

Sistemi integrati BIM-GIS nella progettazione di edilizia ospedaliera ad alta efficienza energetica

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Roberto Di Giulio, Beatrice Turillazzi, Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Ferrara, Italia
Luca Marzi, Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Firenze, Italia
Stefania Pitzianti, Becquerel Electric srl, Reggio Emilia, Italia

dgr@unife.it
tll@unife.it
luca.marzi@unifi.it
s.pitzianti@becquerel.it

Abstract. L'interoperabilità degli strumenti di gestione e controllo del processo di progettazione è una delle tematiche sulle quali si concentrano la ricerca e le innovazioni nel campo dei sistemi di modellazione BIM (Building Information Modeling). Obiettivo strategico del progetto di ricerca STREAMER, cofinanziato dall'Unione Europea nell'ambito del VII Programma Quadro, è la definizione di strumenti e metodi di progettazione degli edifici ospedalieri che consentano la riduzione del 50% del consumo energetico e delle emissioni nei grandi distretti sanitari. Al conseguimento di questo risultato concorre la creazione di strumenti integrati, basati sui sistemi BIM e GIS, in grado fornire un efficace supporto alle decisioni dei vari soggetti coinvolti nel progetto e nella gestione dei complessi ospedalieri.

Parole chiave: efficienza energetica, distretti sanitari, building information modeling, semantic driven design.

Introduzione

Una delle tematiche sulle quali si concentrano la ricerca e le innovazioni nel campo dei sistemi di modellazione BIM (Building Information Modeling) è la creazione di strumenti capaci di portare la gestione e il controllo del processo di progettazione su piattaforme interoperabili.

Su tale principio si basa la capacità di gestire, mediante lo scambio e la condivisione di dati complessi e conoscenze pluridisciplinari, le attività e i ruoli dei diversi operatori che intervengono nel processo di programmazione, progettazione e gestione degli interventi.

In particolare, nell'ambito di interventi di nuova costruzione o di *retrofitting* all'interno dei grandi distretti ospedalieri, la possibilità di sviluppare modelli progettuali capaci di simulare condizioni alternative e di misurarne gli effetti garantendo un feedback condiviso è una condizione essenziale per ottimizzare l'attività di gestione durante l'intero ciclo di vita degli edifici.

L'efficienza energetica è uno degli obiettivi strategici sul quale si concentrano tali modelli, sia ai fini del contenimento dei costi

Integrated BIM-GIS
based design for high
energy efficiency hospital
buildings

Abstract. The interoperability of the tools for managing and controlling the design process is one of the themes on which research and innovations are focussed in the field of BIM (Building Information Modelling) systems. A strategic objective of the STREAMER research, co-funded by the European Union within the context of the Seventh Framework Programme, is that of defining the tools and methods of designing hospital buildings that allow for a 50% reduction in energy consumption and emissions in large healthcare districts. Contributing to the achievement of this result is the creation of integrated tools, based on BIM and GIS systems, capable of providing an effective backup to the decisions of the various subjects involved in the project and the management of hospital complexes.

Keywords: energy efficiency, healthcare districts, building information modeling, semantic driven design.

che a quelli della compatibilità ambientale. Le strategie di finanziamento della ricerca e dell'innovazione portate avanti dall'Unione Europea, annoverano questo tema tra quelli più urgenti e prioritari.

Nel 2014, nell'ambito del VII Programma Quadro, la Commissione Europea ha finanziato con 8 milioni di euro il progetto di ricerca "STREAMER - *Semantics-driven Design through Geo and Building Information Modelling for Energy-efficient Buildings Integrated in Mixed-use Healthcare Districts*".

Il progetto, coordinato dall'istituto di ricerca olandese TNO (Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek), vede la partecipazione di 20 partners - 6 grandi aziende, 6 piccole/medie imprese, 4 istituti di ricerca e 4 ospedali - afferenti a 9 Paesi comunitari. Fanno parte del Consorzio tre partners italiani: l'Azienda Ospedaliero-Universitaria di Careggi (Firenze) e due strutture professionali, l'Ipostudio di Firenze (progettazione architettonica e ricerca) e Becquerel Electric di Reggio Emilia (sviluppo e progettazione di impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili).

Obiettivo strategico del progetto è la messa a punto di strumenti e metodi per la progettazione di interventi che consentano la riduzione del 50% del consumo energetico e delle emissioni di anidride carbonica dei grandi distretti sanitari, notoriamente tra i più energivori ed inquinanti.

Il conseguimento di questo risultato passa attraverso l'ideazione di strumenti progettuali avanzati ed integrati, basati sui sistemi BIM e GIS, in grado di indirizzare le scelte di tutti i soggetti coinvolti nel progetto e nella gestione dei complessi ospedalieri verso l'ottimizzazione e l'efficienza energetica. Strumenti che riguarda-

Introduction

One of the topics that the research and innovations focus on in the field of BIM (Building Information Modelling) systems is the creation of tools capable of moving the management and control of the design projects onto interoperable platforms.

Based on this principle is the ability to manage, by means of the exchange and sharing of complex data and multidisciplinary knowledge, the activities and roles of the various operations involved in the programming, design and management process of the interventions

In particular, within the context of the new construction or retrofitting interventions in the large healthcare districts, the possibility of developing design models capable of simulating alternative conditions and gauging the effects, guaranteeing a shared feedback, is an essential condition for optimising

the management activities during the entire lifecycle of the buildings.

Energy efficiency is one of the strategic objectives these models focus on, in order to reduce costs as well as for environmental compatibility purposes. The financing strategies of the research and innovation pursued by the European Union, pinpoint this theme as one of the most urgent and priority-driven. In 2014, within the context of the Seventh Framework Programme, the European Commission contributed 8 million euro to the research project, "STREAMER - *Semantics-driven Design through Geo and Building Information Modelling for Energy-efficient Buildings Integrated in Mixed-use Healthcare Districts*".

The project, coordinated by the Dutch research institute TNO (Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek), has the par-

no esclusivamente la prima fase del processo progettuale, dalla definizione degli obiettivi strategici fino al progetto preliminare. Il Rijnstate Hospital (Olanda), il distretto ospedaliero de la Pitié-Salpêtrière di Parigi (Francia), il Rotherham Hospital (Gran Bretagna) e l'Azienda Ospedaliero-Universitaria di Careggi (AOUC) di Firenze ricoprono il ruolo strategico di casi-studio per la verifica dei risultati attesi. In particolare, l'AOUC, in considerazione della sua particolare connotazione, dei sistemi di produzione energetica e della presenza di un consolidato sistema informatico di gestione, è stata scelta per la validazione dei nuovi strumenti nelle procedure di intervento di *retrofitting* del patrimonio esistente.

La ricerca – che sta completando il quarto ed ultimo anno di attività – si è concentrata sull'operatività degli strumenti applicativi finalizzati al miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici ospedalieri. La struttura del modello semantico e i criteri di modellazione BIM messi a punto consentiranno tuttavia lo sviluppo di ulteriori innovazioni degli strumenti progettuali e gestionali.

Obiettivi, metodologia e risultati raggiunti

Gli obiettivi strategici del progetto STREAMER riguardano:

- lo sviluppo di un modello semantico basato sulla classificazione e l'identificazione, mediante specifiche tecniche e prestazionali, degli "oggetti" sui quali basare la modellazione BIM di un edificio ospedaliero;
- l'elaborazione di uno schema innovativo del processo di progettazione basato sul coordinamento, la cooperazione e la partecipazione attiva da parte di tutte le categorie di operatori coinvolti;
- la definizione dei parametri, degli indicatori (KPIs - *Key Performance Indicators*) e dei valori di soglia delle prestazioni relative a efficienza energetica, costi e qualità;

participation of 20 partners - 6 large companies, 6 small/medium-sized companies, 4 research institutes, and 4 hospitals – belonging to 9 Community countries. Forming part of the Consortium are three Italian partners: the Azienda Ospedaliero-Universitaria di Careggi (Florence) and two professional structures, the Ipostudio di Florence (architectural design and research) and Becquerel Electric of Reggio Emilia (development and design of plants for the production of energy from renewable sources). A strategic objective of the project is the perfecting of tools and methods for the design of interventions allowing for a 50% reduction of energy consumption and emissions of carbon dioxide by the large healthcare districts, notoriously among the most energy-intensive and polluting users. The achievement of this result passes through the creation of advanced and

integrated design tools based on BIM and GIS systems that are capable of guiding the choices of all the subjects involved in the project and in the management of hospital complexes, towards optimisation and energy efficiency. Tools that only concern the first phase of the design process, from the definition of the strategic objectives up to the preliminary project. The Rijnstate Hospital (the Netherlands), the hospital district of Pitié-Salpêtrière in Paris (France), the Rotherham Hospital (Great Britain) and the Azienda Ospedaliero-Universitaria di Careggi (AOUC) of Florence cover the strategic role of case-studies for the verification of the expected results. In particular, the AOUC, in view of its specific connotation, energy production system and the presence of a consolidated computerised management system, has been chosen for the vali-

- la realizzazione di strumenti di supporto alle decisioni, concentrati nelle prime fasi del processo di progettazione, in grado di gestire, elaborare e comparare dati provenienti da un software di modellazione funzionale e da strumenti di calcolo dei livelli di efficienza energetica.

La definizione del modello semantico, ovvero il sistema di identificazione delle caratteristiche e delle relazioni tra gli oggetti della libreria del BIM, ha richiesto un'approfondita ricognizione delle principali tipologie degli edifici ospedalieri in Europa e la successiva scomposizione del sistema funzionale secondo una successione di scale che dall'edificio, inteso come primo livello di scomposizione di un Distretto Socio-Sanitario, scendono fino al singolo componente edilizio e impiantistico.

Le Unità Spaziali (singole stanze o ambiti spaziali omogenei) e le Aree Funzionali (raggruppamenti di Unità Spaziali omogenee sotto il profilo funzionale) sono state quindi individuate come i livelli più idonei per la costruzione del modello semantico e per il funzionamento dell'*Early Design Configurator* (EDC), un software, elaborato nell'ambito del progetto, in grado di elaborare – nelle fasi di progettazione preliminare – schemi di *layouts* ottimali per ciò che riguarda il comportamento energetico dell'edificio (Hempel e altri, 2016).

I dati con i quali l'EDC elabora gli schemi di *layouts* compatibili con i requisiti funzionali e seleziona quelli che garantiscono i livelli di efficienza energetica più elevati, comprendono:

- le prestazioni ambientali, le caratteristiche funzionali e le attrezzature che una Unità Spaziale (US) o un'Area Funzionale (AF) deve garantire in relazione alle attività che dovrà ospitare;
- i criteri, tradotti in vere e proprie regole progettuali (Fig. 1), in base ai quali si stabiliscono le relazioni tra le US all'interno

dation of new tools in the retrofitting intervention procedures of the existing heritage. The research – which is now completing its fourth and last year of activity – has been focussed on the operability of the application tools designed to improve the energy efficiency of the hospital buildings. The structure of the semantic model and BIM modelling criteria perfected will however allow for the development of additional innovations of the design and management tools.

Objectives, methods and results achieved

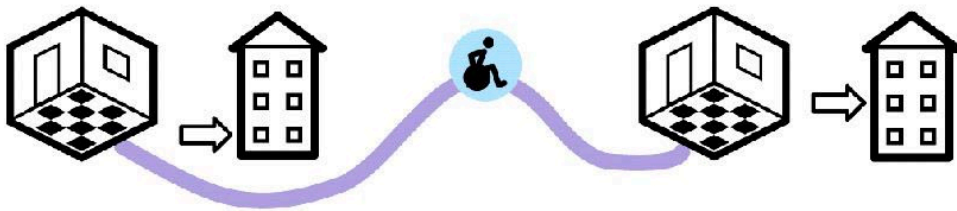
The strategic objectives of the STREAMER project concern:

- the development of a semantic model based on the classification and identification, by means of technical and performance specifications, of the

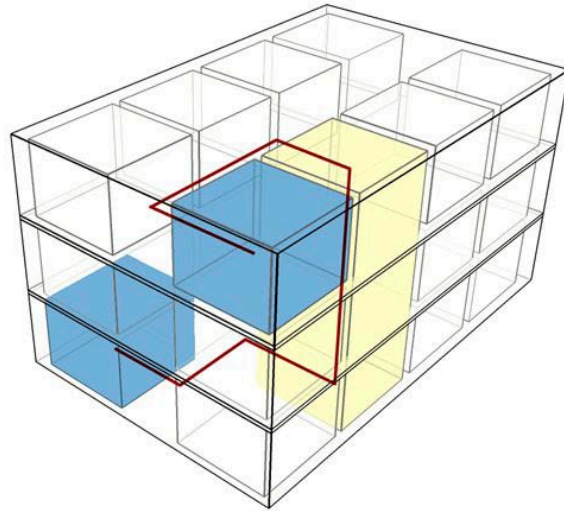
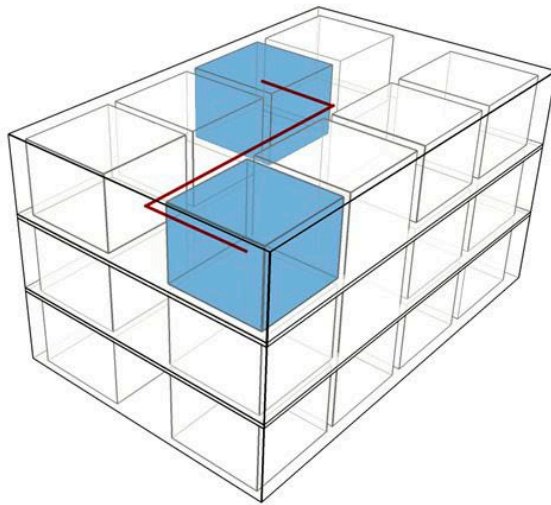
"objects" on which to base the BIM modelling of a hospital building;

- the drawing up of innovative plan of the design process based on the coordination, cooperation and active participation by all the categories of stakeholders involved;
- the defining of parameters, indicators (KPIs - *Key Performance Indicators*) and threshold values of the relative performance relating to energy efficiency, costs and quality;
- the creation of backup tools for the decision-making, concentrated during the initial phases of the design process, capable of managing, processing and comparing the data coming from functional modelling software and from calculation instruments of the levels of energy efficiency.

The definition of the semantic model, that is, the identification system of the



Vertical distance factor
patient
51m +
(5,44m x N. of floors)



01 | Regole di progettazione: verifica negli schemi elaborati dall'EDC del soddisfacimento della regola relativa alla disposizione di due US in relazione ai percorsi dei pazienti
Design rules: verification in the diagrams developed by the EDC of the compliance with the rule governing the arrangement of the two SUs in relation to the patient itineraries

di una AF o tra le AF all'interno di un edificio (per esempio: il fatto che determinati ambienti debbano o non debbano essere collegati, adiacenti o vicini; la loro posizione ideale in relazione ai percorsi o agli accessi; la loro compatibilità o incompatibilità con i vincoli derivanti da determinati schemi tipologici).
L'elaborazione delle informazioni relative alle caratteristiche dei singoli vani – raccolti nella libreria di oggetti del BIM – e la loro traduzione in attributi, si basa su un sistema di “etichettatura” (*labelling system*) che consente di assegnare ad ogni US

una serie di valori corrispondenti alle caratteristiche tecniche e ambientali necessarie a soddisfare le attività che quella US dovrà ospitare.

Sei *labels* (Tab. 1) definiscono i parametri di ogni singola US dai quali dipende il “comportamento energetico” dell'intero edificio. Ad ogni parametro corrisponde una scala di valori corrispondenti ai livelli prestazionali richiesti dalle diverse US.

Al parametro “H – Hygienic Classes”, per esempio, corrispondono 5 livelli – da H1 a H5 – che definiscono i livelli prestazionali

characteristics and relationships between the objects in the BIM library, has called for in-depth reconnaissance of the main types of hospital buildings in Europe and the subsequent breaking down of the functional system according to a succession of rating scales which move down from the building, understood as the first level of the breakdown, to the individual building and plant engineering component.

The Spatial Units (single rooms or homogeneous spatial environments) and the Functional Areas (groupings of Spatial Units that are homogeneous in functional terms) have therefore been identified as the most suitable levels for constructing the semantic model for the operation of the *Early Design Configurator* (EDC), software developed within the context of the project that is able to process – during the preliminary design phases – diagrams of op-

timal layouts for everything regarding the energy behaviour of the building (Hempel et al, 2016).

The data via which the EDC processes the diagrams of layouts compatible with the functional requirements and selects those that guarantee the highest levels of energy efficiency include:

- the environmental performance, the functional features and equipment that a Spatial Unit (SU) or Functional Area (FA) must guarantee in relation to the activities that it is designed to house;
- the criteria, translated into real design rules (Fig. 1), according to which the relationships are established between the SUs inside an FA or between the FAs and the inside of a building (for example, the fact that certain environments must or must not be connected, adjacent or close together; their ideal position in relation to pathways or accesses; their compatibility or incom-

patibility with the constraints deriving from certain typological schemes).

The processing of the information regarding the features of the single rooms – collected in the BIM object library – and their translation into attributes, is based on a labelling system that allows for allocating to each SU a series of values corresponding to the technical and environmental characteristics necessary for complying with the activities that that specific SU must house.

Six labels (Table 1) define the parameters of each individual SU on which the “energy behaviour” of the entire building depends. Corresponding to each parameter is a scale of values corresponding to the performance levels required by various SUs.

Corresponding to the parameter “H – Hygienic Classes” for example, there are 5 levels – from H1 to H5 – that define the performance levels (ventilation,

quality of the air, level of hygiene of the surfaces, etc.) required by the different use destinations of the SUs in a hospital. The “labelling”, that is, the procedure for allocating the labels to the various SUs foreseen in the project, is carried out using a database that supplies the complete list of SUs of a hospital building already provided with the standard performance values corresponding to the six labels.

At this point, the quantitative and qualitative data of the SUs (expressed by the labels) are uploaded in the EDC which processes a series of layout diagrams compatible with the design rules and optimised for everything concerning the energy performance of the building.

By taking into account the indications supplied by these diagrams the design team proceeds to build the BIM model. Once it is completed, the values corre-

H Hygiene (has a relation with amount of ventilation, air tightness, cleaning, materials)	H1	Corridor, reception, toilette, etc.
	H2	Office, bath room, etc.
	H3	Patient room, examination room, treatment room, etc.
	H4	Operating room, insulation room, etc.
	H5	Laboratory, production pharmacy, etc.
A Access Security (has a relation with the position in the hospital, safety/protective/security device)	A1	Public
	A2	Patients, visitors and staff
	A3	Patients - supervised by staff - and staff
	A4	Only staff members
	A5	Specific staff members
U User profile (has a relation with the type of use)	U1	Office timeslot: Monday-Friday 8:00 – 18:00
	U2	Extended office timeslot: Monday-Friday 8:00 – 20:00
	U3	Office time slot with emergency function outside time slot: Monday-Friday 8:00 – 18:00
	U4	Continuous operation e.g. ward, ICU, emergency: 24*7
EQ Equipment (has a relation with the type of function, high electric power needed, medical gasses, ICT data points)	EQ1	No additional electric power is needed
	EQ2	Electric power equal to an office
	EQ3	Electric power equal to an office combined with emergency power supply
	EQ4	Electric power higher (1.6 times) than an office
	EQ5	High electric power demand (1.5 kW/m ²)
	EQ6	Special equipment and requirements regarding safety
C Construction (has a relation with floor strength, shielding against radiation, floor height, air tightness)	C1	Office level
	C2	Office level with extra floor strength
	C3	Office level with extra floor height
	C4	Office level with extra floor height and strength
	C5	Accessible from the outside with heave load
	C6	Shielding against radiation
CT Comfort (has a relation to requirements on day light, view to the outside, air flow, design temperature, lighting, indoor noise and control of lighting)	CT1	e.g. archive room
	CT2	e.g. corridor
	CT3	e.g. office
	CT4	e.g. patient room with direct daylight
	CT5	e.g. room with (in)direct daylight
	CT6	e.g. laboratory
	CT7	e.g. operating room
	CT8	special

sponding to the attributes of the single environments will be exported (in the standard format of the BIM software) and uploaded in the simulation software of the energy performance, cost analysis and verification of the environmental quality parameters.

These data are then processed in a single tool: a Dashboard that offers the designer an immediate projection of the results of the various design hypotheses under examination which concern:

- energy performance (efficiency and CO₂ emissions);

- the qualitative levels, measured above all in relation to the environmental quality of the areas and the degree of user satisfaction;

- the financial sustainability of the intervention based on an estimate of the Life Cycle Costs of the building.

The application of the tools and procedures of a design method like the one described above mainly concern the initial steps of the process, in particular those that lead from the definition of the intervention strategy to the drawing up of the preliminary project. By

involving such an articulated team of operators (clients, professionals, stakeholders, user representatives, etc.) all characterised by diverse skills and profiles during these steps, the efficiency and functioning of an instrument like this will be proportional to the level of participation and cooperation among all the “actors” of these process steps.

To this end, by using the process flowchart developed by the RIBA (Royal Institute of British Architects), considered a standard model in the majority of European countries,

the STREAMER has reprocessed the first three steps described in the “2013Work Plan” (Fig. 2) adapting the goals, objectives and actions on the basis of the integrated and multi-disciplinary approach methods of the “concurrent design” (Matthyssen and Gerené, 2011).

The role of the AOU Careggi

The activity programme entrusted to the AOU Careggi, a Consortium partner, includes the experimentation of the tools developed during the rese-

(ventilazione, qualità dell'aria, igienicità delle superfici, etc.) richiesti dalle diverse destinazioni d'uso delle US di un ospedale. Il "labelling", cioè la procedura per l'attribuzione dei *labels* alle varie US previste dal progetto, viene effettuata utilizzando un database che fornisce la lista completa delle US di un edificio ospedaliero già corredate con i valori standard delle prestazioni corrispondenti ai sei *labels*.

A questo punto i dati quantitativi e qualitativi delle US (espressi dai *labels*) vengono caricati nell'EDC che elabora una serie di schemi di layout compatibili con le regole di progettazione e ottimizzati per ciò che riguarda il comportamento energetico dell'edificio.

Tenendo conto delle indicazioni fornite da tali schemi, il team di progettazione procede nella costruzione del modello BIM. Una volta completato il modello, i valori corrispondenti agli attributi dei singoli ambienti vengono esportati (nel formato standard dei software BIM) e caricati nei software di simulazione del comportamento energetico, di analisi dei costi e di verifica dei parametri di qualità ambientale.

Questi dati vengono infine elaborati in un unico strumento: una *Dashboard* che offre al progettista una proiezione immediata dei risultati delle varie ipotesi progettuali in esame per ciò che riguarda:

- le prestazioni energetiche (efficienza ed emissioni di CO₂);
- i livelli qualitativi, misurati soprattutto in relazione al qualità ambientale degli spazi e al grado di soddisfazione degli utenti;
- la sostenibilità finanziaria dell'intervento basata sulla proiezione dei costi nel ciclo di vita dell'edificio (*Life Cycle Costs*).

L'applicazione degli strumenti e delle procedure di un metodo di progettazione come quello appena descritto riguardano pre-

valentemente le fasi iniziali del processo, in particolare quelle che vanno dalla definizione della strategia di intervento fino alla elaborazione del progetto preliminare. Coinvolgendo in tali fasi un team assai articolato di operatori (committenza, professionisti, *stakeholders*, rappresentanti dell'utenza, etc.) caratterizzati da profili e competenze diverse, l'efficacia e il funzionamento stesso di tali strumenti è proporzionale al livello di partecipazione e cooperazione tra tutti gli "attori" di queste fasi del processo.

A tale scopo, utilizzando lo schema di processo sviluppato dal RIBA (Royal Institute of British Architects), considerato un modello standard nella maggior parte dei paesi europei, STREAMER ha rielaborato le prime tre fasi descritte nel "Plan of Work 2013" (Fig. 2) adattandone scopi, obiettivi e azioni sulla base delle metodologie di approccio integrato e multidisciplinare del "concurrent design" (Matthyssen e Gerené, 2011).

Il ruolo dell'AOU Careggi

Il programma delle attività affidate all'AOU Careggi, partner del Consorzio, prevedeva la sperimentazione degli strumenti messi a punto nel corso del progetto di ricerca all'interno del sistema informatizzato e geo-referenziato SACS* (Sistema per l'Analisi delle Consistenze Strutturali), ideato e gestito dall'Università di Firenze (sistema già operativo in diversi segmenti del sistema di gestione tecnico-amministrativa dell'Azienda).

Il sistema è un data base, in continuo aggiornamento, che supporta la gestione, sia sul piano tecnico che su quello amministrativo, dei dati relativi a più di 15.500 ambienti dei 54 edifici che costituiscono il distretto.

L'obiettivo è di implementare questo sistema con i risultati della ricerca per utilizzarlo quale supporto nelle fasi decisionali pre-

arch project in the computerised and geo-referenced SACS* (System for the Analysis of Structural Consistency), created and managed by the University of Florence (a system that is already operating in various segments of the Company's technical-administrative management system).

The system is a continuously updated database that supports the management, on both a technical and administrative level, of the data relating to more than 15,500 environments in the 54 buildings making up the district.

The objective is to implement this system with the results of the research in order to use it as a backup during the preliminary decision-making steps regarding its own real-estate assets, with a view to functional energy savings and efficiency. In consideration of the programming of the future interventions, the Company has chosen to use the "San Luca"

cancer centre as the object of the validation of the results of the research.

This centre is in a complex consisting of three buildings located in the heart of the district, adjacent to the new tri-generation plant (Fig. 3).

The first of the three buildings, called "San Luca Vecchio", was built in the sixties and has a "triple distribution" layout on three floors. In addition to the areas used as a reception, it also houses the Departments of Integrated Activities (DAI) for heart and vascular disorders, the DEA (department for emergency treatment and admission) and Biomedicine Department. In all, it has 282 different zones spread over 3,646 m² and 60 beds.

The second building, known as the "Volano", which connects the other two buildings, was inaugurated two years ago and has a "quintuple distribution" layout on four different floors. Apart

from the technical rooms, it also houses DAI for diagnostic imaging and oncology. There are seven new operating theatres on the ground floor. In all, it has 242 different zones spread over 4,662 m².

The construction of the third building, called "San Luca Nuovo", was carried out fifteen years ago. The structure has the same layout as the "Volano", but is on six floors. It houses the DAI for heart and vascular disorders, medical-surgical specialties, the DEA, and the diagnostic imaging and oncology department. In all, it has 817 different zones spread over 13,784 m² and 219 beds.

In view of the age and inefficiency – both functional and performance-wise – of the first building (Fig. 4), the hospital management is facing the problem of deciding on the type of intervention to carry out, that is, whether

to opt for demolition and rebuilding, or major renovations. STREAMER therefore becomes a strategic tool for making this decision according to energy efficiency criteria.

The Italian case-study: modelling

The modelling of the area pertaining to the Polyclinic was tackled by defining three specific scales of detail relating to the territorial representation, the volumetric representation of the entire building complex and that of details relating to the components of the individual pavilions.

For the representation scales, the same number of software families was used that belong to the Geographic Information System (GIS), to the solid surface modellers (DEM – Digital Elevation Model) and to the Building Information Modelling (BIM) systems.

The GIS modelling phase was proces-

minari riguardanti il proprio patrimonio immobiliare, in un'ottica di contenimento energetico ed efficienza funzionale.

Considerando la programmazione dei futuri interventi, l'Azienda ha scelto di utilizzare il polo oncologico "San Luca" quale oggetto della validazione dei risultati della ricerca.

Il polo si articola in un complesso di tre edifici posto nel cuore del distretto, in adiacenza alla nuova centrale di trigenerazione (Fig. 3).

Il primo dei tre edifici, il "San Luca Vecchio", è stato costruito negli anni '60 e presenta uno schema planimetrico a "triplo distributivo" su tre livelli. Ospita, oltre agli ambienti destinati all'accoglienza, locali afferenti ai Dipartimenti ad Attività Integrata (DAI) del Cuore e del Vasi, del DEA e di Biomedicina. Conta 282 ambienti distribuiti in 3.646 m² e ospita 60 posti letto.

Il secondo, il "Volano", di collegamento tra gli altri due edifici, è stato inaugurato da due anni e presenta uno schema planimetrico a «quintuplo distributivo» su quattro livelli. Ospita, oltre ai locali tecnici, i DAI di Diagnostica per Immagini e di Oncologia. Sette sono le nuove sale operatorie al piano terra. Conta 242 ambienti distribuiti su 4.662 m².

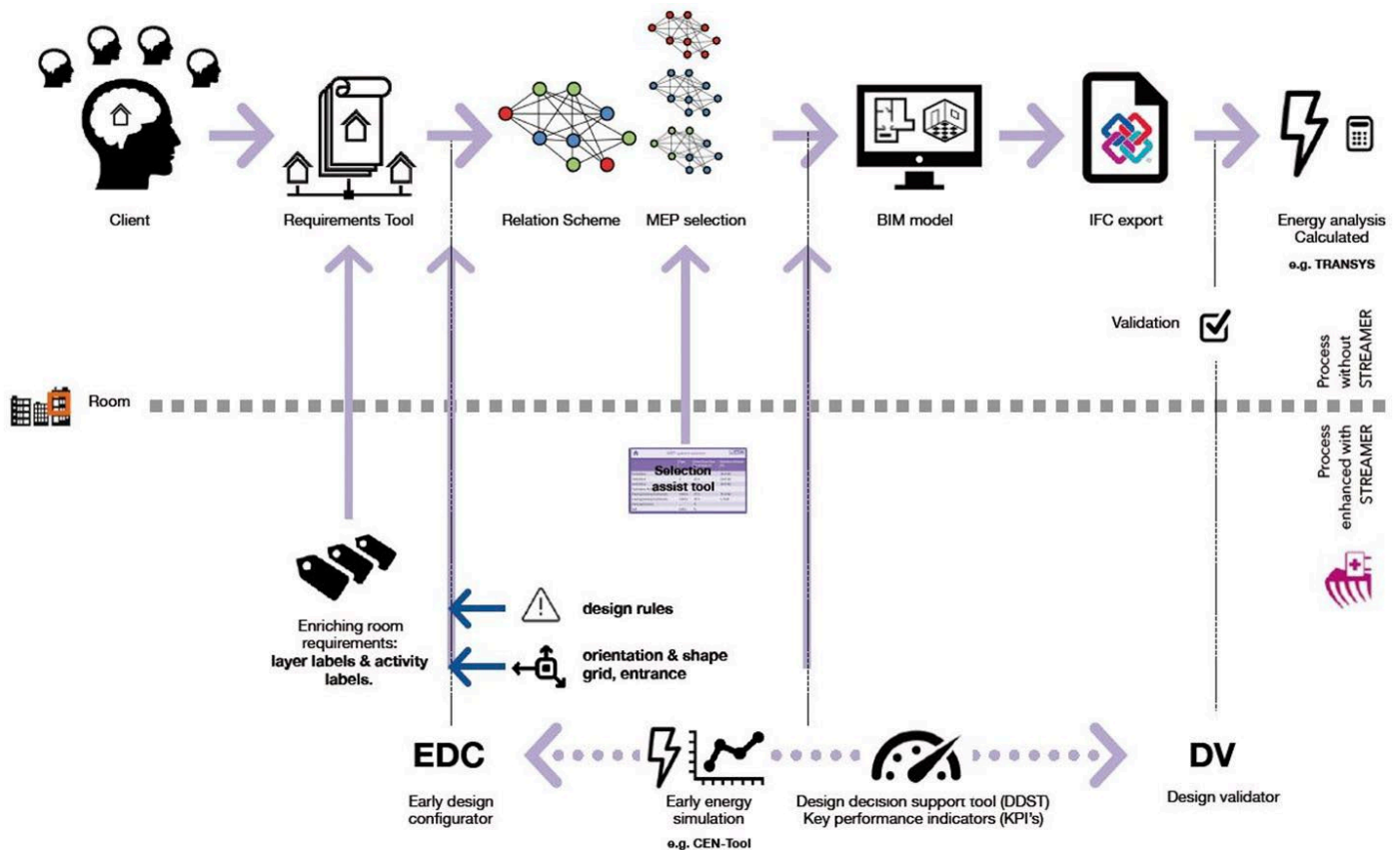
La costruzione del terzo edificio, infine, il "San Luca Nuovo", risale a 15 anni fa. La struttura presenta lo stesso schema planimetrico del "Volano" ma su sei livelli. Ospita i DAI del Cuore e dei Vasi, delle Specialità Medico-Chirurgiche, del DEA, di Diagnostica per Immagini e di Oncologia. Conta 817 ambienti distribuiti su 13.784 m² e ospita 219 posti letto.

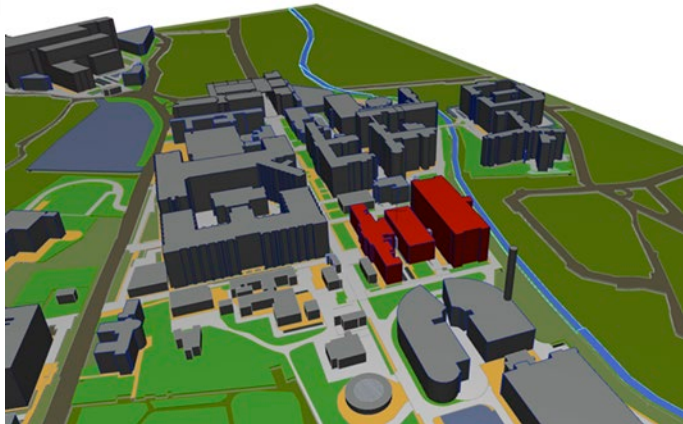
La Direzione dell'Azienda, considerata la vetustà e l'inefficienza – funzionale e prestazionale - del primo edificio (Fig. 4), si è posta il problema del tipo di intervento da intraprendere, cioè se effettuare una demolizione e ricostruzione oppure una ristrutturazione profonda. STREAMER diventa quindi lo strumento strategico per effettuare questa scelta secondo criteri di efficienza energetica.

Il caso-studio italiano: modellazione

La modellazione dell'area afferente il policlinico è stata affrontata definendo tre scale specifiche di dettaglio riferibili alla rappresentazione territoriale, alla rappresentazione volumetrica dell'intero patrimonio edilizio e a quella di dettaglio, relativa alle componenti dei singoli padiglioni.

02 |





Per le scale di rappresentazione sono state utilizzate altrettante famiglie di software appartenenti ai sistemi geografici informatizzati (GIS), ai modellatori solidi di *surface* (DEM) e ai sistemi di Building Information Modeling (BIM).

La fase di modellazione GIS è stata elaborata utilizzando i *layout* cartografici del sistema SACS®, importando - su base geo-referenziata - l'organizzazione delle singole polilinee che definiscono ogni padiglione ed ogni ambiente (stanza) in esso contenuto, compresi i parametri fisici (dimensionali) e i relativi database (DB) correlati. Dal file bidimensionale geo-referenziato (gerarchizzato per livelli normalizzati per piani fuori terra) è stato realizzato un modello tridimensionale definito secondo le metodologie di modellazione CityGML, afferente al grado di dettaglio del LoD2 (Level of Detail) per l'intero comparto edilizia aziendale e al LoD3 per i tre padiglioni del polo del "San Luca".

La modellazione GIS e CityGML, è stata necessaria per inquadrare il caso studio nella geografia territoriale di riferimento, potendo così valutare gli aspetti relativi all'esposizione ambientale

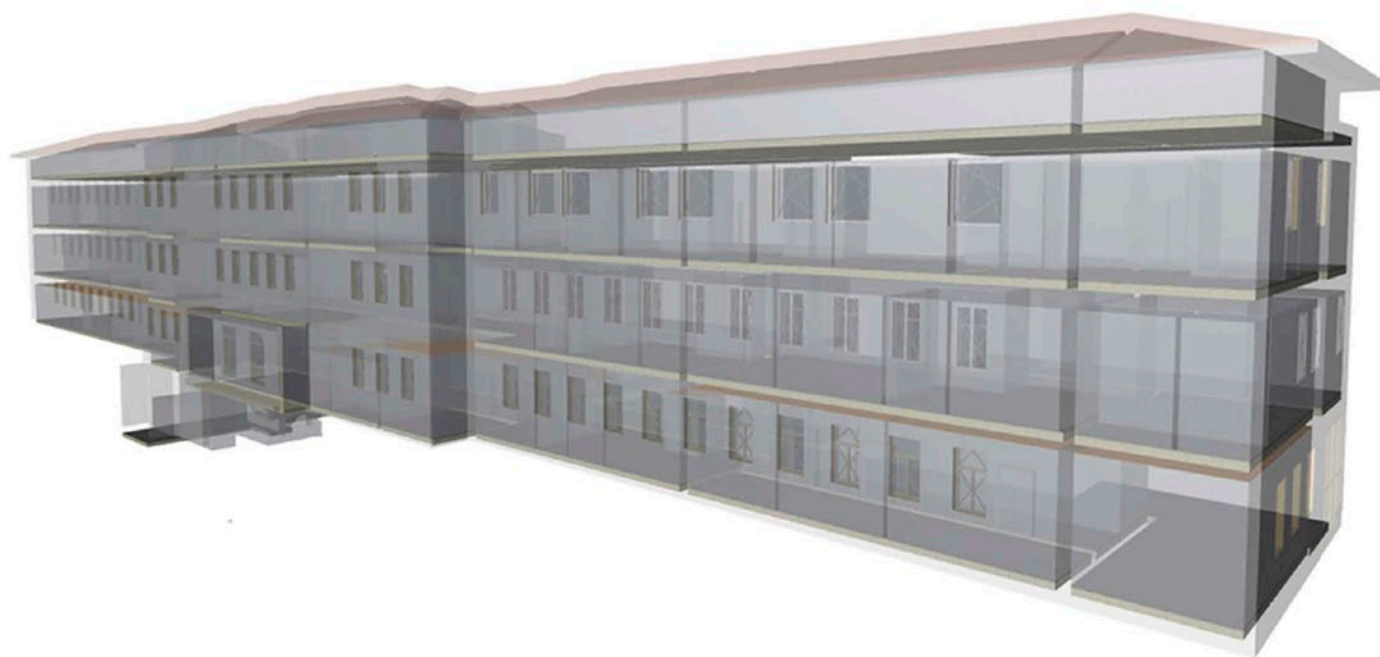
degli edifici e quelli relativi alla natura e tipologia delle reti di connessione presenti nel distretto sanitario.

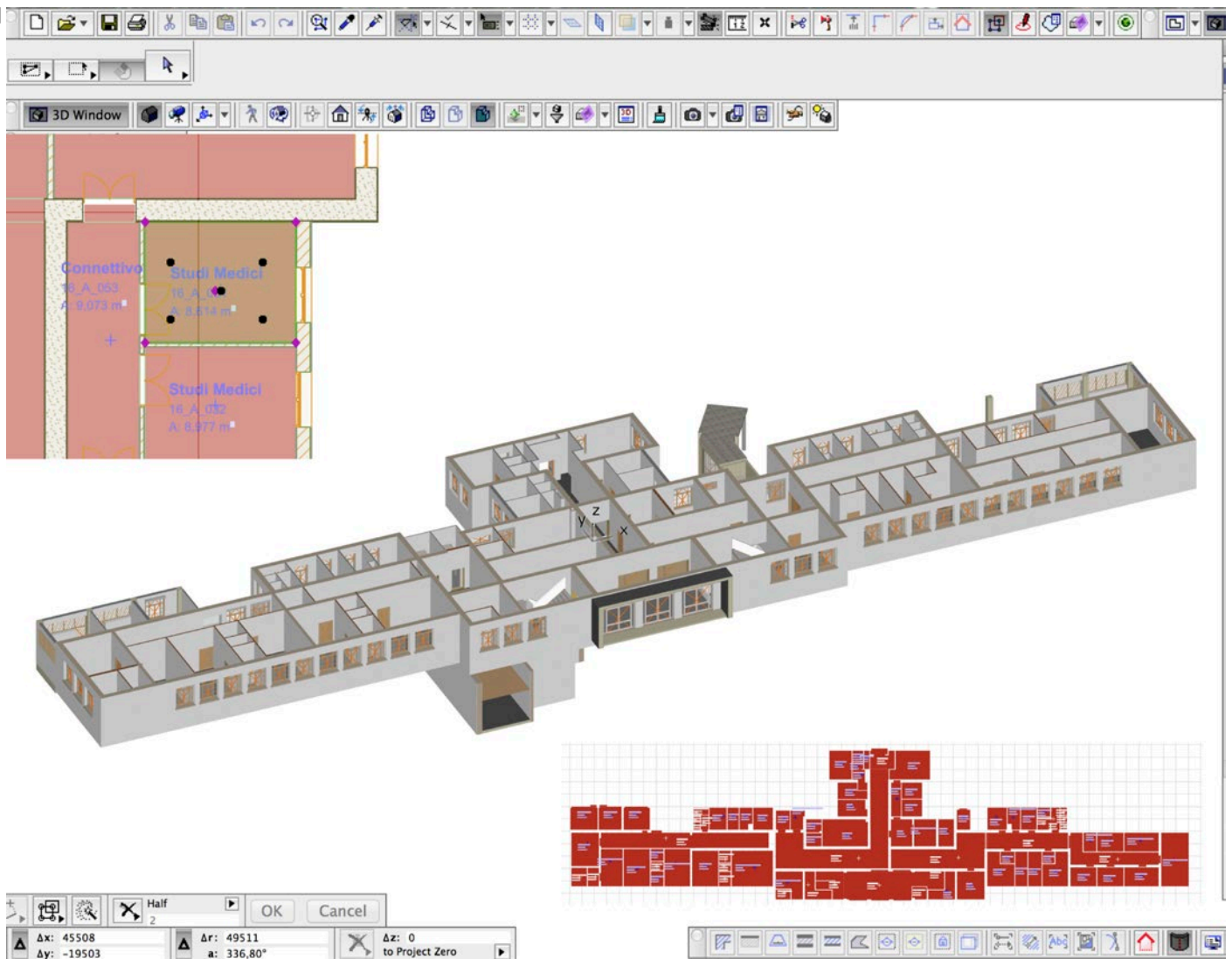
Relativamente all'edificio del "San Luca Vecchio" è stato elaborato un modello BIM in grado di raccogliere le informazioni sul layout (organizzazione spaziale), sull'involucro (parametri prestazionali delle componenti edilizie) e sugli impianti (parametri prestazionali delle componenti impiantistiche). Le informazioni sono state raccolte in zone omogenee definite alla scala del singolo ambiente (Fig. 5). Tale organizzazione ha permesso, attraverso la programmazione di un apposito *tool-stamp*, di correlare ogni zona BIM alle banche dati gestite ed in uso al sistema SACS®.

La compatibilità del sistema SACS® con gli strumenti di STRE-AMER è stata poi garantita dall'abbinamento univoco tra le due relative classificazioni.

Le 285 tipologie di stanza del primo (classi ambientali) sono state associate alle 89 (*Room Type*) del secondo: automaticamente tutti i locali dell'intero distretto sono risultati descritti dai valori di default - corrispondenti agli standard prescritti dalle norme nazionali - dei sei *labels*.

Sull'edificio del caso studio è stata quindi svolta un'indagine per identificare i sei valori reali dei *labels* associabili alle singole stanze in modo da evidenziare il diverso grado di compatibilità dell'uso a cui sono destinate. La conoscenza dei due tipi di valori (di default e reali) è risultata indispensabile per la corretta valutazione delle alternative di progetto.





05 | Modellazione del "San Luca Vecchio"
Modelling of the "San Luca Vecchio" building

sed using the cartographic layouts of the SACS® system, by importing – on a geo-referenced base – the organisation of the individual polylines that define each pavilion and each zone (room) contained therein, including the physical parameters (dimensional) and relative correlated databases (DB). From the two-dimensional geo-referenced file (with hierarchical levels normalised for the above-ground floors) a three-dimensional model was created and defined according to the CityGML modelling methods, pertaining to the LoD2 (level of detail) for the entire hospital building complex and LoD3 for the three pavilions of the "San Luca" complex. The GIS and CityGML modelling was necessary for fitting the case-study into the relative territorial geography, in this way being able to evaluate the aspects relating to the environmental exposure of the buildings and those relating to

the nature and type of connection networks located in the healthcare district. As regards the "San Luca Vecchio" building, a BIM model was developed capable of collecting information about the layout (spatial organisation), the envelope (performance parameters of the building components), and the plants (performance parameters of plant components). The information was collected in homogeneous areas defined on the scale of the individual area (Fig. 5). This organisation made it possible, via the programming of a special tool-stamp, to correlate each BIM with the databanks managed and in use by the SACS® system. The compatibility of the SACS® system with the STREAMER tool was then guaranteed by the univocal matching between the two relative classifications. The 285 types of rooms of the first (environmental classes) were associa-

ted with the 89 (Room Types) of the second: all the rooms of the entire district are automatically described by the default values – corresponding to the standards set down by the national regulations – of the six labels.

An investigation was then conducted on the building in the case-study in for identifying the six real values of the labels that can be associated with the single rooms in order to highlight the different degree of compatibility with the use for which they are intended. Knowledge of the two types of values (default and real) was indispensable for the correct evaluation of the project alternatives.

With regard to the procedures for importing the model, the model and data interchange format used is the IFC (Industry Foundation Classes), an open standard based on classes of pre-defined objects with relative properties

(floor, wall, etc.) that are both expandable (meaning it is possible to add properties outside the standard) and hierarchical (for example, a wall is on a floor inside the building which in turn is inside a site). The uniformity and description a priori of the objects according to the standard make it possible to define the semantic regulations and it is essential to check the information of the model necessary for importation from other software (such as that of energy simulation):

- Consistency of the model (Is a type assigned to each wall? Is the model inside a site?);
- Completeness of the data (Are all the labels present for each area? Are the values included among those permitted?);
- How can the missing data be completed.

Riguardo alle procedure di importazione del modello, il formato di interscambio di modelli e dati utilizzato è l'IFC (Industry Foundation Classes), uno standard aperto basato su classi di oggetti predefiniti con relative proprietà (solaio, muro, etc.), espandibile (è possibile aggiungere proprietà fuori dallo standard) e gerarchico (un muro, ad esempio, sta su un livello all'interno dell'edificio che a sua volta è interno ad un sito). L'uniformità e la descrizione a priori degli oggetti secondo gli schemi dello standard permettono di definire le regole semantiche ed è fondamentale verificare le informazioni del modello necessarie per l'importazione da altri software (come quello di simulazione energetica):

- Coerenza del modello (ad ogni muro è assegnato un tipo? Il modello è all'interno di un sito?);
- Completezza dei dati (per ogni spazio sono presenti tutti i *labels*? I valori sono tra quelli ammessi?);
- Come completare i dati mancanti.

Il caso-studio italiano: simulazione

Sul piano tecnico e al livello attuale della ricerca, l'uso dell'EDC negli interventi di *retrofitting* non è ancora possibile poiché lo strumento non importa modelli e non imposta vincoli (come muri portanti e corpi scala); il punto di partenza per la simulazione non è più un modello semplificato, ma dettagliato. Obiettivo del processo diventa quello di utilizzare strumenti diversi dall'EDC, rendendo lo strumento tradizionale "compatibile" con gli strumenti innovativi del progetto STREAMER.

La *Dashboard* è stata elaborata per funzionare con l'output dell'EDC, con uno standard creato ad hoc per il progetto STRE-

The Italian case-study: simulation

On a technical level and the current level of the research, the use of the EDC in the retrofitting interventions is not yet possible because the tool does not import models or set constraints (such as load-bearing walls and stairwells); the starting point for the simulation is no longer a simplified model, but rather, a detailed one. The objective of the process is to use different tools from the EDC, thus making the traditional instrument "compatible" with the innovative instruments of the STREAMER project.

The *Dashboard* has been developed to function with the EDC output, with a standard created ad hoc for the STREAMER project, differing from the one used by traditional software.

Pending the adaptation of the research project tools to the standards most widely used by the main programmes

(IFC2x3 or IFC4), it was decided to use "bridge" software, SimpleBim, to make the model as similar as possible to the file exported from the EDC.

SimpleBim has had key functions in the process, and namely:

- To control and check the file exported by means of an Excel file in which rules are set, such as a view of the model (inclusion/exclusion of objects and properties) and the validation (setting of the necessary objects and properties and setting of the rules of the properties such as, by way of example, the rule "the value must be >0" for the "Space" set - "Area" property);
- Compatibility with export from EDC and adding of the *labels*: change/add values.

For the energy simulation it was decided to use the Design Builder software (with Energy Plus). The setting of the

AMER, diverso da quello utilizzato dai software tradizionali.

In attesa dell'adattamento degli strumenti del progetto di ricerca agli standard più utilizzati dai principali programmi (IFC2x3 o IFC4), si è scelto di utilizzare un software "ponte", SimpleBim, per rendere il modello quanto più simile al file esportato dall'EDC.

SimpleBim ha avuto funzioni chiave all'interno del processo:

- Controllo e verifica del file esportato tramite un file Excel in cui vengono impostate regole quali la vista del modello (inclusione/esclusione oggetti e proprietà) e la validazione (impostazione di oggetti/proprietà necessari e impostazione delle regole delle proprietà come, ad esempio, per il set "Spazio" - proprietà "Area" - la regola "il valore deve essere >0");
- Compatibilità con export da EDC e aggiunta *label*: modifica/aggiunta di valori.

Per la simulazione energetica si è scelto utilizzare il software Design Builder (con Energy Plus). L'impostazione della simulazione è stata effettuata tramite modelli di occupazione, utilizzo, *setpoint* basati sui *labels* (in modalità classica), in attesa che il software di simulazione CEN, in via di perfezionamento in STREAMER, sia in grado di importare in automatico i *labels* e i relativi valori.

Design Builder consente anche il calcolo di altri due valori, utili all'interno della *Dashboard*, che sono l'emissione di anidride carbonica (da inserirsi in kWh/mq annui) e la qualità del comfort termico (espresso come il numero di ore annue in cui la temperatura dell'aria dell'ambiente è fuori dal range indicato nel *setpoint* delle temperature).

L'esportazione dei risultati avviene tramite foglio di lavoro "csv" che viene direttamente inserito all'interno della *Dashboard*.

L'ultimo passaggio del processo è l'analisi comparativa delle alternative analizzate all'interno della *Dashboard*, che consente il

simulation was carried out using the occupation, use, and set point models based on the labels (in classical mode), while waiting for the CEN simulation software, currently being perfected in STREAMER, to be able to automatically import the labels and relative values. Design Builder also allows for calculating another two values, useful in the *Dashboard*, which are the emission of carbon dioxide (to be entered in kWh/m² per year) and the quality of the technical comfort (expressed as the number of hours per year in which the room temperature of the air is outside the range indicated in the temperature set point).

The exporting of the results takes place via the "csv" worksheet that is directly entered inside the *Dashboard*.

The last step of the process is the comparative analysis of the alternatives analysed in the *Dashboard*, which

make it possible to upload the models and any additional information in IFC format allowing for a better comparison (energy consumption values and KPIs if not included in the IFC file).

For the case-study of the "San Luca Vecchio" building, the following alternatives were used:

0. a. Actual status (real *labels*)
0. b. Actual status (default *labels*)
1. Changes to the layout
2. Improvements to the envelope
3. Improvements to the plants
4. Improvements to the envelope and plants + change to the layout
5. Improvements to envelope + change to the layout
6. Improvements to envelope and plants
7. Improvements to plants + change to the layout

For each alternative the following variables have been used:

caricamento sia dei modelli in formato IFC che informazioni aggiuntive finalizzate alla comparazione (valori di consumo energetico e KPIs se non ricompresi all'interno del file IFC).

Per il caso studio del "San Luca Vecchio" sono state analizzate le seguenti alternative:

0. a. Stato di fatto (*labels* reali)
0. b. Stato di fatto (*labels* di default)
1. Modifica layout
2. Miglioramento involucro
3. Miglioramento impianti
4. Miglioramento involucro e impianti + modifica layout
5. Miglioramento involucro + modifica layout
6. Miglioramento involucro e impianti
7. Miglioramento impianti + modifica layout

Per ogni alternativa sono state utilizzate le seguenti variabili:

- a. *Quality - Thermal Comfort* (Simulazione energetica)
- b. *Energy Consumption* (Simulazione energetica)
- c. *Carbon Emission* (Simulazione energetica)
- d. *Life Cycle Cost*: calcolato grazie al software interno alla *Dashboard* che riconosce l'area di ogni stanza e i *labels* ad esso correlati.

Per ogni parametro è stata impostata la scala per la valutazione: il valore va da 1 a 10 (1 = valore più basso). Dopo questo passaggio si può visualizzare l'analisi basata su tali parametri con i vari punteggi, con la possibilità di pesarli in base alla tipologia di valutazione che si reputa necessaria effettuare (Fig. 6).

- a. Quality - Thermal Comfort (Energy simulation)
- b. Energy Consumption (Energy simulation)
- c. Carbon Emission (Energy simulation)
- d. Life Cycle Cost: calculated thanks to the software in the Dashboard that recognises the surface area of each room and the labels associated to the same.

A rating scale has been set for each parameter for the assessment: the value from 1 to 10 (1 = lowest value). Following this step the analysis can be viewed based on these parameters with their various scores, and it is possible to weigh them depending on the type of evaluation deemed necessary (Fig. 6).

The Italian case-study: extending the management system

The SACS® system manages a series

of summarised data with a structural, organisational and plant engineering nature relating to all the buildings forming part of the Polyclinic of Careggi. It is organised with records corresponding to the individual zones of the buildings. The records can be aggregated one with the other by organising and localising the data on interoperable graphic supports that can be consulted by means of suites accessible from the web in SACSWEB, CAREGIS format and the EUREKA search engine. Each component of the suite offers different views on the same databases. SACS® manages some of the data with its own specific functions, such as dimensional parameters or environmental taxonomy; other information is contained through dynamic views to the Company's databanks, such as that of the personnel, the allocation of the bio-medical equipment, the assets relating

Il caso-studio italiano: potenziamento del sistema di gestione

Il sistema SACS® gestisce una serie di informazioni riassumibili in dati di carattere strutturale, organizzativo ed impiantistico, relativi a tutti gli edifici afferenti al policlinico di Careggi. È organizzato per record corrispondenti ai singoli ambienti degli edifici. I record sono aggregabili tra loro organizzando e localizzando i dati su supporti grafici interoperabili consultabili attraverso una *suite* accessibile via Web formata da SACSWEB, CAREGIS e il motore di ricerca EUREKA. Ogni componente della suite permette viste differenti sui medesimi database. SACS® gestisce alcuni dati con proprie specifiche funzionalità, come i parametri dimensionali o la tassonomia ambientale; altre informazioni vi sono contenute attraverso viste dinamiche a banche dati dell'Azienda, quali ad esempio quella del personale, delle dotazioni delle apparecchiature bio-medicali, degli *asset* relativi agli arredi e dei sistemi e delle tipologie delle componenti impiantistiche e meccaniche. In tal senso il sistema funziona come collettore informativo capace di rappresentare e localizzare i dati per ogni ambito territoriale. L'architettura di SACS® è stata la base sul quale è stato definito il modello BIM. I dati del sistema, in fase di *output*, sono stati correlati alla "zone3D" del BIM implementando il patrimonio informativo del modello e permettendo una semplificazione nella fase di gestione della modellazione. Operativamente le caratteristiche di alcuni elementi connotanti - come la tipologia delle apparecchiature presenti in ogni ambiente dell'edificio o la tipologia e la quantità degli impianti elettrici e meccanici - sono stati caricati sul BIM come dati anziché come singoli oggetti modellati. In fase *input*, le elaborazioni estrapolabili dal modello BIM e rappresentabili sul sistema SACS® riguarderanno sia le caratteristiche fi-

to the furnishings and systems, and the types of installation and mechanical components. In this sense, the system works like an information collector capable of representing and locating the data for each territorial zone.

The SACS® architecture is the basis upon which the BIM model has been defined. The system data, in the output phase, have been correlated with the "zone3D" of the BIM implementing the information assets of the model and allowing for simplification during the modelling management step. In operational terms, the characteristics of some of the connoting elements - such as the type of equipment present in every zone of the building, or the type and quantity of electrical and mechanical plants - have been uploaded in the BIM as data instead of individual modelled elements. In the input phase, the printouts that can be extrapolated from

the BIM model and represented on the SACS® system will concern the physical characteristics of the zones such as the calculations of the effective volumes or the aerial illuminated surface areas or classes of sanitisation of the zones, as well as the specific printouts relating to the energy performance of the buildings, broken down and represented in the scale of the building, in that of the functional areas, down to the individual rooms. In addition, the information, according to one of the cornerstone functions of the BIM systems, can be represented either by its current status or by the status of the project.

The system has therefore been enhanced - currently in relation to only one of the buildings in the case-study - with the data relating to the STREAMER project (Fig. 7): default labels, theoretical labels and KPIs obtained from the energy simulation.

siche degli ambienti, quali ad esempio i calcoli delle volumetrie effettive o delle superfici areoilluminanti o le classi di igienizzazione degli ambienti, sia le specifiche elaborazioni relative alle prestazioni energetiche degli edifici, scomponibili e rappresentabili alla scala del edificio, a quella delle aree funzionali, fino alle singole stanze. Peraltro le informazioni, secondo una delle funzioni caposaldo dei sistemi BIM, potranno essere rappresentate sia per lo stato attuale che per gli stati di progetto.

Il sistema è stato quindi arricchito – attualmente riguardo al solo edificio oggetto del caso studio - con i dati relativi al progetto STREAMER (Fig. 7): *labels* di default, *labels* teorici e KPIs ottenuti dalla simulazione energetica.

Conclusioni

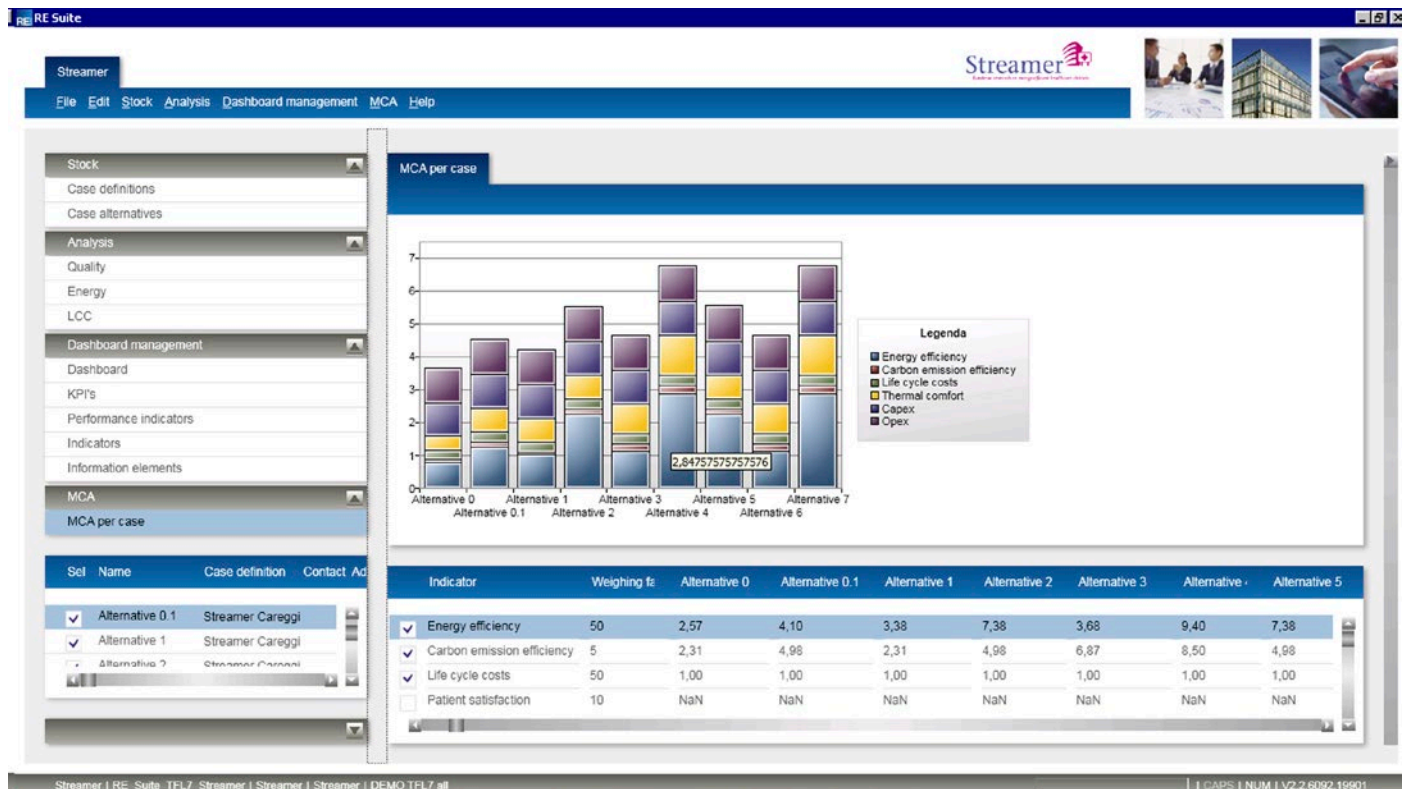
La sperimentazione degli strumenti messi a punto nel progetto STREAMER all'interno delle procedure e dei sistemi di gestione degli interventi di ampliamento e *retrofitting* nel distretto ospedaliero di Careggi è tuttora in corso. I risultati finora raggiunti hanno messo in evidenza le potenzialità di STREAMER, non solo in termini di potenziamento e affinamento delle funzioni previste nel progetto di ricerca, ma anche di un loro sostanziale ampliamento.

Questa possibilità dipende tuttavia dall'allineamento, o quando necessario dall'adeguamento, dei software utilizzati agli standard più diffusi. Lo stesso sistema SACS® richiede continui aggiornamenti che tuttavia, grazie al rapido sviluppo delle ICT, alimentano un costante processo di espansione della piattaforma.

Il progressivo miglioramento dei livelli di compatibilità dei dati e di interoperabilità dei due sistemi, lascia comunque intravedere interessanti prospettive di sviluppo e di innovazione.

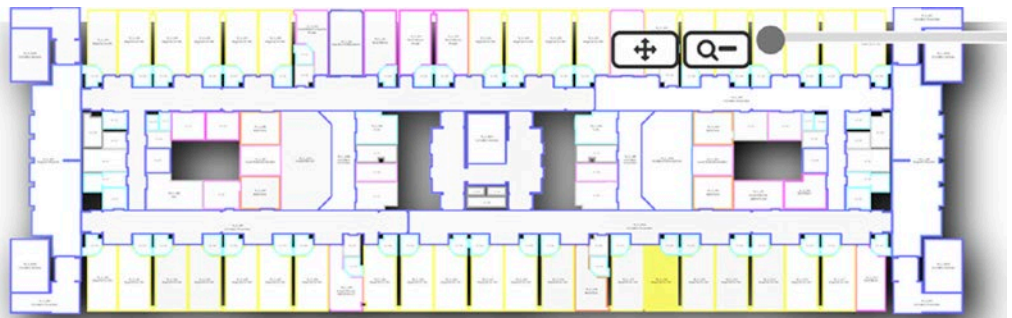
Quello della standardizzazione delle modalità di accesso, interpretazione e scambio dei dati, come quello della definizione di una ontologia semantica condivisibile tra i vari paesi coinvolti nel progetto, era, del resto, una delle sfide previste già in fase di elaborazione del programma di ricerca.

Il progetto ha dovuto quindi fare i conti con le difficoltà e i limiti nello scambio dei dati tra i diversi software utilizzati nella *tool set* della *Dashboard*. Nonostante l'IFC sia ormai uno standard consolidato per importare ed esportare dati in ambienti BIM, il formato non ha ancora assunto quella diffusione (come nel caso dei formati CAD) necessaria a rendere i software che devono rielaborare le informazioni dei modelli BIM realmente interoperabili e affidabili nei risultati.



07 |

- Multiselezione
- Panning
- Legenda
- Azzera selezione



Generali
Organizzazione
Personale
Risorse
Tecnologie
STREAMER

Space Unit: PatientRoom (Room for one or more inpatients)
Classe Energia: 3 - Deg./Bassa Diagn./Altro Blocco Op.
Bouwcollege Layer Class TEORICO: H
Bouwcollege Layer Class REALE: H
Hygienic Class TEORICO: H2
Hygienic Class REALE: H2
Access Security Class TEORICO: A2
Access Security Class REALE: A2
User Profile Class TEORICO: U4
User Profile Class REALE: U4

Conclusions

The experimentation of the tools perfected in the STREAMER project in the procedures and management systems of the enlarging and retrofitting interventions in the hospital district of Careggi is still in progress. The results obtained so far have highlighted the potential of STREAMER, not only in terms of upgrading and refining the functions foreseen in the research project, but also in terms of their substantial expansion. This possibility depends however on the alignment, and where necessary, also on upgrading the software used to the most widely used standards. The same SACS® system requires continuous updates which however, thanks to the rapid development of the ICTS, give rise to a constant expansion process of the platform. The progressive improvement of the

levels of compatibility of the data and the interoperability of the two systems nevertheless allow for glimpsing interesting prospects for development and innovation. Moreover, the challenge of standardising the methods of access, interpretation and exchange of data, as well as the defining of a semantic ontology that could be shared by all the countries involved in the project, has already been envisaged during the phase of developing the research programme. The project has therefore had to tackle the difficulties and limits of the data exchange among the different type of software used in the tool set of the Dashboard. Although the IFC is by now a consolidated standard for importing and exporting data in the BIM environments, the format has not yet assumed the dissemination standard (as in the case of the CAD formats) necessa-

ry for making the software that has to reprocess the information of the BIM models really interoperable and reliable in the results.

ACKNOWLEDGMENT

The research leading to these results has received funding from the European Community's Seventh Framework Programme under Grant Agreement No. 608739 (Project STREAMER).

REFERENCES

- Di Giulio, R., De Hoogh, S., Turillazzi, B., Quentin, C. and Sebastian, R. (2014), "Hospital campus design related with EeB challenges", in Mahdavi, A., Martens, B. and Scherer, R. (Eds.), *ECPPM 2014 - eWorks and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction*, *Proceedings of the 10th European Conference on Product & Process Modelling, Vienna 17-19 September 2014, eeBDM Workshop*, CRC Press/Balkema - Taylor & Francis Group, London, UK, pp. 907-915.
- Hempel, S., Benner, J., Häfele, K.H. and Geiger, A. (2016), "STREAMER Early Design Configurator. A tool for automatic layout generation" in Hájek, P., Tywoniak, J., Lupíšek, A. and Sojková, K. (Eds.), *CESB16 Proceedings 22-24 June 2016, Prague, Czech Republic*, pp. 221-222.
- Iadanza, I., Turillazzi, B., Terzaghi, F., Marzi, L., Giuntini, A. and Sebastian, R. (2015), "The STREAMER European project. Case study: Careggi hospital in Florence", in Lacković, I. and Vasic, D. (Eds.), *6th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering - IFMBE Proceedings 45 - MBEC 2014, 7-11 September 2014, Dubrovnik, Croatia*, Springer International Publishing, Switzerland, pp. 649-652.
- Luschi, A., Marzi, L., Miniati, R. and Iadanza, E. (2013), "A custom decision support information system for structural and technological analysis in healthcare", *IFMBE Proceedings of XIII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing*, vol. 41. Ed. Springer Publishing, Seville.
- Matthyssen A., Gerené, S. (2011), *Introduction to concurrent design and engineering*, Space center EPFL, Lausanne, Switzerland.
- Netherlands Board for Healthcare Institutions (2007), *Building Differentiation of Hospitals. Layers Approach*, Report number 611, Utrecht, The Netherlands.

ACKNOWLEDGMENTS

Il progetto di ricerca è cofinanziato dall'Unione Europea, nell'ambito del Settimo Programma Quadro, con il contratto n. 608739 (Progetto STREAMER).