



SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE, ECONOMIA CIRCOLARE E PRODUZIONE EDILIZIA.

La ricerca scientifica nel Settore delle Costruzioni nell'era delle nuove sfide ambientali e digitali.

ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY, CIRCULAR ECONOMY AND BUILDING PRODUCTION.

The scientific research in the Construction Industry in the age of new environmental and digital challenges.





SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE, ECONOMIA CIRCOLARE E PRODUZIONE EDILIZIA.

La ricerca scientifica nel Settore delle Costruzioni nell'era delle nuove sfide ambientali e digitali.

ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY, CIRCULAR ECONOMY AND BUILDING PRODUCTION.

The scientific research in the Construction Industry in the age of new environmental and digital challenges.

A cura di

Giuseppe Alaimo

Pietro Capone

Angelo Ciribini

Bruno Daniotti

Guido R. Dell'Osso

Maurizio Nicolella



ISBN 978-88-916-1222-9

© Copyright 2015 by Maggioli S.p.A.

È vietata la riproduzione, anche parziale, con qualsiasi mezzo effettuata,
anche ad uso interno e didattico, non autorizzata.

**Maggioli Editore è un marchio di Maggioli S.p.A.
Azienda con sistema qualità certificato ISO 9001:2008**

*47822 Santarcangelo di Romagna (RN) • Via del Carpino, 8
Tel. 0541/628111 • Fax 0541/622595*

www.maggiolieditore.it

e-mail: clienti.editore@maggioli.it

Diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento,
totale o parziale con qualsiasi mezzo sono riservati per tutti i Paesi.
L'editore rimane a disposizione degli aventi diritto per eventuali fonti iconografiche non identificate

Il catalogo completo è disponibile su www.maggioli.it area università

Finito di stampare nel mese di settembre 2015
Da Digital Print Service s.r.l. – Segrate (Milano)



SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE, ECONOMIA CIRCOLARE E PRODUZIONE EDILIZIA.

La ricerca scientifica nel Settore delle Costruzioni nell'era delle nuove sfide ambientali e digitali
ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY, CIRCULAR ECONOMY AND BUILDING PRODUCTION.

The scientific research in the Construction Industry in the age of new environmental and digital challenges

Building Information Management

1. <i>Il BIM per la gestione di una gara con il criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa,</i> G. M. Di Giuda, V. Villa, L. Loreti.....	9
2. <i>Modellazione BIM del patrimonio scolastico esistente per la pianificazione degli investimenti,</i> G. M. Di Giuda, V. Villa, F. Paleari, M. Schievano.....	29
3. <i>Modellazione efficace degli edifici a supporto dei Contratti di Prestazione Energetica,</i> S. Marinelli, S. Ruffini, A. Giretti, M. Lemma.....	49
4. <i>Field BIM per la Gestione Ambientale del Cantiere: un Caso di Studio,</i> A. Ciribini, G. Caratozzolo, S. Mastrolempo Ventura, M. Paneroni, M. Bolpagni.....	64
5. <i>La nuova UNI 11337: gestione digitale del processo delle costruzioni,</i> A. Pavan.....	84
6. <i>Modelli di conoscenza e di simulazione per l'intervento impiantistico sul patrimonio storico,</i> D. Simeone, S. Cursi, G. Carrara.....	104

La fase di programmazione pre-progettuale del processo edile; La formalizzazione dei modelli per la progettazione e la costruzione

1. <i>360° Energy BIM as a device,</i> B. Angi.....	113
2. <i>Implementazione di un processo BIM-based per la gestione sostenibile di un cantiere edile: la realizzazione di modelli BIM a supporto della fase costruttiva,</i> G. Caratozzolo, M. Bolpagni, S. Mastrolempo Ventura, M. Paneroni, A. Ciribini.....	131
3. <i>Un Modello Integrato di simulazione per la progettazione di un cantiere ospedaliero a basso impatto,</i> U. Maria Coraglia, D. Simeone.....	147
4. <i>Costruibilità e sicurezza: un approccio per la gestione della sicurezza nelle fasi costruttive critiche,</i> T. Giusti, V. Getuli, P. Capone.....	163
5. <i>Schermature solari tensemagrale responsive,</i> A. Pizzigoni, G. Ruscica.....	181

Sustainability

1. <i>Caratterizzazione prestazionale del calcestruzzo sottoposto ad incendio in un'ottica di sostenibilità</i> , M. Nicolella, C. Scognamillo.....	193
2. <i>La sostenibilità economica ed ambientale nella scelta dei materiali per migliorare le prestazioni dell'edilizia esistente</i> , S. Pennisi.....	213
3. <i>I rivestimenti marmorei nelle facciate del dopo guerra: dall'analisi tecnologica alla riqualificazione</i> , S. Bertorotta, S. Pennisi.....	230
4. <i>Produzione edilizia in continuità con il territorio</i> , M. Toni.....	250
5. <i>L'interattività per la riqualificazione ambientale e la valorizzazione del paesaggio</i> , M. Di Marzo, D. Forenza.....	270

Energy; Automation in construction

1. <i>Analisi di fattibilità sulla riqualificazione energetica di ospedali e poliambulatori</i> , M. Lemma, P. Principi, R. Fioretti, A. Carbonari.....	278
2. <i>Attendibilità delle prestazioni energetiche di diversi modelli BIM e BEM</i> , E. De Angelis, F. Re Cecconi, L. C. Tagliabue, S. Maltese, G. Pansa, A. Torricelli, S. Valaguss.....	296
3. <i>Stimare i consumi elettrici di cantiere. Identificazione del load factor delle gru a torre</i> , B. Bossi, M. Cassano, M. L. Trani.....	315
4. <i>Sostenibilità ambientale degli interventi di retrofit energetico</i> , R. Caponetto.....	331
5. <i>Retrofit attraverso Pannelli Prefabbricati: lo Stato dell'Arte</i> , E. Seghezzi, G. Masera.....	349
6. <i>La gestione dei carichi termici estivi mediante sistemi di Building Automation</i> , G.R. Dell'Osso, F. Iannone, A. Pierucci , A. Rinaldi, S. Vacca.....	367

Building performance engineering

1. <i>Modelli di ordine ridotto per il controllo e la gestione degli edifici</i> , B. Naticchia, M. Benedettelli, A. Carbonari, M. Vaccarini.....	387
2. <i>Prospettive nell'invecchiamento accelerato dei materiali e componenti edili</i> , R. Paolini.....	410
3. <i>Proprietà ottico e radiative dei tessuti per strutture leggere temporanee: valutazione delle prestazioni e decadimento nel tempo</i> , R. Paolini , A. G. Mainini , T. Poli , A. Speroni, A. Zani	429
4. <i>Workflow di interoperabilità verso la gestione energetica dell'edificio</i> , A. Ciribini, E. De Angelis, L.C. Tagliabue, M. Paneroni, S. Mastrolembro Ventura, G. Caratozzolo.....	443
5. <i>Il performance based building design attraverso la modellazione informativa energetica (BEM)</i> , C. Zanchetta, R. Paparella, C. Cecchini.....	462



**Il project construction management ed i sistemi integrati di gestione;
La gestione del ciclo di vita nelle costruzioni**

1. <i>I compiti del coordinatore per la sicurezza in rapporto allo standard del Project Management Body of Knowledge</i> , M. A. Bragadin, T. Giusti.....	482
2. <u><i>Geometria Qualitativa nel "BIM World". Generazione della Location Breakdown Structure per un processo di costruzione sostenibile</i></u> , A. Fioravanti, G. Novembri, F. Rossini.....	502
3. <i>Life cycle assessment di pitture commerciali</i> , G. Alaimo, D. Enea.....	522
4. <i>L'analisi dei costi nel ciclo di vita in supporto alla gestione di un'infrastruttura</i> , E. Fossi, M. A. Esposito.....	542
5. <i>Il management del flusso informativo delle costruzioni mediante valutazioni LCA</i> , A. Pierucci , G.R . Dell'Osso, C. Cavalliere	553
6. <i>Strumenti a supporto delle scelte strategiche nella gestione dei patrimoni immobiliari</i> , F. Re Cecconi, M.C. Dejaco, S. Maltese.....	572



The Circular and Digital Paradigm Shifts: A Challenge

Angelo Luigi Camillo Ciribini

The Construction Industry is facing a couple of tremendous Change Paradigms dealing with the Circular and Digital Economy.

It means that some Key Drivers for Change, namely Collaboration and Life Cycle Management, would deeply affect, and may be disrupt, a lot of rooted identities, liabilities, products.

The intertwined interactions between the Environmental and the Digital Transitions elicit a sort of transformational process involving, *inter alia*, some crucial and influential agents:

- the relationship occurring amongst Building Information Modelling, Geographic Information Systems, Building Energy Modelling and Smart Cities;
- the leading and computational role and leadership of the Intelligent Client Organizations;
- the anticipated optioneered design options according to a probabilistic approach;
- the primacy of the Occupancy which causes the need for simulations of the users' behaviours as well as the Virtual Pre-Occupancy Evaluation;
- the improved awareness of the interfaces due to the Clash Detection and Model Checking because of the Duty To Warn;
- the attitude and availability of the Whole Supply Chain to be integrated;
- the central role of the Business Intelligence allowed by the Data-Driven Processes.

Therefore, the ultimate outcome of these phenomena could entail a huge and momentous broadening of the scope of the Construction Industry: Connected Buildings, Grids and Infrastructures, as well as Servitized Assets, should con-fuse, merge, the responsibilities and the products to be offered, provided that an unsiloed dialogue amongst disciplines does not hybridate the core contents but it does change the nature of the outputs.

Consequently, the Scientific Communities are forced to take into account the following issues;

- the way of realizing and understanding the ongoing interactions between Circular and Digital;
- the meanings of the Digitization and Digitilization of the Sustainable Built Environment;
- the extent of the gap occurring between the "unavoidabilities" of the (R)Evolutional Process and the "oppositins" stemming from the traditional mindsets.

This is the reason why IStEA has been focused upon such topics since several years. This is the reason why the IStEA Road Map will be more and more centred on the Collaborative and Integrated Approaches, which comprehend Business Models, Contractual Frameworks, Financial Rationales.

The main question to be answered concerns this issue, indeed: how the Traditional Stakeholders of the Construction Industry will cope with the Paradigm Changes and how they will deal with ICT Companies, Public Utilities, Financial Arrangers within the partenarial and relational frameworks?

Qualitative geometry in the "BIM World".

“Geometria Qualitativa nel “BIM World”. Generazione della Location Breakdown Structure per un processo di costruzione sostenibile.” ”

Antonio Fioravanti¹, Gabriele Novembri², Francesco Rossini³

^{1, 2, 3}Università degli Studi di Roma “La Sapienza”

¹antonio.fioravanti@uniroma1.it, ²gabriele.novembri@uniroma1.it:

³francesco.rossini@uniroma1.it(**)

Topic: il project construction management ed i sistemi integrati di gestione

Abstract

1. A prototype undergoing development in the CAAD Laboratory of “La Sapienza” Rome University that can be used in parallel with the development of a Location Based Management Model (LBM) based on Lean Construction principles.

Lean Construction principles and methods have long been applied in the construction sector although they have often led to waste and inefficiencies due almost exclusively to the purely “material” aspects of the construction site such as waste, overproduction, leftovers and the suboptimal use of materials. Inefficiencies and waste are however often due to the procedures followed in carrying out the work. Overproduction, waiting time, unsatisfactory allocation of resources, delay in supplies and operating conflicts can actually have a highly negative effect on process sustainability.

Location Based Management Techniques and tools have shown considerable effectiveness in tackling typical inefficiencies of production processes based on simple repetitive tasks. Nevertheless, also LBM is constrained by the limits typical of project management systems, the use of which is almost exclusively restricted to the final design phases, thus making it difficult to make choices based on the efficiency and sustainability of the construction process. The prototype under development is aimed at defining the LBM starting from a BIM model in the early stages of the design process, updating it dynamically according to the various design stages and to the designer’s choices. The solution adopted will take into account the effects they can have on the scheduling of the construction process.

The prototype under development is based on qualitative geometry. The information needed to define the LBM model actually depends on the overall dimensions of the objects involved, the BIM model topology, the work planned, its scheduling, the relative priority of execution and the spatial interference among the various works planned. The BIM model components will be automatically enhanced with the geometrical information referring to the space necessary for the working teams to identify conflicts and establish work priority.

The proposed prototype represents a new type of design support tool with potential for the creation of commercial software systems interacting with the more common BIM systems. It is planned to develop the system in such a way as to allow the worksite spaces and infrastructures required for the entire construction to be determined.

1.Introduzione

A partire dall'adozione del nuovo Codice dei Contratti e degli Appalti, l'attività di progettazione ha subito un processo di trasformazione che tende ad allargarne campo di azione alla maggior parte delle fasi del processo edilizio.

Il progetto comprende oggi un insieme di attività, complesse ed eterogenee, volte alla realizzazione di un processo produttivo di trasformazione, che da una serie di dati e obiettivi di partenza, conduce ad una soluzione progettuale in grado di guidare e controllare l'intera realizzazione di un'opera.

Molte aspettative sono state riposte a questo proposito nelle capacità che gli strumenti informatici di supporto alla progettazione hanno adombrato nel contrastare i fenomeni negativi tipici della produzione edilizia.

Gli strumenti di natura digitale oggi utilizzati con lo scopo di supportare il progettista nella gestione di progetti sempre più complessi costituiscono, di fatto, un vero e proprio sistema informativo. (Arbizzani, 2011)

Gli strumenti di supporto alla progettazione sono diventati sempre più sofisticati e fedeli nella rappresentazione della notevole mole di informazioni richiesta consentendo la definizione di un modello virtuale dell'edificio (*BIM*) sul quale simulare tutte le azioni e le scelte che determineranno le caratteristiche del progetto cantierabile. Fondato su una base scientifica sviluppata in più di venti anni di ricerca su un modello di dati generale per l'edilizia (Björk, B-C., 1989) (Eastman et al., 2008), il *BIM* utilizza le tecnologie dell'informazione per modellare e gestire i dati lungo tutto il ciclo di vita del manufatto (Lee, 2007)

1.Introduction

With the introduction of the new Building Code, design activity underwent a process of transformation that has increasingly had the effect of extending its scope to include the majority of the various construction process phases.

The project is extended to include a set of complex and heterogeneous activities aimed at ensuring a productive transformation process that, starting from a series of data and objectives, leads to a design solution that is able to guide and control the achievement of the entire work. Great expectations was placed in the capacity of IT design support tools have shown in overcoming the negative phenomena typical of construction work. The digital design support tools used today to manage increasingly complex projects actually represent a true IT.

(Arbizzani, 2011).

Available tools have become increasingly more sophisticated and reliable in representing the huge body of information that characterizes a building to the point of allowing the construction of a virtual model of the building (*BIM*) that can be used to simulate all the actions and choices that go to make up the characteristics of the construction site.

It is based on more than two decades of scientific research aimed at producing a general data model for building (Björk, B-C. 1989) (Eastman et al. 2008). It makes use of information technology to model and manage data over the entire lifetime of the building (Lee, 2007).

2. Stato dell'arte

Nella pratica corrente, vengono adottati strumenti di programmazione e di controllo della costruzione spesso molto semplici con la finalità di fornire una visualizzazione quanto più immediata possibile, generare un maggiore livello di comprensione reciproca, individuare velocemente le problematiche e possibilità di ottimizzazione del processo.

La programmazione viene svolta attraverso la redazione periodica programmi temporali, la definizione della qualità e numero delle risorse da impiegare basati principalmente sull'esperienza posseduta dagli attori in campo. (Kanapeckiene, Kaklauskas, Zavadskas, & Seniut, 2010).

L'esperienza mostra che, inevitabilmente, si rende necessario procedere a questo continuo ed estenuante lavoro di analisi dello stato di fatto e correzione delle previsioni effettuate.

L'elaborazione del programma, viene effettuata attraverso una scomposizione delle attività in sotto-attività progressivamente più semplici, definendo la *Work Breakdown Structure (WBS)*.

Il programma dei lavori correlato alla WBS del progetto viene normalmente gestito utilizzando strumenti software derivati dalle tecniche del *Program Review Evaluation Technique (PERT)* e del *Critical Path Method (CPM)*.

I risultati ottenuti vengono visualizzati attraverso diagrammi con l'obiettivo di visualizzare il percorso critico costituito dalla sequenza di attività che determinano la durata minima dell'intero processo.

Molto spesso gli operatori sono portati ad utilizzare tecniche ancora più semplici e dirette, come il *diagramma di Gantt* anche in considerazione del fatto che l'attuale normativa sui lavori pubblici lo individua

2. State of the art

In the current practice, operators often use very simple tools for construction activities programming and control with the aim to provide an immediate visualization in order to achieve a greater level of mutual understanding, quickly identify problems and process optimization opportunity.

Planning is carried out through periodic time schedules definition, number and quality of used resources calculation mainly based on the experience of the actors.

(Kanapeckiene, Kaklauskas, Zavadskas, & Seniut, 2010)

Experience has shown that, inevitably, it is necessary to proceed in this continuous and exhausting work of analysis of the status quo and correction of forecasts.

Planning is carried out Using an activities breakdown in progressively simpler sub-activities, defining the *Work Breakdown Structure (WBS)*

Work schedule related to the project WBS is normally handled using software tools derived from techniques based on *Program Evaluation Review Technique (PERT)* and *Critical Path Method (CPM)*

Results obtained are displayed through diagrams with the aim to show the critical path constituted by the sequence of activities that determine the minimum duration of the whole process.

Very often operators prefer to use more simple and direct techniques, as the Gantt diagram due the current public works regulations that identifies it as an essential document for the project completeness asking to the designer to elaborate a chart called "*cronoprogramma*".

Building code does not specify the tools that must be used to prepare the Gantt diagrams thus making perfectly equivalent

Qualitative geometry in the "BIM World"

come documento indispensabile per la completezza del progetto esecutivo richiedendo al tecnico l'elaborazione del grafico denominato *cronoprogramma*.

La norma non specifica le strumentazioni con le quali il diagramma deve essere redatto rendendo in tal modo perfettamente equivalenti diagrammi di *Gantt* utilizzati come rappresentazioni grafiche di elaborazioni basate sulle tecniche precedentemente descritte ovvero redatti "*manualmente*".

Benché quindi esistano tecniche che consentano ai progettisti la programmazione ed il controllo delle fasi costruttive, nella pratica comune si questa si riduce spesso a valutazioni sommarie ed inadeguate del processo di realizzazione che possono causare di sovrapproduzione, tempi di attesa, cattiva allocazione delle risorse, intempestività delle forniture e conflitti operativi che possono provocare elevato impatto negativo sulla sostenibilità del processo.

Questa tendenza è confermata da alcuni studi che hanno infatti evidenziato che sprechi e diseconomie non risiedono esclusivamente in aspetti prettamente "*fisici*" del cantiere quali la produzione di rifiuti, rimanenze di semilavorati inefficiente utilizzazione materiali quanto piuttosto dalle procedure adottate per la realizzazione delle opere.

I sistemi BIM hanno mostrato grandi potenzialità nell'attività progettuale e contribuiscono oggi, attraverso l'individuazione dei conflitti e delle incongruenze allo sviluppo di una progettazione sostenibile. Nel contempo, non hanno mostrato, allo stato attuale, grandi capacità nell'associare agli oggetti edili le modalità di esecuzione, le risorse da impiegare, i tempi da prevedere, le interferenze da gestire.

L'estensione del supporto che questi innovativi strumenti oggi forniscono alla

Gantt diagrams based used a graphical representations of calculations based on the described above techniques or "*manually*" defined charts.

Although therefore techniques exist allowing to the designers construction phases programming and control evaluation, in the common practice it is often reduced to a summary and inadequate assessments.

This situation of the implementation process that can cause overproduction, waiting time, misallocation of resources, inappropriate timing of deliveries and operational conflicts that can cause high negative impact on the sustainability of the process.

This situation can lead to overproduction, waiting time, misallocation of resources, inappropriate timing of deliveries and operational conflicts that can cause high negative impact on the sustainability of the whole process.

Several studies confirm this trend emphasizing that, in fact, waste and inefficiencies are not exclusively based on purely "*physical aspects*" of the construction site such as waste production, inventories of components and materials underutilization, but rather by the construction activities planning.

BIM systems use have shown great potential in the design activity contributing to a sustainable building design, through conflicts identification and inconsistencies. In the same time, they have not shown, at present, great ability to associate to building objects resources construction methods, resources required, execution time and interference to resolve

Extending the support that these innovative tools now provide in the building and architectural design to the project organizational model and to the construction activities to be carried out starting from the initials stages of design

Qualitative geometry in the "BIM World"

progettazione edilizia ed architettonica, alla gestione del modello organizzativo del progetto e delle attività da svolgere a partire dalle fasi iniziali della progettazione potrebbe consentire l'ottimizzazione dei tempi ed una scelta oculata delle tecniche di produzione in cantiere.

L'integrazione tra BIM e *construction management* difficilmente può tuttavia essere realizzata basandosi su tecniche derivate da PERT e CPM ma richiede la rappresentazione gestione e valutazione del comportamento delle squadre operative all'interno dell'area di cantiere, dello spazio disponibile per lo svolgimento delle lavorazioni previste e, infine, del numero e della tipologia delle risorse coinvolte.

Le tecniche basate sulla *Location-Based Management (LBM)* possono al contrario consentire lo sviluppo di questa nuova tipologia di sistemi.

3. LBM

L'applicazione delle tecniche derivate da *PERT* e *CPM* all'edilizia, presenta gravi limiti che discendono dalle finalità che ne hanno originariamente ispirato la realizzazione, da sempre finalizzate ad ottimizzare i tempi globali necessari alla realizzazione di un progetto mentre non sono in grado di tenere conto del rapporto tra attività e spazi disponibili.

Appare difficile, se non impossibile, ottimizzare il lavoro svolto dai *Work Teams* garantendo continuità ed uso razionale delle risorse.

Nelle situazioni nelle quali si ripetono un elevato numero di attività semplici, l'uso di queste tecniche porta inoltre alla creazione di modelli estremamente complessi difficili da gestire vanificando spesso in tal modo i vantaggi ottenibili. (Reda, 1990)

La *Location-Based Management (LBM)* è una metodologia alternativa alle tecniche

could allow the optimization of time and the appropriate choice of production techniques in the construction site.

BIM and *construction management tools* integration however can be hardly realized, relying on techniques derived from PERT and CPM

It requires conversely the explicit representation management and evaluation of the working teams behavior in the construction site, the space available for the execution of the work to be carried out, and, finally, the number and the type of the resources involved.

Techniques based on *Location-Based Management (LBM)* may, on the contrary, allow the development of this new type of systems.

3. LBM

The application of techniques derived from *PERT* and *CPM* to construction work is marked by serious limitations deriving from the original aims of these techniques used from the outset but which are not capable of taking into account the relationship between activities and available space.

It would appear difficult if not actually impossible to optimize the efforts of the *Work Teams* by guaranteeing the continuity and rational use of resources.

In situations in which a considerable number of simple activities are repeated, the use of the above techniques would also lead to the creation of extremely complex *PERT* charts that would be extremely hard to manage and thus often nullify any possible advantages (Reda, 1990).

Location-Based Management (LBM) is a method that is alternative to *PERT* and

Qualitative geometry in the "BIM World"

PERT e CPM che ne supera gran parte dei limiti. Le basi teoriche della LBM sono dovute a *Karol Adamiecki* che nel 1931 pubblicò un famoso articolo nel quale presentava un diagramma di propria invenzione denominato *harmonogram*. (Russell Kenley, 2009)

CPM techniques and largely overcomes their limitations.

The theories underlying LBM are due to *Karol Adamiecki* who in 1931 published a widely circulated article describing a new work programming and management method based on a diagram he invented which he called a *harmonogram* (Russell Kenley, 2009).

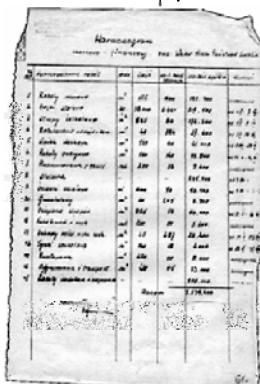


Figura 1: Harmonogram

La LBM, al contrario delle tecniche tradizionali, è basata sul tracciamento della continuità del lavoro delle *Work Teams* in relazione alle fasi costruttive.

(Russell Kenley, 2009)

La LBM è finalizzata alla corretta individuazione delle risorse, degli spazi nei quali queste operano ed alla eliminazione dei tempi morti che possono talvolta rendere il processo edilizio estremamente inefficiente (*Wasted-Time*) provocando fenomeni di sovrapproduzione, tempi di attesa, cattiva allocazione delle risorse, intempestività delle forniture e conflitti operativi che possono essere causa di gravi ripercussioni sulla sostenibilità del processo. (Koskela, 1992)

Nata come metodologia per gestire caratterizzati da attività ripetitive, la *LBM* (Harris, R.B. and Ioannou, P.G., 1998) prevede delle lavorazioni (*Task*) che compongono l'insieme delle fasi (*Activities*) che si svolgono in un

Unlike traditional techniques, LBM involves tracing the continuity of the efforts of the *Work Teams* as a function of the construction phases (Russell Kenley, 2009).

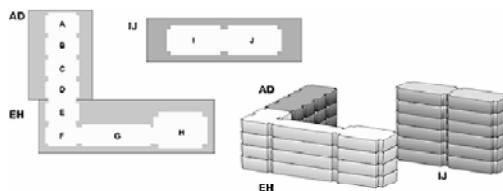
LBM aims to achieve a correct identification of resources, of the spaces in which they operate and the elimination of the wasted time which often makes the building process extremely inefficient and often leads to overproduction, waiting time, resource misallocation, inappropriate timing of deliveries and conflicts that can have a serious impact on the sustainability of the process (Koskela, 1992).

Designed as a methodology to handle repetitive activities, LBM (Harris and Ioannou, 1998) is based on *Tasks* that comprise the *Activities* that take place in a given work environment using a predefined number of human resources.

The project is arranged hierarchically in a

Qualitative geometry in the "BIM World"

determinato ambito lavorativo impegnando un numero prestabilito di risorse umane. Il progetto viene organizzato gerarchicamente in una struttura analoga alla chiamata *Location Based Structure* (LBS) basata su *Locations* attraverso le quali lo svolgimento delle opere può essere pianificato, analizzato e controllato mentre le attività "attraversano" le *Locations*. La LBS ha una struttura gerarchica. I livelli gerarchicamente più elevati sono costituiti generalmente da elementi la cui realizzazione può essere effettuata indipendentemente dagli altri. I livelli intermedi sono normalmente costituiti da elementi che vengono realizzati in sequenza indipendentemente dalla dimensione e possono essere di conseguenza trattati come unità. I livelli inferiori della gerarchia rappresentano elementi nei quali non più di una squadra può operare in base alle caratteristiche fisiche degli spazi.



structure similar to the *WBS*, but based on *Locations* by means of which the work can be planned, analyzed and controlled as the activities "pass through" the *Locations*.

LBS has a hierarchical structure.

The higher levels generally comprise elements that can be carried out independently of each other.

The intermediate levels are normally made up of elements that are carried out in sequence regardless of the size, and may therefore be treated as a single unit. The lower levels of the hierarchy represent elements in which not more than one team can operate owing to the physical characteristics of the spaces.

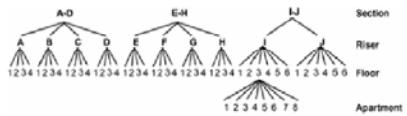


Figure 2: LBS structure

La creazione della *LBS* costituisce, come nel caso della *WBS*, un compito impegnativo che viene assolto nella pratica solo quando il progetto è stato ultimato o si trova in uno stato molto avanzato di sviluppo.

In tal modo, difficilmente le scelte progettuali possono tenere conto, soprattutto nelle fasi iniziali, dei tempi di esecuzione delle opere.

Modalità realizzative e programmazione delle fasi della costruzione rappresentano molto spesso uno studio effettuato a posteriori quando le possibilità di incidere

LBS creation, as in the case of *WBS*, is a challenging task that is achieved in practice only when the project has been completed or is in a very advanced state of development.

In this way, design choices are unlikely to take work execution time into account, especially in the early stages of the design process.

Construction methods and programming often represent an a posteriori analysis when the chances of influencing design choices and the possibility of reducing *Wasted-Time* appear to be smaller.

Qualitative geometry in the "BIM World"

sulle scelte progettuali appaiono quanto mai ridotte e, con esse la possibilità di incidere sul *Wasted-Time*.

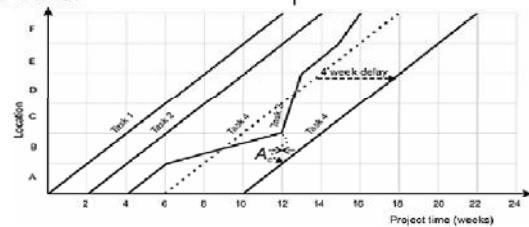


Figure 3: LBM Flowline

4. Il sistema proposto

I sistemi *BIM* hanno dato grande enfasi e riportato l'attenzione sull'importanza di prevedere, fin dalle prime fasi della progettazione, le modalità di realizzazione delle opere e l'individuazione e risoluzione dei conflitti. Non è un caso che le maggiori utilizzatrici dei sistemi *BIM* siano proprio le ditte esecutrici.

Appare oggi possibile, basandosi su questo tipo di tecniche, ipotizzare la realizzazione di un sistema in grado di ricavare e tenere dinamicamente aggiornata la *Location Based Structure* del progetto, mentre viene sviluppata la l'attività progettuale. Il progettista potrà in tal modo essere edotto dei tempi di realizzazione e del *Wasted-Time* connessi con le scelte progettuali operate.

Il sistema in corso di realizzazione presso il laboratorio KAAD dell'Università di Roma "La Sapienza", denominato *ASBIM (Agent Swarm Building Information Modelling)*, è pensato per interagire con un sistema tipo *BIM* per la definizione ed il continuo aggiornamento della *LBS* del progetto. *ASBIM* è costituito da due componenti strettamente connesse tra di loro: la *Wrap Knowledge Base (WKB)*, un sistema di *Agenti (Agent Swarm)* entrambe collegate al "Mondo BIM" tramite le *API (Advanced Programming Interface)* rese disponibili da

4.The proposed system

BIM systems have placed great emphasis and focused attention on the importance of predicting construction methods and of identifying and solving conflicts right from the early design stages.

It is no coincidence that the heaviest users of *BIM* systems are actually the contractors.

It seems possible today that by adopting techniques of this kind to envisage the creation of a system that can dynamically define and progressively update the project's *Location Based Structure*.

The designer can thus be constantly informed of the timing and the *Wasted-Time* associated with the design choices.

The system under development at the KAAD laboratory of "La Sapienza" University of Rome, known as *ASBIM (Agent Swarm Building Information Modeling)*, is designed to interact with a *BIM* type system in the definition and the continuous updating of the project *LBS*. *ASBIM* consists of two components closely linked to each other: the *Wrap Knowledge Base (WKB)*, and a set of agents (*Agent Swarm*), both connected to the "BIM World" via the *API (Advanced Programming Interface)* made available by such systems.

Qualitative geometry in the "BIM World"

questo tipo di sistemi.

La WKB è una base di conoscenza che integra le informazioni presenti nella base dati del sistema BIM con le informazioni ed i metodi necessari alla definizione della LBS. Svolge funzioni di interfaccia tra il sistema di agenti e le *API* (*Application Programming Interface*) offerte dal sistema BIM considerato.

Gli agenti che fanno parte del sistema *Agent Based*, operano sulla WKB reagendo agli eventi generati dal sistema BIM a seguito di modifiche della base dati connesse con le scelte operate dal progettista modificandone a loro volta i contenuti.

Rappresenta una evoluzione della *Knowledge Base* del sistema *KAAD* sviluppato presso il laboratorio *CAAD* dell'università di Roma "Sapienza" (Carrara, Kalay, & Novembri, 1994). La WKB è costituita da una nuova e diversa implementazione nell'ambiente .Net utilizzando il Linguaggio C#. La WKB è realizzata utilizzando il noto formalismo delle *Fames*. (Minsky, 1975)

Prototipi ed instances sono rappresentati tramite classi nell'ambito del linguaggio C#. Le instances della WKB sono collegate agli oggetti presenti nel "BIM World" attraverso il loro *Unique_ID*. (Autodesk, 2014)

I prototipi della WKB corrispondono alle famiglie presenti nel "BIM World". Prototipi ed instances presenti nella WKB svolgono anche una funzione di *Cache Memory* nei riguardi degli accessi al *BIM World*. Quando è richiesto un accesso ad un dato presente nel *BIM World* questo viene duplicato all'interno dell'oggetto della WKB. Accessi multipli allo stesso dato non richiedono in tal modo l'interazione continua con il sistema *BIM*. In caso di modifica di un oggetto il sistema provvederà ad effettuare un refresh dei dati contenuti all'interno dell'oggetto modificato

The *WKB* is a knowledge base that combines the information contained in the BIM database with the information and methods needed to define the LBS. The *WKB* acts as an interface between the agent module and the *API* (*Application Programming Interface*) provided by the BIM system considered.

The agents that are part of the *Agent Based System* act on the *WKB* by reacting to events generated by the *BIM* system as a result of modifications in the database associated with the choices made by the designer, in turn modifying the *BIM* database content as required.

The *WKB* represents an evolution of the Knowledge Base of the *KAAD* system developed at the CAAD Lab of the "La Sapienza" University of Rome (Carrara, Kalay, & Novembri, 1994).

It consists of a new and different implementation in .Net environment using C# language based on the well-known Fames formalism. (Minsky, 1975)

Prototypes and instances are represented by means of classes in the C# language environment. The *WKB* instances are linked to the objects in the "BIM World" through their *Unique_ID*. (Autodesk, 2014).

The *WKB* prototypes correspond to the "BIM World" families. WKB prototypes and instances also act as *Cache Memory* for the purpose of accessing the BIM world.

When access to *BIM World* data is required, these are duplicated in the *WKB* object. Multiple accesses to the same data do not therefore require continuous interaction with the BIM system.

In the case of object modification, the system will refresh data contained in the *WKB* object involved in order to avoid inconsistency within the system.

The *WKB/BIM* interaction is guaranteed by the features offered by the *API* of the system adopted.

Qualitative geometry in the "BIM World"

in modo che non possano verificare situazioni di incoerenza all'interno del sistema.

L'interazione tra la *WKB* ed il sistema *BIM* utilizzato, viene garantita dalle modalità di funzionamento delle *API* che questo tipo di sistemi mettono a disposizione.

Il prototipo attualmente in corso di realizzazione è basato sul sistema *REVIT* che mette a disposizione un ambiente di sviluppo .NET.

In questo ambiente le applicazioni esterne possono sottoscrivere degli "*Eventi*" ed effettuare delle transazioni sulla base dati del sistema in modo asincrono.

Le modalità di interazione variano tuttavia in funzione della tipologia di interazione. Qualunque richiesta effettuata verso il sistema software esterno attraverso l'interfaccia del sistema *BIM* viene inoltrata immediatamente verso il l'esterno ed il sistema resta in attesa del suo completamento. In questo caso viene instaurata una modalità di interazione *Sincrona*.

Nel caso contrario, quando il sistema software esterno ha necessità di interagire con il Mondo *BIM* inoltra una richiesta che verrà accodata ai comandi dell'utilizzatore, quando possibile il controllo verrà passato al sistema esterno che potrà eseguire le proprie transazioni sul *BIM World*.

In this environment, external applications can subscribe to "*Events*" and asynchronously perform transactions on the system database.

However, the interaction mode varies as a function of the type of interaction. Any request made via the *BIM* interface is immediately forwarded to the external system software and the *BIM* system awaits the completion of the task.

In this case, a *Synchronous* mode of interaction is established.

Otherwise, when the external software system needs to interact with the *World*, *BIM* makes a request that will be appended to the user's commands.

Whenever possible, control will be passed on to the external system which can perform the required transactions on *BIM World*.

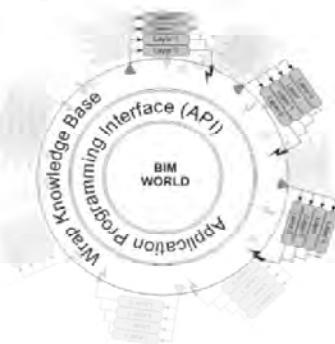


figure 4: System Structure

5.ABMS

Un Modello di simulazione basato su agenti è composto da un insieme di agenti che interagiscono tra di loro.

In questo approccio La simulazione di un sistema complesso non richiede la conoscenza e l'esatta formalizzazione della struttura dell'intero sistema ma richiede l'esatta definizione del comportamento degli Agenti che lo costituiscono.

Un agente è normalmente dotato di un repertorio di possibili azioni che può intraprendere in funzione di alcune condizioni di attivazione.

L'obiettivo primario degli Agenti è il raggiungimento del obiettivo prefissato anche se gli agenti operano nell'interesse di un utente. Il comportamento del sistema complessivo deriva dal comportamento e l'interazione della comunità di Agenti (*Agency*).

I sistemi Multiagent differiscono dalla programmazione *Object Oriented (OO)* e dai sistemi software distribuiti o concorrenti. I sistemi *OO* sono normalmente definiti in termini dei metodi e attributi posseduti dagli oggetti laddove un agente è invece definito in termini del comportamento che questo può assumere.

I sistemi software distribuiti o concorrenti sono a loro volta caratterizzati da protocolli di sincronizzazione e coordinamento prestabiliti laddove nei sistemi Multiagent l'interazione tra gli agenti viene stabilita nel corso della simulazione.

A dispetto del crescente interesse che i sistemi di simulazione basati sugli agenti suscitano, non esiste una definizione universalmente accettata del termine *Agente* e, ancora oggi, esiste un acceso dibattito a questo riguardo.

Le caratteristiche che un agente deve

5.ABMS

An Agent Based Simulation Model is made up of a set of agents that interact with each other.

In this approach the simulation of a complex system does not require the knowledge or correct formalization of the entire system but requires only an exact definition of the agents' behavior.

An agent is normally equipped with a repertoire of possible actions that can be undertaken as a function of some conditions of activation.

The primary goal of the agents is to achieve the set objective even though agents operate in the interests of a user. The behavior of the system as a whole derives from the behavior and interaction of the community agents (*Agency*).

Multiagent systems differ from *Object Oriented (OO) programming* and distributed or concurrent software systems. The *OO* systems are usually defined in terms of the methods and attributes possessed by the objects whereas an agent is instead defined in terms of the behavior that this can express.

The distributed software or competitive systems are themselves characterized by pre-set synchronization and coordination protocols whereas in multiagent systems the interaction between agents is established during the simulation.

Despite the growing interest in agent-based simulation systems, there is no universally accepted definition of the term *Agent* and, even today, a heated debate rages on this issue.

The characteristics that an agent must have are however sufficiently widely shared. The term *agent* is normally used to refer to *an abstraction, an idea or a concept that*

possedere per essere identificato come tale sono tuttavia sufficientemente condivise. Con il termine agente viene normalmente indicata *una astrazione, una idea o un concetto che possono rappresentare un qualsiasi elemento di un sistema complesso chiaramente identificabile*.

Gli agenti sono capaci di un comportamento autonomo (*Autonomous Action*) e sono in grado di decidere autonomamente le azioni più opportune al fine di soddisfare gli obiettivi per i quali sono stati progettati.

Hanno capacità cooperare con gli altri agenti al fine del raggiungimento dei propri obiettivi. (Van der Hoek & Wooldridge, 2008) e sono collocati in un contesto.

Un Agente non ha tuttavia il completo controllo dell'ambiente nel quale è collocato ma può influenzarlo. La stessa azione attivata due volte in condizioni apparentemente identiche può fornire risultati diversi o fallire. Nei sistemi basati si Agenti deve essere presa in considerazione l'eventualità del fallimento. (Wooldridge, 2009)

Sono state proposte diverse tipologie di Agenti finalizzate ad ottenere livelli di autonomia ed interazione variabili in un ampio spettro.

L'Agente viene dotato a tal fine di un repertorio di possibili azioni e di una funzione di utilità che consente di valutare la performance delle azioni intraprese nei riguardi di un obiettivo. La funzione di utilità stabilisce quanto "*buono è uno stato*" (Wooldridge, 2009)

Un obiettivo può essere rappresentato dal raggiungimento di un determinato valore o il mantenimento di uno stato nel quale l'Agente si trova. Ad un agente può essere tuttavia delegato contemporaneamente il raggiungimento di un determinato obiettivo ed il suo mantenimento una volta raggiunto. Nel primo caso il comportamento dell'agente può essere

can represent any element whatever of a clearly identifiable complex system.

Agents are capable of autonomous behavior (*Autonomous Action*) and are autonomously able to decide on the most appropriate action to achieve the objectives for which they were designed.

Agents have the ability to cooperate with other agents in order to achieve their goals (Van der Hoek & Wooldridge, 2008) and are situated in a context.

An agent does not however have full control over the environment in which it is situated but can influence it.

The same action activated twice in apparently identical conditions can produce completely different results or even fail. Agent-based systems must allow that failure can be a possibility (Wooldridge, 2009).

Different typologies of agents have been proposed for the purpose of obtaining levels of autonomy and interaction that can vary over a wide spectrum.

For this purpose the Agent is equipped with a repertoire of possible actions and with a *utility function* that allows the performance of the actions taken to be assessed with respect to a goal. The utility function establishes "*how good a state is*" (Wooldridge, 2009).

An objective can be represented by the achievement of a given value or the preservation of a state of the agent. An agent may however be delegated simultaneously to achieve a given goal and to maintain it after it has been achieved. In the first case the agent behaviour can be considered *Proactive*, in the second *Conservative* (Wooldridge, 2009).

Agent behavior may be purely *Reactive* in the sense that the reaction to stimuli from the environment takes place without any particular reasoning, or else purely *Deliberative* when the reaction is the result of a complex reasoning process.

Qualitative geometry in the "BIM World"

considerato di tipo *Proattivo*, nel secondo caso *Conservativo*. (Wooldridge, 2009) Il comportamento di un Agente può essere puramente *Reactive* nel senso che la reazione a stimoli provenienti dal contesto avviene senza particolari ragionamenti ovvero puramente *Deliberative* quando la reazione è il frutto di un ragionamento complesso. Una delle architetture oggi ritenute più promettenti è rappresentata dagli *Hybrid Agents* progettati per esibire un comportamento intermedio rispetto ai due estremi. Gli *Hybrid Agents* sono basati sulla "*Subsumption Architecture*" (Brooks, & others, 1986). La *Subsumption Architecture* è basata su più livelli. I livelli inferiori sono puramente "*reattivi*" e reagiscono automaticamente agli input che derivano dall'esterno. I livelli superiori che sono più "*proattivi*" con il crescere del livello gerarchico possono inibire i livelli inferiori.

Hybrid Agents designed to produce behavior intermediate between the two extremes represent one of the most promising architectures today.

Hybrid Agents are based on "*Subsumption Architecture*" (Brooks, et al., 1986).

Subsumption Architecture comprises several levels.

The lower levels are purely "*reactive*" and react automatically to input from the exterior.

The higher levels, which are more "*proactive*" with increasing hierarchical level, can inhibit the lower.

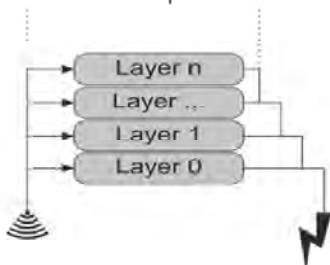


Figure 5: Agent Hybrid Structure

La *Subsumption Architecture* si basa sulla constatazione che un comportamento intelligente non richiede necessariamente una esplicita rappresentazione simbolica del contesto e di ragionamenti astratti ma emerge nell'ambito dello stesso sistema. (Brooks, 1991) Gli Agenti verranno utilizzati per simulare le Attività Elementari (*Elementary Activities*- EA). Vengono considerate attività elementari quelle lavorazioni univocamente individuabili e logicamente distinte per le quali, ai fini della programmazione delle

The "*Subsumption Architecture*" is based on the assumption that intelligent behavior does not necessarily require an explicit symbolic representation of the context and abstract reasoning but emerges from the system itself. (Brooks, 1991).

Agents are used to simulate *Elementary Activities* (EA).

Elementary Activities, in the meaning of the term used in this context, represent a project breakdown as defined using prescribed WBS criteria. *Elementary activities* are defined as univocally

Qualitative geometry in the "BIM World"

opere, non si rende necessario procedere ad ulteriori scomposizioni.

Le attività elementari possono essere quindi costituite da semplici lavorazioni fino a comprendere la elementi complessi preassemblati o prefabbricati considerati, ai fini della programmazione delle opere come singola unità.

Le *AE* vengono individuate, in modo analogo alla *WBS*, secondo la nota regola del 100%. La scomposizione effettuata deve comprendere il 100% del lavoro previsto in progetto. La regola del 100% si applica a tutti i livelli della gerarchia. Occorre garantire inoltre che la somma del lavoro dei livelli inferiori corrisponda sempre al 100% del lavoro del livello superiore.

Verrà stabilita una corrispondenza dinamica tra oggetti parametrici Presenti nel "*BIM World*" ed gli agenti del sistema. Alcuni elementi saranno rappresentati da una singola *AE* (infissi, generic wall, generic slab). Qualora l'oggetto preveda ulteriori stratificazioni o sub componenti le informazioni necessarie alla individuazione delle *AE* saranno completate dalla *WKB*.

Questo approccio consente di definire Le *AE* dinamicamente in funzione delle livello di dettaglio fornito dal progettista ed in funzione delle diverse fasi di sviluppo del progetto.

Il modulo Multiagente provvederà a specificare ulteriormente la *LBS* basandosi sulle informazioni contenute nella *WKB*.

La norma *UNI 10756:1998* definisce le informazioni necessarie alla esecuzione in opera delle *AE* che verranno utilizzate per la definizione della struttura e del comportamento degli *Agenti* del sistema.

Per ciascuna *EA* può essere definito un *Piano Operativo di Costruzione (POC)*. Un *POC* viene definito come "*l'insieme strutturato di indicazioni e prescrizioni per i procedimenti elementari di formazione in opera e/o di montaggio degli elementi*

identifiable and logically distinct work which, for the purpose of work programming, do not need to be further broken down.

Elementary activities may thus comprise both simple work operations and complex preassembled or prefabricated elements considered as single units for the purpose of work programming.

Elementary activities may thus comprise both simple work operations and complex preassembled or prefabricated elements considered as single units for the purpose of work programming.

As in the case of the *WBS*, *Elementary Activities* are identified, using the well-known 100% rule.

The *WBS* must cover 100% of the programmed work. The 100% rule applies to all hierarchical levels. It is also necessary to ensure that the sum total of the work of the lower levels always corresponds to 100% of the upper level work.

A dynamic correspondence will be established between parametric objects present in the "*BIM World*" and the system agents. Some elements will be represented by a single *Elementary Activity* (doors and windows, generic wall, generic slab). Should the object involve further stratifications or sub-components, the information needed to identify the Elementary Activities will be completed by the *WKB*. If the object provides additional layers or sub-components, the information needed for *EA* definition of will be completed by the *WKB*.

The *UNI 10756:1998* standard defines the information required in the execution of the *Elementary Activities* which will be used to define the structure and behavior of the system *Agents*.

For each *EA* a *Construction Operating Plan (COP)* can be defined. A *COP* is defined as "*the structured set of indications*

Qualitative geometry in the "BIM World

costruttivi, espresse in condizioni di integrazione e coerenza con il progetto funzionale spaziale e tecnologico dell'intervento edilizio e nel rispetto delle prescrizioni per la sicurezza previste dalla legge". (UNI Ente Italiano di Normazione, 1998)

Ad ogni POC corrisponderà un *Agente* del modulo multiagente.

POC → Agente

Il *Progetto Operativo (PO)* è a sua volta costituito dall'insieme dei *Piani Operativi di Costruzione* e costituisce quindi una *Agenzia*.

PO → Agenzia

I *POC* sono organizzati in classi omogenee.

Nella pratica comune, gli operatori del settore organizzano oggetti edilizi e le lavorazioni in tassonomie utili ai fini della gestione del progetto e delle fasi di realizzazione. Capitolati speciali di appalto e listini prezzi costituiscono di fatto delle *Faceted Classifications* (CSI, 2014). L'uso di questo bagaglio di informazioni all'interno dei sistemi software di supporto alla progettazione è stato analizzato in molte esperienze di ricerca fino ad ipotizzare l'utilizzazione, a tale scopo delle *Ontologie*. (Fioravanti & Loffreda, 2009)

Per consentire al sistema di gestire le informazioni relative al progetto si rende necessario organizzarle in classi omogenee al fine di realizzare una semantica semplificata attraverso la quale le varie componenti del sistema (*BIM*, *WKB* e *ABMS*) possano dialogare e scambiare informazioni. Verrà adottata a tal fine una semantica semplificata basata sui prototipi della *WKB*

Ciascuno dei *POC* presenti nella *WKB* appartiene a due classi distinte.

La prima classe è costituita dall'insieme delle lavorazioni che concorrono a definire

*and prescriptions for elementary procedures for building elements in site construction and/or assembly, expressed in terms of integration and consistency with the functional, spatial and technological design of the building construction in compliance with the requirements for the safety provided by law." (Italian UNI Standards Body, 1998). To each *COP* corresponds an Agent of the System.*

COP → Agent

The Operational Design (OD) is in turn Construction Operating Plans of and therefore constitutes an Agency

OD → Agency

COPs are organized into homogeneous classes.

In everyday practice, field operators organize building objects and work taxonomies of use in project management and work scheduling. Contracting specifications and price lists represent actual *Faceted Classifications* (CSI, 2014). The utilization of this body of information within design support software systems has been analysed in numerous research experiments to the extent that the use of *Ontologies* (Fioravanti & Loffreda, 2009) has actually been postulated.

In order to enable the system to handle the information referring to the project it is necessary to organize it into homogeneous classes in order construct a simplified semantics by means of which the various components of the system (*BIM*, *WKB* and *ABMS*) can interact and exchange information. To this end a simplified semantics will be adopted based on *WKB* prototypes.

Each of the *COPs* present in the *WKB* belongs to two distinct classes. The first class is the set of processes which contribute to defining a given building

Qualitative geometry in the "BIM World"

un determinato oggetto. Ciascun oggetto presente nel *BIM World* sarà collegato ai *POC* che concorrono alla sua realizzazione che verranno definiti utilizzando le informazioni presenti all'interno del sistema *BIM* integrate dalle informazioni presenti nella *WKB*.

La seconda classe è definita dal prototipo che definisce la struttura e le caratteristiche del *POC*. Le attività elementari possono essere rappresentate in una base di conoscenza attraverso prototipi che individuano una classe di lavorazioni con le stesse caratteristiche e che possono essere considerate come "*instances*" di uno stesso prototipo di *POC*.

I prototipi dei *POC* sono ordinati temporalmente e costituiscono un insieme parzialmente ordinato. (Tomassini, 2008) La geometria del *BIM World* rappresenta la Topologia del modello ABMS nella quale gli agenti interagiscono. La Topologia assume un ruolo fondamentale nella definizione di un modello *ABMS* analogamente al comportamento dei singoli agenti. La collocazione degli agenti in uno spazio assume un ruolo fondamentale anche nel ridurre il numero degli agenti che interagiscono tra di loro limitandoli a quelli appartenenti ad un determinato intorno di ciascuno degli agenti.

Gli agenti saranno collocati nel "*BIM World*" costituito dal modello *BIM*. Il *BIM World* (*BW*) possiede le caratteristiche tipiche di una tipologia adatta allo sviluppo di un sistema multiagente.

Il *BW* è Accessibile dagli agenti, è *Deterministico* nel senso che qualsiasi cambiamento causato dagli agenti ha un risultato definito, è *Dinamico*, poiché si modifica nel tempo con velocità tale da consentire agli agenti di rilevare i cambiamenti che avvengono e reagire di conseguenza.

Le caratteristiche del *BW* sono "visibili" agli agenti attraverso le *API* messe a

object. Each object in the *BIM world* will be connected to the *COPs* that contribute to its construction, defined using the information in the *BIM system* supplemented by the information present in the *WKB*.

The second class is defined by the prototype that determines the structure and characteristics of the *COP*. The elementary activities can be represented in a knowledge base through prototypes which identify a class of processes having the same characteristics and which can be considered as "*instances*" of a same *COP* prototype. The *COP* prototypes can then be ordered in time and thus form a partially ordered set. (Tomassini, 2008).

The geometry of the *BIM World* represents the *Topology* of the *ABMS Model* in which the agents interact. Topology has a fundamental role in the definition of an *ABMS Model* comparable to the individual agents' behavior. The placement of the agents in a space plays a fundamental role in reducing the number of agents that interact with each other, limiting them to those belonging to a particular neighborhood of each agent.

The agents will be situated in the "*BIM World*" made up of the geometry as represented by the *BIM Model*.

The *BIM World* (*BW*) has the typical features of a typology suitable for multi-agent system development. It is *Deterministic* in the sense that any change caused by the agents has a well-defined result.

It is *Dynamic* in that it changes over time at a speed that allows the agents to detect any changes that occur and react accordingly.

The characteristics of the *BW* are "visible" to the agents through API provided by *BIM* and using the API agents may act on the context.

The characteristics of the *BW* are "visible" to the agents through the API provided by

Qualitative geometry in the "BIM World"

disposizione dal sistema *BIM* e sempre attraverso le *API* gli agenti potranno agire sul contesto.

6.Spatial qualitative Reasoning

La topologia del sistema è costituita dagli oggetti contenuti nel *BIM World* ai quali è sempre associata una *Bounding Box (BW)* che contiene tutti gli elementi che lo compongono.

Gli Agenti del sistema rappresentano le lavorazioni che debbono essere effettuate nella realtà per costruire gli oggetti presenti nel *BIM World* che richiedono degli spazi necessari al Working Team per svolgere la propria attività senza interazioni con altri *Working Teams* o altre limitazioni in termini di produttività. Lo spazio necessario Al *Working Team* operativa viene denominato *Crew Area* che corrisponde alla Location prevista nella *LBM*.

La *Crew Area* può essere definita come lo spazio libero da altre attività (Agenti) nel quale la *Working Team* può svolgere senza impedimenti la propria attività.

La *Crew Area* viene determinata sommando alla *Bounding Box (BW)* di ciascun elemento gli spazi necessari allo svolgimento dell'attività.

the BIM and, furthermore, again using the API, the agents may act on the context.

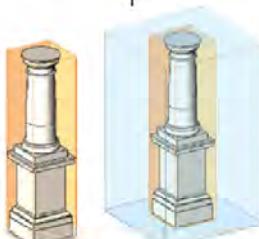
6.Spatial qualitative Reasoning

The topology of the system consists of contained in the *BIM World*, with which a *Bounding Box (BW)* is always associated composed of elements of which it is composed.

Agents of the system represent the *Tasks* to be carried out in actual reality to build the objects present in the *BIM world* that demand the space needed for the *Working Crew* to carry out its activities without any interaction with other *Working Crews* or other limitations in terms of productivity. The space required by the *Working Crew* is called the *Crew Area* that corresponds to the *Location* provided by the *LBM*.

The *Crew area* can be defined as the space free of other activities (*Agents*) in which the *Working Crew* can perform its own tasks without hindrance.

The Crew area is calculated by adding to the *Bounding Box (BW)* of each item the space necessary to perform the activity.



*Figura 6: Bounding Box
and Crew Area*

Ciascun Agente può risiedere solo all'interno di un *Place* libero e coerente con la tipologia dell'attività che l'Agente rappresenta. Può muoversi solo tra *Crew*

Each Agent can reside only within a free *Place* consistent with the type of activity that the agent represents. Each Agent can move only between free and consistent

Qualitative geometry in the "BIM World"

Areas libere e correnti. Può agire sul contesto modificando gli oggetti con le modalità e nei limiti concessi dall'*API* del sistema.

Quando un Agente opera su un elemento della costruzione occupa la sua *Crew Area* e, per gli altri Agenti del sistema, quell'elemento risulta occupato. Le *Crew Areas* si sovrappongono.

Possono verificarsi due casi. La sovrapposizione riguardi attività afferenti a tipologie di lavorazioni diverse che dipendono cioè da diversi prototipi (ad es *Walls* and *Slabs*) ovvero che la sovrapposizione riguardi elementi appartenenti alla stessa classe.

Nel primo caso la *Crew Area* sarà occupata dall'agente appartenente alla classe che ha maggiore priorità.

Nel secondo caso tutti gli agenti appartenenti alla stessa classe potrebbero, teoricamente, occupare tutte le *Crew Areas* disponibili. In questo caso entrano in gioco due distinte limitazioni.

Una prima limitazione è rappresentata dal valore del *Crew Neighborhood* che rappresenta il diametro di una circonferenza (una sfera nello spazio) che stabilisce la porzione di spazio all'interno della quale le *Crew Areas* non possono essere occupate da altri Agenti della stessa tipologia.

In tal modo vengono scongiurati conflitti tra gli agenti e si realizza il concetto di continuità lavorativa in quanto ciascun agente ha a disposizione più oggetti su cui lavorare con continuità senza interferenze con gli altri agenti.

Il *Crew Neighborhood* è collegato al livello di parallelismo con la quale l'attività verrà svolta. Un secondo limite è rappresentato dall'eventuale limitazione del numero dei *Teams* che il progettista potrebbe imporre per la realizzazione di determinate attività o per l'intera opera.

Variando dimensione del *Crew*

Crew Areas interacting with the environment by changing the objects according to the procedures and within the limits allowed by the API of the BIM system.

When an Agent is working on a building element it occupies its *Crew Area* and, for the other Agents of the system, that element is found to be busy.

he *Crew Areas* overlap.

Two different cases are possible. The overlapping is related to activities associated with different types of process that depend, that is, on different prototypes (e.g. Walls and Slabs) or else to items belonging to the same class.

In the first case, the crew area will be occupied by the agent belonging to the class that has a higher priority.

In the second case all the agents in the same class could theoretically occupy all available *Crew Areas*. In this case two distinct limitations are imposed.

A first limitation is represented by the value of the *Crew Neighborhood* which represents the diameter of a circumference (a sphere in space) that establishes a portion of the space within which the Crew Areas cannot be occupied by other agents of the same type.

Thus conflicts between agents are avoided and the concept of business continuity is implemented. A given number of objects are available to each agent to work on continuously without interference with other agents.

The Crew Neighborhood is thus connected to the degree of parallelism with which the task will be carried out.

A second limitation may be represented by the number of *Teams* that the designer could impose for certain activities or for the entire project.

By varying the size of the *Crew Neighborhood* and the *maximum number of Teams* the designer can perform a What if

Qualitative geometry in the "BIM World"

Neighborhood è numero massimo dei *Teams* il progettista può effettuare uno studio *What if* analizzando le *LBS* risultati in funzione della tipologia e conformazione dell'organismo edilizio, delle lavorazioni previste, dell'affollamento specificato e del numero di squadre ipotizzato.

Un *POC* ha, come agente del sistema, ha l'obiettivo di eseguire la procedura prevista nel più breve tempo possibile.

I tempi necessari alla esecuzione del piano possono essere tuttavia limitati dalla mancato rispetto delle condizioni che ne consentono l'attivazione e esecuzione con continuità. L'indisponibilità di materiali, strumenti ed attrezzi o la mancanza di *Places* liberi può infatti limitare l'efficienza con la quale il piano viene eseguito.

Quando un Agente resta in attesa d una qualsiasi delle condizioni che ne consentono l'attivazione o il mantenimento in attività incrementa il contatore di *Idle Time* che rappresenta il *Wasted Time*.

Le *Acceptance Terms*, codificate in ciascun agente rappresentano una funzione di utilità che consente all'Agente di determinare la bontà delle proprie scelte e l'opportunità di mantenersi attivo.

Conclusioni

ASBIM è stato progettato come un sistema di supporto proattivo in grado di definire dinamicamente un programma di costruzione coerente con le scelte operate dal progettista a partire dalle fasi iniziali del processo di progettazione al fine di ridurre le inefficienze e promuovere la sostenibilità del processo di costruzione.

Il prototipo proposto sarà in grado di definire la *LBS* del progetto come risultato della interazione di un sistema di agenti al fine di determinare dinamicamente una sequenza operativa per la realizzazione delle opere.

study by analysing the LBS results as a function of the type and configuration of the building, the required processes, the specified crowding of the construction site and the number of teams used.

A COP has, as an agent of the system, the goal of executing its own plan in the shortest possible time. The time required to execute the plan can however be limited by the failure to meet the conditions that allow activation and running continuously.

Unavailability of materials, tools and equipment or the lack of free *Places* may reduce the efficiency of the plan's execution.

When an agent is awaiting any of the conditions for the activation or the continuation of a task it increments the counter of *Idle Time* representing the *Wasted Time*.

The *Acceptance Terms*, encoded in each agent, represent the utility function that allows the Agent to determine the goodness of their choices and the opportunity to keep itself active.

Conclusion

ASBIM was conceived of as a proactive design support system that can dynamically determine a construction plan consistent with the choices made by the designer in the initial phases of the design process in order to reduce time waste and to promote the sustainability of the construction process.

The proposed prototype will allow the *LBS* to be defined as the result of the interaction of a system of agents able to dynamically determine an optimum construction sequence for the construction work.

During the design work, *ASBIM* will be

Qualitative geometry in the "BIM World"

Nel corso della progettazione *ASBIM* sarà in grado di valutare cooperando con il progettista le conseguenze delle scelte adottate in termini di tipo e numero dei *Work Teams* necessarie in relazione ai tempi di costruzione garantendo nel contempo la continuità di lavoro delle squadre operative ed una appropriata allocazione delle risorse necessarie.

able, in cooperation with the designer, to evaluate the consequences of the choices adopted in terms of type and number of *Work Teams* needed as a function of the construction timing while ensuring the continuity of the teams' work and an appropriate allocation of the resources needed.

References

1. Arbizzani, E. (2011). *Tecnologia dei sistemi edilizi. Progetto e Costruzione*. Maggioli Editore. Recuperato da <http://research.arc.uniroma1.it/xmlui/handle/123456789/300>
2. Autodesk. (2014). Revit API developer Guidelines. Autodesk.
3. Björk, B-C. (1989). Basic structure of a proposed building product model. *Computer-Aided Design*, 21(2), 71–78.
4. Eastman et al. (2008). BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. Recuperato 2 agosto 2015, da https://www.academia.edu/3183272/BIM_handbook_A_guide_to_building_information_modeling_for_owners_managers_designers_engineers_and_contractors
5. Harris, R.B. and Ioannou, P.G. (1998). Scheduling projects with repeating activities. *Journal of Construction Engineering and Management*, 124(4), 268–278.
6. Kanapeckiene, L., Kaklauskas, A., Zavadskas, E. K., & Seniut, M. (2010). Integrated knowledge management model and system for construction projects. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23(7), 1200–1215.
7. Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. Stanford university Stanford, CA. Recuperato da <http://cife.stanford.edu/sites/default/files/TR072.pdf>
8. Lee, G. (2007). Benefits and lessons learned of implementing building virtual design and construction (VDC) technologies for coordination of mechanical, electrical, and plumbing. Recuperato da <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.212.1744>
9. Minsky, M. (1975). A framework for representing knowledge. Recuperato da <http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works>Show?7a2a>
10. Reda, R. M. (1990). RPM: Repetitive Project Modeling. *Journal of Construction Engineering and Management*, 116(2), 316–330. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1990\)116:2\(316\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1990)116:2(316))
11. Russell Kenley, O. S. (2009). Location-based Management of Construction Projects: Part of a New Typology for Project Scheduling Methodologies., 2563–2570. <http://doi.org/10.1109/WSC.2009.5429669>
12. Wooldridge, M. (2009). *An Introduction to MultiAgent Systems*. John Wiley & Sons.



9 788891 612229

€ 38,00



CD-ROM

CD-ROM allegato