

Decision-making methods applied to regenerative process of existing buildings

Clara Vite*

Highlights

The retrofitting projects of existing buildings are based on current regulations and using the energy audit methodology. This methodology allows to analyse the building and to identify solutions for energy saving. Can these solutions be considered sustainable or they will only consider the costs and energy savings? If we want to consider more aspects (energy, economic, social, comfort, environmental ...) would we be able to identify the optimal solution?

Abstract

The path traced in construction sector leads to an increased attention to building heritage and its refurbishment into “nearly zero-energy buildings”. The regeneration process of an existing building is complex and requires the designer to use the distinctive features of the building and of its building site in order to achieve the objectives. One of the most important moments of this process is the choice of the interventions. The objective of this research is to identify a replicable decision-making method to support the designer in identifying the optimum solution through the Operations Research.

Keywords

Regeneration of existing buildings, Optimization, Decision-making methods

1. INTRODUCTION

The idea of refurbishing buildings, districts and cities as we know it nowadays, has become part of our lives since the beginning of the twenty-first century, when the sustainable development needs have almost overlapped to the global and European goals to achieve “nearly zero-energy buildings”. These needs have been translated into European Directives, Standard and national or local laws with strictly requirements to achieve a high level of energy efficiency. The attention was focused mainly to the existing buildings, especially residential ones as they represent the 75% of the building heritage. About the 45% of these buildings was built before the 60’s and another large part, about 38%, was built in the period between 1961 and 1990. These was the period of the construction boom when our territories have been built very quickly to the detriment of the quality, these were also years in which the attention to

Clara Vite

DSA – Dipartimento di Scienze per l’Architettura, Università di Genova, Stradone S. Agostino 37, Genova, 16123, Italia

* Corresponding author
Tel.: +39-010-20951816;
e-mail: clara.vite@arch.unige.it

the issue of energy efficiency in building codes was limited or non-existent (Figure 1) [1].

The requests submitted by the European Commission created a virtuous process, leading industry experts to think about the existing refurbishment process and integrating it with a sustainable development. Europe is already including this concept in her goals, and working to transform our territory by 2050 into a “Sustainable Europe”.

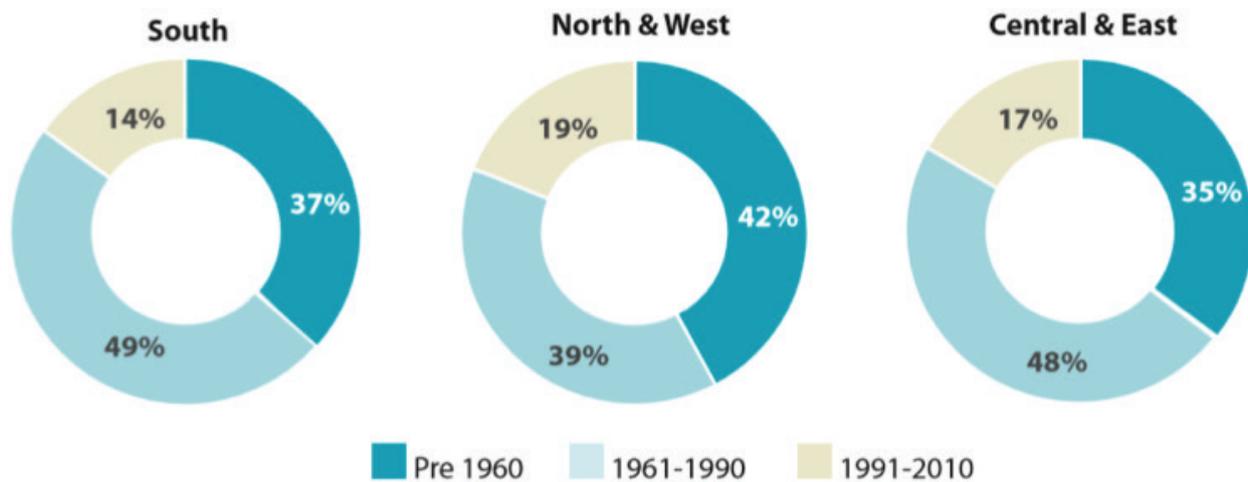


Figure 1. Age categorisation of housing stock in Europe.

These are the prerequisites for the idea of sustainable development. This concept embodies the ambitious idea of finding sustainable solutions for our planet, not only focusing on energy issue.

This research fits into this scenario with the aim of identifying a systematic and replicable methodology for the sustainable renovation of existing buildings, with particular attention to the choice of sustainable solutions using the decision-making theory.

2. STATE OF THE ART

The energy audit is the most used tool to analyse the existing buildings to identify opportunities for energy savings [2]. This methodology has been developed over time with “in situ” experience since the 70s in the United States and then was introduced at European level by Directive 2006/32/EC and implemented in Italy by D. Lgs n. 115/2008.

These laws define energy audit as a systematic procedure to obtain adequate knowledge of the energy consumption profile of a building or group of buildings, of an activity and/or industry or public or private service. This process allows to identify and quantify energy savings opportunities according to cost-

1. INTRODUZIONE

Il concetto di riqualificazione di edifici, quartieri o città come lo conosciamo noi oggi, è entrato a far parte della nostra vita a partire dall'inizio del XXI secolo, quando le esigenze dello sviluppo sostenibile si sono quasi totalmente sovrapposte agli obiettivi del percorso tracciato a livello mondiale ed europeo per raggiungere sistemi edificio/impianto a “energia quasi zero”. Queste esigenze sono state tradotte in direttive europee, norme e leggi nazionali o locali con richieste sempre più restrittive per raggiungere un elevato livello di

efficienza energetica. L'attenzione è stata rivolta principalmente verso gli edifici esistenti ed in particolare a quelli residenziali poiché costituiscono il 75% del patrimonio esistente. Il 45% circa di questa moltitudine di edifici sono stati costruiti prima degli anni '60 e un'altra grande porzione, pari al 38% circa, sono stati costruiti nel periodo tra il 1961 e il 1990. Sono i periodi del boom edilizio quando i nostri territori sono stati edificati molto velocemente a discapito però della qualità, inoltre sono anni in cui le attenzioni per il tema dell'efficienza energetica nei regolamenti edilizi erano limitate o inesistenti (Figura 1) [1].

Le richieste presentate dalla Commissione Europea hanno innescato un processo virtuoso che ha portato gli esperti del settore ad interrogarsi sulla riqualificazione dell'esistente e ad integrare questo concetto con quello di sviluppo sostenibile, che l'Europa già da tempo ha fatto proprio ponendosi l'obiettivo di trasformare il nostro territorio nell'Europa Sostenibile entro il 2050.

Da questi due concetti nasce la riqualificazione sostenibile. Potrebbe sembrare una ripetizione ma questo concetto racchiude in sé l'idea ambiziosa di trovare soluzioni compatibili per il Pianeta, non soffermandosi solo alla questione energetica.

La seguente ricerca si colloca in questo panorama con l'obiettivo di individuare una metodologia sistematica e replicabile per la riqualificazione sostenibile degli edifici esistenti, con particolare attenzione al momento della scelta delle soluzioni compatibili ricorrendo all'ausilio della teoria delle

benefit analysis and to report on results [3]. As can be seen in the definition of the energy audit, it does not consider the whole concept of sustainable development but only the cost balance and benefits from the economic point of view. In energy audit laws there are not specific instruments or indications for designers in order to support their choices. This whole series of “lacks” is understandable because the applicable solutions can be very numerous. No list would be exhaustive, considering that there are different products and technologies, depending on the geographical location, and solutions are constantly evolving, thanks to research for new performing products.

Another limitation that comes out in giving specific advices is that each building is a unique product placed in a specific site. It can have peculiarities not always replicable and generalizable to different boundary conditions. Therefore, the designer must use his sensitivity and preparation to identify the characteristics that can be exploited to identify retrofitting solutions.

The designer normally evaluates all the parameters and the possible techniques/materials that can be used for the regenerative project. After that, he chooses the solutions to be implemented with simple calculations, or based on his own experience, trying to optimize the performance and considering the demands and the goals set by the client. Anyway, if we extend the concept of energy regeneration to sustainable regeneration we have to increase significantly the parameters that must be considered. Consequently, it becomes more difficult to identify the optimal technical solution without the aid of a method that can filter and highlight the hypothesis that satisfies most of its objectives.

In this context, it may be used the Operations Research (OR), also known as Decision Theory or Science of Management, which is specifically intended to provide valuable support to the decision maker in the decision process.

The origins of Operations Research can be found in Sixteenth century, when the pioneers of this discipline began to use a scientific approach to the management of organizations [4]. The real birth of this science, however, is set in the years before the Second World War and in the military sector: the OR was used to decide how to allocate limited resources to the various military operations. The General British Staffs first and then the US ones, required the commitment of scientists that, using a scientific approach, found the solution to this problem in the context of military operations. It was the born of the name “(military) operations research” [5]. The activity of these groups was called Operational Research in the UK and later Operations Research in the United States. These studies on the optimal management of anti-submarine operations and the transfer of the convoys were the winning secret weapon in the battle of the North Atlantic, as defined by the physical Ellis Johnson, the

decisioni.

2. STATO DELL'ARTE

La diagnosi energetica è lo strumento che si è affermato per promuovere l'analisi degli edifici esistenti e per individuare le opportunità di risparmio energetico [2]. Questa metodologia è stata sviluppata nel tempo con l'esperienza sul campo a partire dagli anni '70 negli Stati Uniti sino ad essere introdotta a livello europeo con la Direttiva 2006/32/CE e recepita in Italia con il D. Lgs. 115/2008. In questo decreto legislativo la diagnosi energetica viene definita come “una procedura sistematica volta a fornire un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di una attività e/o impianto industriale o di servizi pubblici o privati, ad individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e riferire in merito ai risultati” [3]. Come si può notare nella dicitura stessa di diagnosi energetica e ancor più nella sua definizione, non si considera l'interessa del concetto di sviluppo sostenibile, ma ci si sofferma a fare un'analisi dell'edificio dal punto di vista del profilo energetico e si mira ad individuare soluzioni che tengano in considerazione solo il bilanciamento dei costi e benefici dal punto di vista economico. Nell'ambito delle norme per la riqualificazione del costruito non vengono specificati gli strumenti, non vengono fornite precise indicazioni al progettista al fine di supportarlo nella scelta delle soluzioni e non vengono individuati dei parametri che dovrebbe tenere in conto nel prendere questa decisione. Tutta questa serie di “mancanze” sono comprensibili poiché le soluzioni applicabili possono essere davvero numerose e nessuna lista sarebbe esaustiva, considerando che il mercato dei prodotti e delle tecnologie è differente, a seconda della localizzazione geografica, ed è anche in continua evoluzione, grazie alla ricerca di prodotti sempre più prestazionali. Un altro limite che si pone nel dare consigli specifici al progettista è che ciascun edificio è un manufatto collocato in un sito specifico, sempre unico nel suo genere, poiché può avere peculiarità non sempre replicabili e generalizzabili e condizioni al contorno differenti. Occorre pertanto che il tecnico ricorra alla propria sensibilità e preparazione per individuare le caratteristiche che possono essere sfruttate per individuare le soluzioni di riqualificazione. Nella pratica il progettista normalmente valuta tutti i parametri e le possibili tecniche/materiali che può impiegare per il progetto di riqualificazione e fa una scelta delle soluzioni da realizzare con dei semplici calcoli o sulla base della propria esperienza, cercando di ottimizzare le prestazioni e tenendo in considerazione le richieste e degli obiettivi posti dal committente. Se ampliamo però il concetto di riqualificazione energetica a quello di riqualificazione sostenibile, aumentiamo anche i parametri che devono essere considerati, pertanto risulterà più difficile al tecnico individuare la soluzione ottimale senza l'ausilio di un metodo che possa filtrare ed evidenziare l'ipotesi che soddisfa al meglio gli obiettivi prefissati. In questo contesto si inserisce la Ricerca Operativa, comunemente indicata con l'acronimo RO, anche conosciuta come Teoria delle decisioni o Scienza della Gestione, che ha proprio lo scopo di fornire al decisore un valido supporto nel processo decisionale.

US military office director of Operations Research (Figure 2).

This approach was very successful and was employed in the following years in other sectors to address the problems generated by the post-war industrial boom and by the increase of complexity and specializations. The first applications took place in the oil industry because only big companies could afford this type of study. In the 60s, it was used in the services and public administration sector.

The first associations of Operations Research were founded in these years and they are still in existence:

- in Great Britain in 1948 the “OR Society” (www.theorsociety.com),
- in 1952 in USA the “ORSA – Operations Research Society of America” now called “INFORMS – Institute For Operations Research and Management Science” (www.informs.org) and
- in 1961 the Italian “AIRO – Associazione Italiana Ricerca Operativa” (www.airo.org).

There is no single codified and globally accepted definition of Operations Research since each association wrote its definition. So in this paper it is shown only the English one because it highlights that the fundamental aspect of this discipline is to help the decision-maker in the complex problems of the real world, even if this research can become abstract and divorced from reality.

“Operational Research is the application of the methods of science to complex problems arising in the direction and management of large systems of men, machines, materials, and money in industry, business, government, and defence. The distinctive approach is to develop a scientific model of the system, incorporating measurements of factors such as chance and risk, with which to predict and compare the outcomes of alternative decisions, strategies, or controls. The purpose is to help management determine its policy and actions scientifically” [6] [7].

Operations Research has got a rapid spread and growth for two main factors: the first is the encouragement that was given to scientists who participated in the research groups during the war and that determined the progress of the OR techniques; the second is the computer revolution, which could provide the resources to perform calculations of this magnitude. This second factor was decisive because it allowed since 1980, with the increase of the potential of personal computers, to make accessible the OR to a growing number of people.

Nowadays the operations research can have multiple software, including also some free, and is used and appreciated in many sectors. These are some

Le origini della Ricerca Operativa si possono riscontrare nel XVI secolo, quando i precursori di questa disciplina incominciarono ad impiegare un approccio scientifico alla gestione delle organizzazioni [4]. La vera e propria nascita di questo settore però è fissata negli anni precedenti alla Seconda Guerra Mondiale e nell'ambito militare: la RO era usata per decidere a quali tra le diverse operazioni militari e a quali specifiche attività assegnare le poche risorse disponibili rimaste. Gli stati maggiori britannici in primis, poi anche quelli statunitensi, richiesero l'impegno di scienziati che, tramite un approccio scientifico, trovasse la soluzione a questo problema nell'ambito delle operazioni militari, da qui nacque il nome di ricerca nelle operazioni (militari) [5]. L'attività di questi gruppi venne chiamata Operational Research in Gran Bretagna e successivamente Operations Research negli Stati Uniti. Gli studi condotti sull'ottimale gestione delle operazioni antisommergibili e sul trasferimento dei convogli furono "l'arma segreta vincente" nella battaglia del Nord Atlantico, come la definì il fisico Ellis Johnson, direttore dell'ufficio militare statunitense della Ricerca Operativa (Figura 2).

Questo approccio ebbe un grande successo e fu impiegato negli anni successivi anche in altri settori per far fronte ai problemi generati dal boom industriale post bellico, con il relativo aumento della complessità e delle specializzazioni. Le prime applicazioni civili si ebbero nel campo dell'industria petrolifera poiché inizialmente solo le grandi industrie potevano permettersi studi di questo tipo. Negli anni '60 fu impiegata anche nel settore dei servizi e della pubblica amministrazione.

E' proprio in questi anni che nascono le prime associazioni di Ricerca Operativa e che sono ancora oggi esistenti: in Gran Bretagna nacque nel 1948 la "OR Society" (www.theorsociety.com), nel 1952 negli Stati Uniti la "ORSA – Operations Research Society of America" che oggi si chiama "INFORMS – Institute For Operations Research and Management Science" (www.informs.org) e nel 1961 nacque l'italiana "AIRO – Associazione Italiana Ricerca Operativa" (www.airo.org).

Non esiste un'unica definizione codificata e globalmente accettata della Ricerca Operativa poiché ciascuna associazione ha scritto una propria definizione, pertanto si riporta solo quella data dall'associazione inglese poiché evidenzia l'aspetto fondamentale di questa disciplina che è quello di aiutare il decisore nella trattazione di problemi complessi del mondo reale, anche se questa ricerca può diventare astratta e avulsa dalla realtà.

La Ricerca Operativa è "l'applicazione di metodi scientifici per la soluzione di problemi complessi che nascono nella direzione e gestione di grandi sistemi di uomini, macchine materiali e denaro nell'industria, affari, amministrazione e difesa. L'approccio caratteristico della Ricerca Operativa è lo sviluppo di un modello matematico del sistema, che incorpora la misurazione di fattori di casualità e di rischio, mediante il quale predire e confrontare i risultati di decisioni, strategie e controlli alternativi. Lo scopo consiste nell'aiutare i decisori a determinare scientificamente la loro politica e le loro azioni" [6] [7].

La Ricerca Operativa ha avuto una rapida diffusione e crescita per due principali fattori: il primo è l'incoraggiamento che venne dato

examples are to present the variety of applications [8]:

- Finance: choice of investments, determining the price of financial derivatives ...
- Industry: production-planning, distribution of the workforce, inventory management, location and size of the plants, shifts rotation...
- Telecommunications: network design, determination of network capacities...
- Public Administration: water resources planning, performance evaluation of schools or hospitals...
- Transport: optimization of the rail network, vehicles journey...
- Construction: optimal shape, structural design, construction site management...

The operational research is not born for the building sector but it has been introduced in this area, because of its potential. These are some examples of OR applications: to determine the optimal shape as a function of one or more parameters such as free solar gain; designing the optimal structure depending on the wind or the stress caused by an earthquake; to manage the construction site or the whole project by optimizing the sequence of the various activities to minimize time and so on. Other applications could be listed, but what is important is that this discipline can also be used for sustainable regeneration of existing buildings in order to optimize the designer's choices, considering not only the energy and economic parameters, but also all those required for the process to be truly defined sustainable.

agli scienziati che parteciparono ai gruppi di ricerca durante la guerra e che determinò il progresso delle tecniche della RO; il secondo invece è la rivoluzione informatica, che poté fornire le risorse per eseguire calcoli di questa portata. Questo secondo fattore fu determinante perché permise dal 1980 in poi, con l'incremento delle potenzialità dei personal computer, di rendere fruibile la RO ad un sempre maggior numero di persone.

Ai giorni nostri la ricerca operativa può disporre di molteplici software, tra i quali anche alcuni gratuiti, ed è usata e apprezzata in molteplici campi. Si riportano alcuni esempi nei vari settori per presentare le possibili applicazioni [8]:

- Finanza: scelta degli investimenti e delle quote da investire, determinazione del prezzo di derivati finanziari, ...
- Industria: pianificazione della produzione, distribuzione della forza lavoro, durata dei processi, gestione delle scorte, localizzazione e dimensionamento degli impianti, turni di lavoro, ...
- Telecomunicazioni: progettazione delle reti, determinazione della capacità delle reti, ...
- Amministrazione pubblica: pianificazione delle risorse idriche, valutazione delle prestazioni di scuole o ospedali,
- Trasporti: sequenziamento dei processi ad esempio nella rete ferroviaria, determinazione dei percorsi dei veicoli, ...
- Costruzioni: determinazione della forma ottimale, progettazione strutturale, gestione del cantiere,

La ricerca operativa non è prettamente nata per il settore delle costruzioni ma vista la sua potenzialità è stata introdotta anche in questo ambito, come già anticipato, ad esempio per i seguenti scopi: determinare la forma ottimale in funzione di uno o più parametri come ad esempio l'apporto solare gratuito; progettare la struttura ottimale in

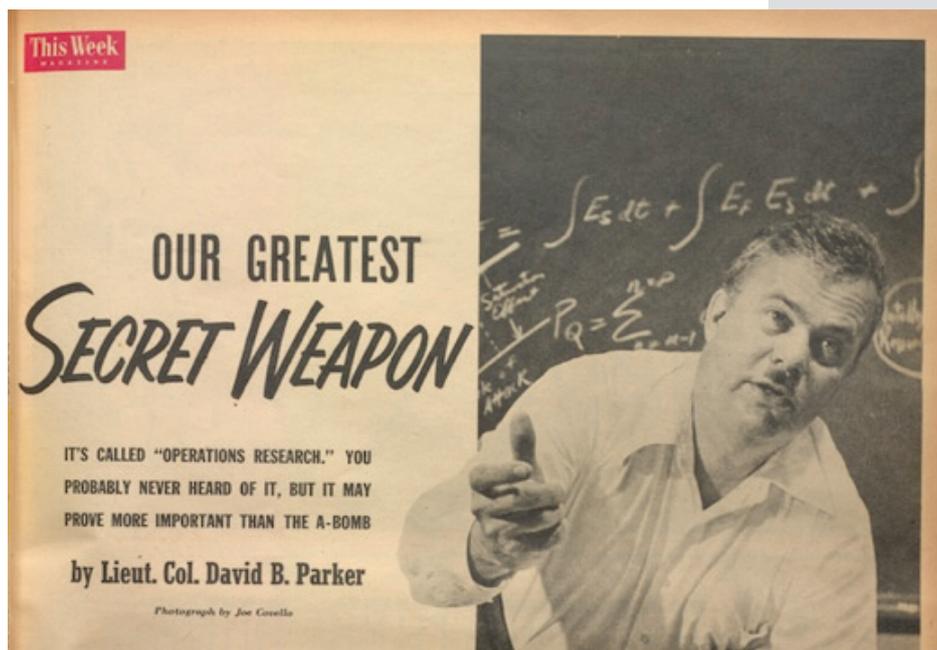


Figure 2. Historical image of "This Week Magazine" in the post-war period show Ellis Johnson with his revelation about "Greatest Secret Weapon".

3. METHODOLOGY

The presented research aims to identify a systematic and replicable methodology for the sustainable renovation of existing buildings, with particular attention at the choice of sustainable solutions using the decision theory.

The proposed methodology for the sustainable retrofitting process is not only the result of a theoretical study, but it also has been verified through the application of real cases. Consequently, it was possible to evaluate that it might become a valid and replicable “guide”, whatever the size and the type of the building considerate. Among the various projects that have been used for testing the methodology, we want to quote the project funded by the European Commission under the Seventh Framework Programme called “R2CITIES – Residential Renovation towards nearly zero energy CITIES”.

The proposed methodology takes into account several aspects: constructive/innovative, managerial, economic, environmental, integration between all stakeholders, user involvement, methods to support decisions... All these issues of the complex procedure for retrofitting are declined in four key aspects: management of the entire design process, from the audit to verifications of results; technical aspect in order to develop the process, from data collection to final test; verification of sustainable indicators; digitalization of the entire process through the use of Building Information Modelling (BIM) [9] [10]. These four aspects cross the entire project from diagnosis phase to the execution and the evaluation of the results obtained (Figure 3).

The research was then focused on a specific “moment” of the entire process, which is considered one of the crucial steps for the success of the project: the choice of one or more sustainable solutions.

In this research of the best technical solution, we must fulfil several tasks:

- Identifying the project objectives based on customer requests and the results obtained from the analysis of the building. Possible targets may be summarized in the three pillars of sustainable development: environmental, social and economic. Some examples are reduction of energy consumption, elimination of situations of discomfort...
- Evaluating the characteristics of the building and boundary conditions that can be used to achieve targets. The aspects to be assessed are many and we can enclose them in three categories: environmental (such as climate, the morphology of the site, the local characteristics), typological (the shape and orientation) and detail (materials, construction and technical constructive elements) [11].
- Identifying a set of solutions that optimize aspects previously identified

funzione del vento o delle sollecitazioni dovute da un sisma; gestire il cantiere o l'intero progetto ottimizzando la sequenza delle varie attività per minimizzare i tempi; ... Si potrebbero elencare altre applicazioni ma quello che interessa è che questa disciplina può essere estesa anche al campo della riqualificazione sostenibile al fine di ottimizzare le scelte del progettista, tenendo in conto non solo dei parametri energetici ed economici, ma di tutti quelli necessari affinché il processo possa essere davvero definito sostenibile a 360°.

3. METODOLOGIA

La ricerca presentata ha l'obiettivo di individuare una metodologia sistematica e replicabile per la riqualificazione sostenibile degli edifici esistenti, con particolare attenzione al momento della scelta delle soluzioni compatibili ricorrendo all'ausilio della teoria delle decisioni.

La metodologia proposta per il processo di riqualificazione sostenibile dell'esistente è frutto, non solo di uno studio teorico, ma anche di una verifica sul campo attraverso l'applicazione su casi reali con i quali è stato possibile verificare e affinare la metodologia affinché diventasse una “guida” valida e replicabile, indipendentemente dalla dimensione del costruito e della destinazione d'uso.

Tra i vari progetti che sono stati oggetto di sperimentazione della metodologia per la riqualificazione sostenibile dell'esistente, si vuole citare il progetto finanziato dalla Commissione Europea con il Settimo Programma Quadro denominato “R2CITIES – Residential Renovation towards nearly zero energy CITIES”.

La metodologia proposta tiene in considerazione gli aspetti costruttivi/innovativi, gestionali, economici, ambientali, l'integrazione tra tutti i soggetti interessati, il coinvolgimento degli utenti, i metodi per supportare le decisioni, ... Tutte queste sfaccettature del complesso procedimento per la riqualificazione sono declinate in quattro aspetti chiave: la gestione (o management) del processo progettuale, dalla diagnosi sino alla verifica dei risultati attesi; gli aspetti tecnici per poter realizzare il processo, dalla raccolta dei dati sino al collaudo; la verifica degli indicatori di sostenibilità e la sperimentazione di una completa digitalizzazione dell'intero processo tramite l'ausilio del Building Information Modelling (BIM) [9] [10]. Questi quattro aspetti percorrono parallelamente tutto il progetto di riqualificazione dell'esistente dall'analisi dello stato di fatto, alla progettazione delle azioni di riqualificazione sino ad arrivare all'esecuzione dei lavori e alla valutazione dei risultati ottenuti (Figura 3).

La ricerca è stata orientata successivamente su uno specifico “momento” dell'intero processo poiché è ritenuto uno dei passaggi cruciali per la riuscita del progetto: la scelta di una o più soluzioni di riqualificazione sostenibile.

Nella ricerca della soluzione ottimale il tecnico dovrà compiere diverse operazioni:

- *Individuare gli obiettivi del progetto sulla base delle richieste del committente e sui risultati ottenuti dalla fase di analisi dello stato di fatto e conoscenza dell'edificio. Gli obiettivi possibili possono essere racchiusi nei tre pilastri dello sviluppo sostenibile:*

to allow reaching the goals set. In this case, we speak of a set of solutions and not of a single, because thanks to the variety of products that are available on the market it is possible to achieve the same goals with similar solutions.

- Finally identifying the solution that is most closely to the ideal solution, and made a ranking of all the alternatives identified.

ambientali, sociali ed economici. Alcuni esempi possono essere: riduzione del consumo di energia, eliminazione delle situazioni di discomfort, aumento del valore dell'immobile, ...

- Valutare le peculiarità e potenzialità dell'edificio e delle condizioni al contorno che possono essere utilizzate per raggiungere gli obiettivi prefissati. Gli aspetti che devono essere valutati sono molteplici

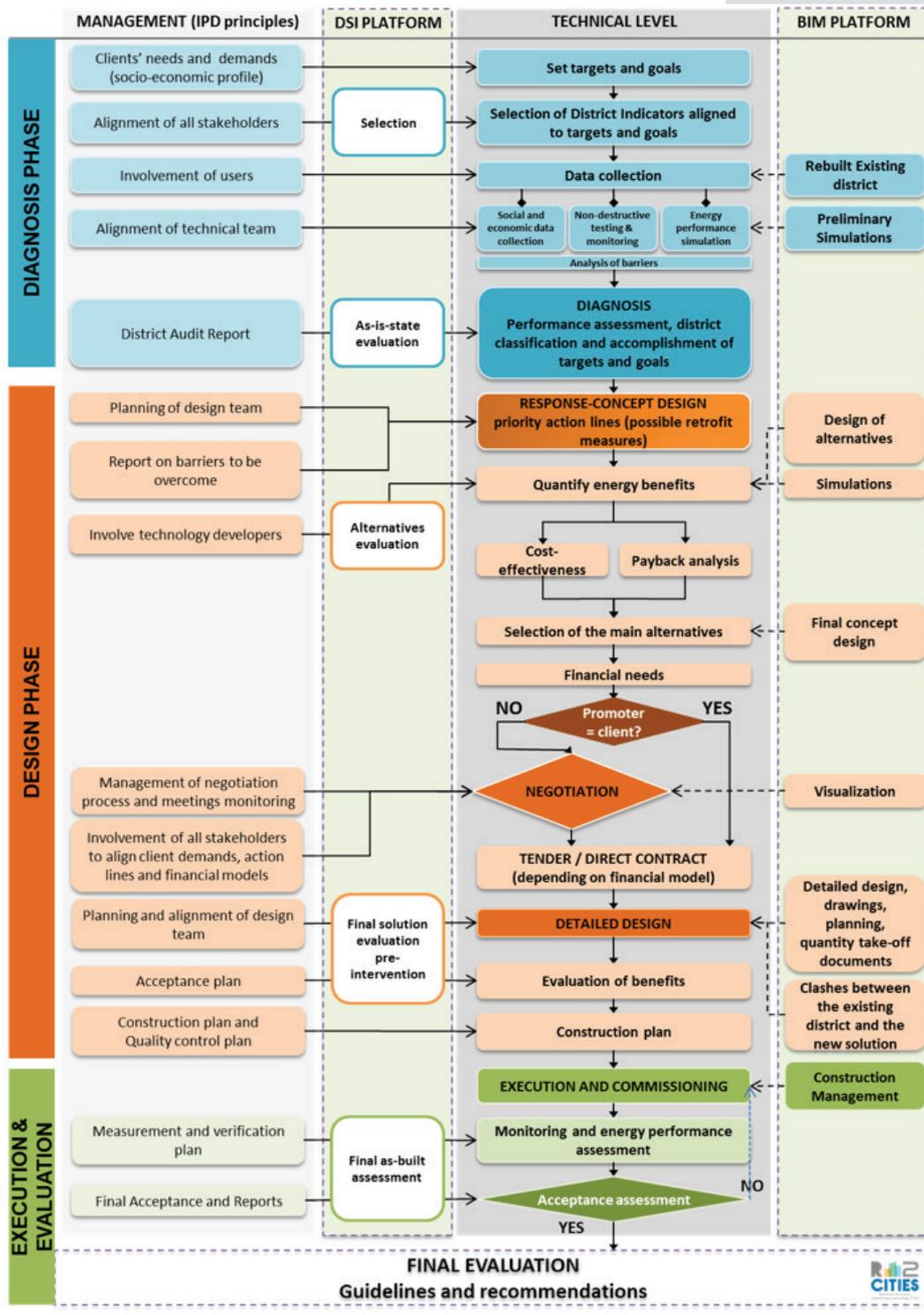


Figure 3. Proposed methodology for sustainable project.

This is a complex process, but if you consider a few variables, a designer, in his daily work, is accustomed and able to solve it. However, if we expand the problem and increase the variables, it is necessary the help of a scientific approach as the Operations Research allowing the identification of the best solution [12].

Taking a practical example, if we set targets to reduce energy consumption and minimize costs, it is possible to find more solutions that meet these two goals: the insulation of the roof, substitution of the regulatory system, the replacement of windows... For each hypothesis, we can find similar solutions by the varying of some parameters, for example in the insulation case is possible to choose different insulating materials as a function of the performance and the costs. Then is necessary to find which of these solutions is closest to the ideal solution, which in this case is to reduce to zero the energy consumption without spending anything. It is clear that there are two problems: the first is to identify a whole range of solutions that modify the initial condition towards the targets, while the other is to find which among all these solutions allows getting closer to the goals. The difference between these two issues is not so clear and it can be a reiterative process to find the best solution. In the Operations Research these two different problems are defined as Multi Objective Decision Making (MODM) and Multi Attribute Decision Making (MADM) [13] [14].

Before you can go into the details of the two methodologies, it is necessary to examine some of the terminology typically used in this discipline and define the precise meaning.

The alternatives, already widely mentioned with the term of solutions, are the decisions which the decision maker has available.

The attribute indicates a characteristic or quality of the alternatives (e.g. in the case of an insulating material may be price, conductivity, density...).

When it is pointed out that an attribute makes more attractive an alternative, it becomes criterion.

The criterion is divided into objective, that indicates the purpose that you want to achieve as much as possible, and goal, or even defined target, you want to achieve.

Finally, the constraints are the conditions that must be respected.

The difficult to distinguish between attribute and criterion is just the same that is found in distinguishing the multi-objective problems by multi-attribute ones.

When there are one or more objectives is necessary to use the multi-objective decision-making methods (MODM) to obtain several alternatives that allow

e possiamo racchiuderli in tre categorie: ambientali (come il clima, la morfologia del sito, le caratteristiche locali), tipologici (la forma e l'orientamento) e di dettaglio (materiali, elementi costruttivi e tecniche costruttive) [11].

- *Individuare un insieme di soluzioni che ottimizzando gli aspetti, precedentemente individuati, permettano di raggiungere gli obiettivi fissati. In questo caso parliamo di un insieme di soluzioni e non di una singola, poiché grazie alla varietà dei prodotti che sono disponibili sul mercato e alla molteplicità degli aspetti che possono essere considerati è possibile ottenere soluzioni simili per gli stessi obiettivi.*
- *Identificare infine la soluzione che maggiormente si avvicina a quella ideale, realizzando una classifica di tutte le alternative individuate.*

Come si evince da questa spiegazione è un procedimento complesso, ma se si considerano poche variabili un tecnico, nella sua quotidianità lavorativa, è abituato e capace a risolverlo. Volendo invece ampliare il problema e aumentare le variabili, occorre l'ausilio di un approccio scientifico come la Ricerca Operativa che permetta di individuarne la soluzione [12].

Facendo un esempio pratico, se poniamo gli obiettivi di ridurre il consumo energetico e di minimizzare i costi si potranno trovare più soluzioni che soddisfino le due richieste: ad esempio l'isolamento della copertura, la modifica del sistema di regolazione, la sostituzione dei serramenti, ... Di ciascuna ipotesi si potranno trovare soluzioni simili al variare di alcuni parametri, ad esempio nel caso dell'isolamento potrà variare la scelta del materiale isolante in funzione delle prestazioni e dei relativi costi. Successivamente occorre trovare quale tra queste soluzioni si avvicina maggiormente alla soluzione ideale, che in questo caso è ridurre a zero il consumo di energetica senza spendere nulla.

È chiaro che esistono due problemi: il primo è quello di individuare tutta quella gamma di soluzioni che modificano la condizione iniziale verso gli obiettivi posti, mentre l'altro è quello trovare quale tra tutte queste soluzioni permette di avvicinarsi di più agli obiettivi. La distinzione tra i due problemi non è così netta poiché può essere un processo reiterativo nel quale si cerca di trovare la soluzione sempre più prossima a quella ideale.

Nell'ambito della ricerca operativa questi due differenti problemi sono definiti come problemi multi obiettivo o Multi Objective Decision Making (MODM) e problemi multi attributo o Multi Attribute Decision Making (MADM) [13] [14].

Prima di poter scendere nei dettagli delle due metodologie occorre soffermarsi su alcune terminologie tipicamente usate in questa disciplina e definirne il significato preciso.

Le alternative, già ampiamente menzionate con il termine di soluzioni, sono le decisioni che il decisore ha a disposizione.

L'attributo indica una caratteristica o qualità delle alternative, ad esempio nel caso di un materiale isolante potrebbero essere il prezzo, la conducibilità, la densità, ...

Quando si precisa la direzione che un attributo rende un'alternativa più

achieving the goal, without knowing which the ideal solution is.

In Figure 4, the dots represent the solutions of the problem, set two criteria that define the plane on which lie the alternatives. If we need to solve a problem with three criteria, we would not find solutions on the plane C1, C2, but in a space defined by C1, C2, C3.

The multi-attribute decision-making methods (MADM) are used to identify the optimal decision between a finite numbers of alternatives. A problem of this type can be represented in a matrix form [m, n] in which the An columns represent the attributes and dm lines represent alternatives (Figure 5).

There are several methods to find the optimal solution to multi-attribute problems, which allow scaling the criteria, to identify the exact location of the ideal solution and to evaluate the distance from it of each alternative.

attraente, esso si trasforma in criterio. Il criterio a sua volta è suddiviso in obiettivo, che indica lo scopo che si vuole perseguire quanto più possibile, e goal, o anche definito bersaglio, che consiste in uno stato che si vuole raggiungere.

Infine i vincoli sono le condizioni che il vettore di decisione devono rispettare.

La sottile e difficile distinzione tra attributo e criterio è proprio la stessa che si riscontra nel distinguere i problemi multi obiettivo dai problemi multi attributo.

I metodi decisionali multi obiettivo vengono impiegati quando si hanno uno o più obiettivi, si ottengono così infinite alternative che permettono di perseguire quanto più possibile l'obiettivo, senza sapere però qual è e se esiste nella realtà la soluzione ideale. Come rappresentato in Figura 4 i pallini rappresentano le soluzioni del problema, fissati due criteri che definiscono il piano su cui si trovano le alternative. Se ipotizzassi di risolvere un problema con tre criteri non troveremmo più le soluzioni sul piano

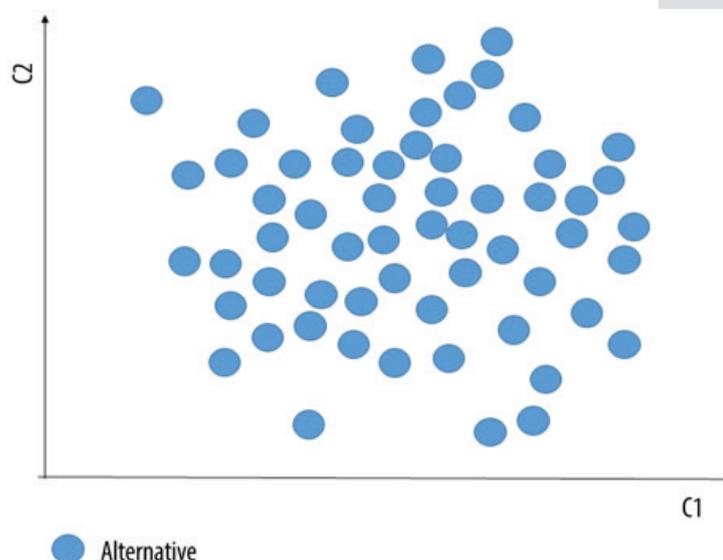


Figure 4. Representation on plane C1, C2 of the possible alternatives or decisions.

| | Attribute | | | | |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|-----------------|
| | A ₁ | A ₂ | A ₃ | ... | A _n |
| d ₁ | x ₁₁ | x ₁₂ | x ₁₃ | ... | x _{1n} |
| d ₂ | x ₂₁ | x ₂₂ | x ₂₃ | ... | x _{2n} |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| d _m | x _{m1} | x _{m2} | x _{m3} | ... | x _{mn} |

Figure 5. Representative matrix of a multi-attribute decision-making problem.

In this paper we present the example of the resolution with the Technique for Ordiner of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) (Figure

C1, C2 ma in uno spazio definito da C1, C2, C3.

I metodi decisionali multi attributo si utilizzano per individuare la decisione

6) [12] [14] [15]. This method sorts the alternatives considering the distance from the ideal solution, which is artificial and utopian and at the same time trying to maintain much distance as possible to the other artificial solution, the anti-ideal. The ideal solution is created by taking the highest value for each criterion while the anti-ideal is constructed by taking smaller values. Then the distances of each alternative are evaluate realizing a ranking of the decisions from the closer to the ideal solution up to farther. The best solution in the example shown in Figure 6 is the C and the worse is the E.

The objective of this research, as already mentioned, is to identify a method that allows in case of sustainable regeneration project to use the MODM and MADM methods to define with greater objectivity the best solution. The goal is to find a vector of solutions on varying of predetermined aspects; then it is necessary to find a method to sort this vector, through the evaluation of each solution with a series of attributes. Six aspects could represent all these attributes:

- Energy: final energy consumption, energy saving, degree of compliance with national standards, ...
- Cost: cost of the intervention, incentives, cost of maintenance, ...
- Comfort: visual comfort, indoor air quality, well-being index PMV, ...
- Environmental: CO2 emissions, life cycle analysis, ...
- Social: degree of user satisfaction, degree of liveability, ...
- Urbanistic: change of public spaces, impact on urban transport, ...

Each attribute must be in numeric forma, so if we have a qualitative indication it should be transform by assigning a score to a predetermined scale. Furthermore, it is possible to give to each attribute a greater or lesser importance, depending on the goals of the project, by a weight vector, which is the exact transposition of the targets set.

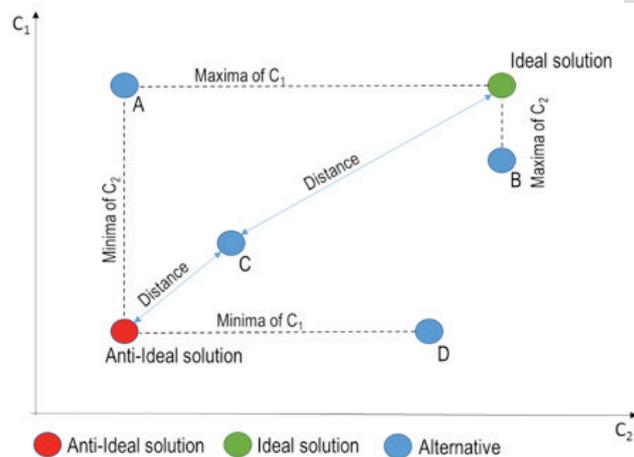


Figure 6. Graphic resolution of a problem with multi-attribute method (TOPSIS).

ottimale tra un numero finito di alternative. Un problema di questo tipo può essere rappresentato in una forma matriciale mediante una matrice $[m,n]$ il cui generico elemento x_{ij} rappresenta il valore dell'attributo j -esimo per l'alternativa i -esima, le colonne A_n rappresentano gli attributi e le righe d_m rappresentano le alternative (Figura 5). Esistono vari metodi che permettono di trovare la soluzione ottimale a problemi multi attributo, scalando i criteri e identificando la collocazione esatta della soluzione ideale, così da poter valutare la maggior o minore vicinanza di ciascuna alternativa.

Si riporta l'esempio della risoluzione con la Tecnica per la costruzione di Preferenze di tipo Ordinale mediante Somiglianza con una Soluzione Ideale (TOPSIS) (Figura 6) [12] [14] [15]. Questo metodo ordina le alternative valutando la distanza dalla soluzione detta ideale, che è fittizia e utopistica, e al tempo stesso cerca di mantenere la maggior distanza dall'altra soluzione fittizia, quella anti ideale. La soluzione ideale viene costruita prendendo il valore più elevato per ciascun criterio mentre quella anti ideale viene costruita prendendo i valori minori. Si prosegue poi a valutare le distanze di ciascuna alternativa realizzando una classifica delle decisioni da quella più vicino alla soluzione ideale sino a quella più lontana. Nel caso ipotetico riportato in Figura 6 la soluzione migliore è la C mentre la peggiore è la E.

L'obiettivo di questa ricerca come già anticipato è quello di individuare un procedimento che permetta nel caso della riqualificazione sostenibile di impiegare i metodi MODM e MADM per definire con maggiore oggettività la soluzione migliore. Pertanto fissato uno o più obiettivi si vuole trovare un vettore di soluzioni, al variare di parametri prestabiliti; successivamente poi si intende trovare un metodo per ordinare questo vettore, attraverso la valutazione di ciascuna soluzione con una serie di attributi che possono essere racchiusi in sei aspetti. Si riportano alcuni esempi di attributi per ciascun aspetto:

- Energetici: consumo finale di energia, risparmio energetico, grado di conformità alle norme nazionali, ...
- Economici: costo dell'intervento, incentivi, costo di manutenzione, ...
- Benessere abitativo: comfort visivo, qualità dell'aria interna, indice di benessere PMV, ...

4. CONCLUSIONS

The research about sustainable retrofitting process allow us to verify the presented methodology and to consider it valid tool to use in different cases, from single buildings to entire districts.

The specific research on the decision-making phase is still ongoing. In this moment, it has led us to identify the presented phases of decision-making process and the attributes that can be used to evaluate the solutions. This study highlighted the validity of the application of Operations Research to this kind of problems. The difficult of it use it is the necessity of a mathematical, statistical and specific software knowledge. A second limit that also could be an ambitious idea for the future of this work, it is the identification of a system that can connect, not only all the software necessary to complete this process, but also the same with new generation tools, like the Building Information Modelling (BIM).

5. REFERENCES

- [1] Europe's buildings under the microscope, Buildings Performance Institute Europe (BPIE); 2011.
- [2] Dall'O.G., *Green Energy Audit*, Milano: Edizioni Ambiente; 2011.
- [3] Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE, Decreto Legislativo, n. 115 del 2008.
- [4] Gass S.I., Assad A.A., *An annotated timeline of operations research: an informal history*, New York: Springer-Verlag; 2005.
- [5] Hillier F.S., Lieberman G.J, *Introduction to Operations Research*, 9 edition, New York: McGraw-Hill Science/Engineering/Math; 2009.
- [6] Tadei R., Croce F. Della, *Elementi di ricerca operativa*, Bologna: Società Editrice Esculapio; 2010.
- [7] Duckworth W.E., Gear A.E., Lockett A.G., *A Guide to Operational Research*, Dordrecht: Springer Netherlands; 1977.
- [8] Serafini P., *Ricerca Operativa*, Milano: Springer Milan; 2009.
- [9] Morbiducci R., Vite C., Applications of a methodology for a sustainable requalification project, In: Atti del 48° congresso internazionale ACROSS: Architectural Research through to Practice, Genova, 10-13 dicembre 2014. Genova Univeristy Press; 2014. p. 529-540.
- [10] García-Fuentes M.A. [et al.] Residential areas retrofitting towards nearly Zero Energy Districts (nZED). A case study: Valladolid-Cuatro de Marzo, In Madrid: GBCe; 2014. pag. 236-42.
- [11] Dassori E., Morbiducci R., *Costruire l'architettura*, Milano: Tecniche Nuove; 2011.
- [12] Mounier N., *A Strategy for Using Multicriteria Analysis in Decision-Making: A Guide for Simple and Complex Environmental Projects*, 2011 edition. New York: Springer; 2011.
- [13] Hwang C.-L., Yoon K., *Multiple Attribute Decision Making*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 1981.
- [14] Tzeng G.-H., Huang J.-J., *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, 1 edition. New York: CRC Press; 2011.
- [15] Chen S.-J., Hwang C.-L., *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 1992.

- Ambientali: emissioni di CO₂, analisi del ciclo di vita, ...
- Sociali: grado di soddisfazione degli utenti, grado di vivibilità, ...
- Urbanistici: modifica degli spazi pubblici, impatto sui trasporti urbani, ...

Ciascun attributo deve essere ricondotto ad una forma numerica quindi nel caso si abbia un'indicazione qualitativa deve essere trasformata tramite l'attribuzione di un punteggio in una scala prefissata. Inoltre a ciascun attributo può essere attribuita un'importanza maggiore o minore, in base allo scopo del progetto di riqualificazione dell'esistente, tramite un vettore dei pesi che è l'esatta trasposizione degli obiettivi fissati.

5. CONCLUSIONI

La ricerca svolta sul processo di riqualificazione sostenibile del costruito ha permesso di verificare la metodologia presentata e di renderla un valido strumento da impiegare in diverse casistiche, sia al variare delle dimensioni, dal singolo edificio a interi quartieri, sia al variare delle destinazioni d'uso.

La specifica ricerca sulla fase decisionale delle soluzioni ottimali è ancora in fase di sviluppo. Per ora ha condotto a individuare le fasi presentate del processo decisionale nel caso di un progetto di riqualificazione e gli attributi che possono essere impiegati per valutare un insieme di soluzioni. Inoltre ha evidenziato sia la validità dell'applicazione della Ricerca Operativa a problematiche di questo tipo sia anche la poca diffusione dovuta principalmente alla necessità di una conoscenza matematica e statistica e di un'abilità di utilizzo di software specifici. Un altro limite attuale e spunto ambizioso per il futuro di questo lavoro, è l'individuazione di un sistema che possa correlare, non solo tutti i software necessari per portare a termine questo processo, ma anche gli stessi con strumenti di nuova generazione come il Building Information Modelling (BIM).