g. every few hours patients will go to the bathroom, however, if it's centrally located and the construction site precludes access, an issue of comfort will emerge).

Because activities and behaviours affect each other, both need to be modelled so they can correctly plan activities designed to solve, possibly, problems that may arise (see Fig. 5).

Another element to be modelled for the simulation is related to Energetic-Environmental phenomena and parameters. This domain is closely related to the Well-being and Health&Safety of patients and other actors involved.

For instance, when it comes to comfort and well-being, noise can be a problem by disturbing patients' sleep, and it could especially be dangerous to health and safety the moment it could potentially drown out emergency sounds like those alerting staff to a problem with a sick patient who may be experiencing

associare alle varie parti del modello la semantica relativa all'Uso ed alla Costruzione. Il modello virtuale include sia l'Edificio sia il Cantiere, definiti nelle loro singole parti. Componenti, Attrezzature

e Spazi per l'ambito ospedaliero ed Attrezzature, Apprestamenti e Spazi per quello di cantiere [8].

Nella figura 4 si nota come la sottocategoria degli Spazi è in comunicazione tra le due categorie principali, ma con una presenza maggiore nell'ambito ospedaliero, visto che lo spazio del cantiere è ricavato all'interno di quest'ultimo.

Dopo aver modellato il dominio relativo all'Edificio ed al Cantiere, bisogna modellare i Processi d'Uso, ovvero le strutture di attività e le librerie comportamentali degli attori presenti.

Risulta necessaria la distinzione tra Attività e Comportamenti poiché le prime riguardano i processi di tutte le Attività che vengono svolte (es. le procedure pre, durante e post operatorie per l'ambito ospedaliero e quelle di stoccaggio del cemento nei silos per l'ambito del cantiere), mentre le seconde solamente il singolo individuo (es. il paziente che dorme o l'operaio che si concede una pausa caffè).

Anche se dal punto di vista operativo non risultano essere delle attività strutturate, le librerie dei comportamenti influenzano il fenomeno (ad es. i pazienti ogni tot ore devono recarsi in bagno, ma se questo locale è posto centralmente ed il cantiere preclude l'accesso ad alcuni di essi, emerge una problematica di comfort).

Poiché Attività e Comportamenti si influenzano reciprocamente è necessario modellare entrambi, in modo da poter correttamente pianificare le attività atte a risolvere, eventualmente, i problemi che potrebbero sorgere (vedere Fig. 5).

Un altro elemento da modellare per la simulazione è quello relativo ai parametri ed ai fenomeni Energetico-Ambientali. Questo dominio è strettamente legato al Comfort ed alla

Actors		Operations		Behaviours
Patients	→		↔	
Visitors	→	Healthcare Activities	↔	Healthcare Behaviours
Healthcare staff	→		↔	
Construction team	→	Construction site Activities	↔	Construction site Behaviours

Figure 5. Operational and Behavioural Simulation.

a sudden health complication.

The diagram of the conceptual framework showed in Fig. 6, is based on three key points:

1. Knowledge base (static level), includes the model of the building, the construction site and the assumptions relating to modelling.
2. Simulation (box dynamic/ Game Engine), Recognises the inputs sent from the knowledge base and adds them to the behavioural libraries of actors, processes activities (healthcare facilities and construction site) and Energetic-Environmental phenomena. The step of Computing, instead, allows processing of the integrated model of simulation through the interaction of inputs.
3. Visualisation (Game Engine), allows visualisation and measuring, in real-time, of the Integrated Model obtained through computing of the simulation, allowing the user to check and instantly modify his design solutions.

Salute e Benessere dei pazienti e degli altri attori coinvolti.

Per esempio, quando si tratta di comfort e benessere, il rumore può essere un problema di disturbo per il riposo dei pazienti, e potrebbe in particolare essere pericoloso per la salute e la sicurezza nel momento in cui potrebbe, potenzialmente, coprire i segnali di emergenza, come ad esempio quello che allerta il personale per un problema con un paziente malato colto da una improvvisa complicazione di salute.

Lo schema del Framework concettuale, riportato in figura 6, si basa su tre punti fondamentali:

1. Knowledge base (piano statico), include il modello dell'edificio, del cantiere e le ipotesi relative alla modellazione;
2. Simulation (box dinamico/ Game Engine), recepisce gli input inviati dalla base di conoscenza e li somma alle librerie di comportamento degli attori, ai processi di attività, dell'ospedale e del cantiere, ed ai fenomeni Energetico-Ambientali. La Sottofase di Computing, invece, permette elaborazione del modello integrato di simulazione attraverso l'interazione degli input.

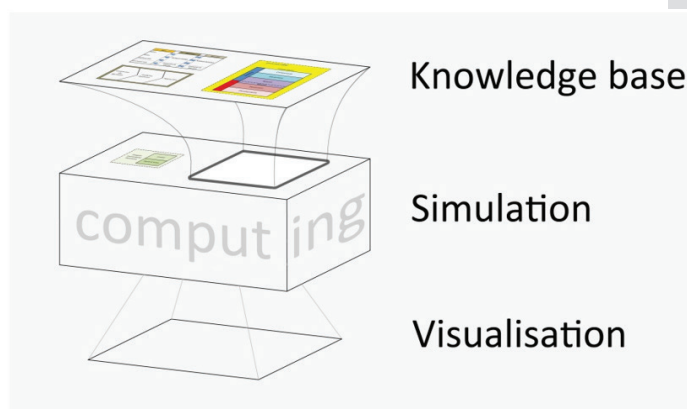


Figure 6. Conceptual Framework.

#### 4. SCENARIOS

The model structure will have a general value, therefore, it would have to

3. Visualisation (Game Engine), permette la visualizzazione e misurazione, in tempo reale, del Modello Integrato ottenuto attraverso il computing della simulazione, consentendo all'utente di verificare e

disregard the application type, however, it will be validated by simulated study models of Hospital and/or Hospital ward relating to:

1. Type of Construction site (classes I-IV);
2. Events that occurred during the re-enactment of the infectious chain (e.g. epidemics in high-risk wards);
3. Events occurring due to environmental contamination depending on the barriers used.

Through the comparison of international guidelines is possible to delineate the construction site scenarios within a hospital or its Ward, referring to the Renovation, without the suspension of health activities, and to the Organization of Emergencies.

## 5. CONCLUSIONS

The aim of this research is to define an Integrated Model of simulation that permits constant reduction of risk, cost, design error and impact within a healthcare setting. This simulation model, while supporting the professionals of both sectors – Healthcare and Construction – in selecting the best possible management and design solutions, accomplishes a dual purpose: as a support tool for Designers, to predict the actions to be carried out in order to commission a Hospital Site, and as a device to predict fall-out interference in daily activities and emergency service management for Healthcare administrators.

## 6. REFERENCES

- [1] D'Alessandro D., Mura I., Vescia N., Raccomandazioni per la gestione del rischio nei cantieri ospedalieri: linee guida internazionali. In: Annali di Igiene: Cantieri in Ospedale, La riqualificazione ospedaliera nei suoi aspetti igienico-sanitari e tecnici, Erice(TP) 3-6 marzo 2007, a cura di D. D'Alessandro, R. Del Vecchio. Roma: Società Editrice Universo, 2007, p. 107-123.
- [2] American Institute of Architects, Guidelines for Design and Construction of Hospitals and Health Care Facilities, 3rd Ed. Washington DC (USA): A.I.A.,2001.
- [3] Facilities Guidelines Institute, Guidelines for Design and Construction of Hospitals and Outpatient Facilities, Dallas (USA): F.G.I., 2014.
- [4] Auxilia F.,La ristrutturazione in ospedale: problemi organizzativi e igienico-sanitari. In: Annali di Igiene: Cantieri in Ospedale, La riqualificazione ospedaliera nei suoi aspetti igienico-sanitari e tecnici,, Erice(TP) 3-6 marzo 2007, a cura di D. D'Alessandro, R. Del Vecchio. Roma: Società Editrice Universo, 2007, p. 11-17.
- [5] Simeone D., Toldo I.,Cursi S., Operational scenarios simulation to support building design: a hospital design case study. «Lecture Notes in Computer Science», (2014).
- [6] Yan W., Culp C., Graf R., Integrating BIM and gaming for real-time interactive architectural visualization. «Automation in Construction», 20 (2011), p. 446-458.
- [7] Ciribini A. [et al.], Building Information Modelling and Large Construction Site Health and Safety Management. In: Energy, Sustainability and Building Information Modelling and Management, Milano: 2014, ISTeA, p. 129-153.
- [8] Carrara G., Kalay Y., Novembri G., KAAD – Knowledge-based Assistance for Architectural Design: Teaching and Research Experience with CAAD. In: 4th eCAADe: Teaching and Research with CAAD, Roma, 1986, a cura di G. Carrara. Roma: eCAADe, 1986, p. 202-212.

*modificare all'istante le sue soluzioni progettuali.*

### 4. SCENARI APPLICATIVI

*Anche se la struttura del modello avrà una valenza generale, in linea di massima, dovrà prescindere dal tipo di applicazione e sarà validata da simulazioni su casi studio di ospedali e/o reparti ospedalieri relativi a:*

1. *Tipologie di cantiere (I-IV classe);*
2. *Eventi accaduti con ricostruzione della catena infettiva (es. epidemie in reparti ad alto rischio);*
3. *Eventi accaduti di contaminazione ambientale in base alle barriere utilizzate.*

*Attraverso il confronto tra le linee guida internazionali è possibile delineare gli scenari del cantiere all'interno di un Ospedale o di un suo Reparto, in riferimento alle Ristrutturazioni, senza la sospensione delle attività sanitarie, ed alla Organizzazione delle Emergenze.*

### 5. CONCLUSIONI

*Questa ricerca si propone di definire un Modello Integrato di simulazione che possa permettere un costante abbattimento dei rischi, dei costi, degli errori di progettazione e dell'impatto in ambito ospedaliero. Tale modello simulativo, supportando i professionisti di entrambi i settori, ospedaliero ed edile, nella scelta delle migliori soluzioni organizzative e progettuali, si prefigge un duplice obiettivo, da una parte essere uno strumento di supporto per i progettisti nel prevedere le misure da dover attuare per attivare un cantiere ospedaliero, dall'altra uno strumento di previsione delle ricadute nella gestione delle attività, quotidiane e/o di emergenza, per coloro che devono gestire il reparto o l'ospedale.*