

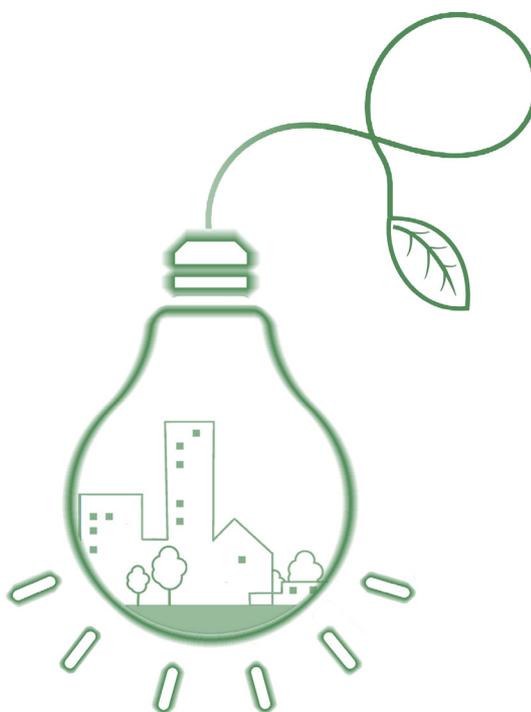
POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Architettura Costruzione Città (LM - 4)



Tesi di Laurea Magistrale
A.A 2018-2019

**Quartieri urbani sostenibili: Un processo di valutazione
supportato dall'analisi COSIMA.
Il caso del quartiere di San Salvario**



Relatore:

Stefano Paolo Corgnati

Candidata:

Giulia Pederiva

Correlatori:

Cristina Becchio

Marta Carla Bottero

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Architettura Costruzione Città (LM - 4)



Tesi di Laurea Magistrale
A.A 2018-2019

**Quartieri urbani sostenibili: Un processo di valutazione
supportato dall'analisi COSIMA.
Il caso del quartiere di San Salvario**

**Sustainable urban district: an assessment process supported by
COSIMA analysis.
San Salvario district's case**

Relatore:

Stefano Paolo Corgnati

Candidata:

Giulia Pederiva

Correlatori:

Cristina Becchio

Marta Carla Bottero

Indice

Abstract.....	9
Introduzione.....	13
Articolo iniziale.....	17
Articolo EFS 2019.....	31
1. Background legislativo.....	40
1.1. Accordi e normative internazionali.....	41
1.2. Dalle città al quartiere.....	45
2. Sviluppo urbano sostenibile.....	50
2.1. Misure di efficienza energetica.....	51
2.1.1 Edifici.....	52
2.1.2. Sistema energetico.....	56
2.1.3. Acqua.....	61
2.1.4. Illuminazione pubblica.....	64
2.1.5. Mobilità.....	65
2.1.6. Rifiuti.....	69
2.2. Aree urbane sostenibili - Gli Ecoquartieri.....	71
2.2.1. Casi studio.....	72
3. Valutazione delle misure di efficienza energetica.....	78
3.1. Analisi COSIMA.....	79
3.1.1. Analisi Costi-Benefici.....	81
3.1.2. Analisi Multi-Criteri.....	84
3.1.2.1. Multi-Attribute Value Theory.....	85
3.1.3. Punti di forza e debolezza dell'ACB e AMC.....	88
3.2. Co-Benefici e criteri.....	88
3.2.1. Co-Benefici.....	89
3.2.1.1. Monetizzazione dei benefici.....	93
3.2.2. Criteri.....	99
4. Strumenti e metodologia.....	110

4.1. Strumenti.....	110
4.2. Metodologia.....	112
4.2.1. Stato di fatto.....	114
4.2.1.1. Edifici.....	114
4.2.1.2. Acqua.....	116
4.2.1.3. Illuminazione pubblica.....	116
4.2.1.4. Trasporti.....	116
4.2.1.5. Rifiuti.....	117
4.2.2. Misure di trasformazione.....	117
4.2.2.1. Edifici.....	117
4.2.2.2. Acqua.....	119
4.2.2.3. Illuminazione pubblica.....	121
4.2.2.4. Trasporti.....	121
4.2.2.5. Rifiuti.....	122
4.2.3. Analisi COSIMA.....	125
4.2.3.1. Scenari selezionati.....	125
4.2.3.2. Analisi Costi-Benefici.....	126
4.2.3.3. Analisi Multi-Criteri.....	128
4.2.3.4. Unione dei risultati.....	129

CASO STUDIO

5. Analisi del quartiere	136
5.1. Il quartiere di San Salvario.....	136
5.1.1. Definizione dello stato di fatto.....	138
5.1.1.1. Edifici.....	138
5.1.1.2. Acqua.....	156
5.1.1.3. Illuminazione pubblica.....	157
5.1.1.4. Trasporti.....	159
5.1.1.5. Rifiuti	166
6. Misure di efficienza energetica.....	170

6.1. Edifici.....	170
6.2. Acqua.....	175
6.3. Illuminazione pubblica.....	179
6.4. Trasporti.....	179
6.5. Rifiuti.....	183
7. Valutazione degli scenari tramite l'analisi COSIMA.....	188
7.1. Scenari.....	188
7.2. Analisi Costi-Benefici.....	190
7.2.1. Costi.....	190
7.2.2. Benefici.....	201
7.3. Analisi Multi-Criteri.....	208
7.3.1. Impatti extra-monetari.....	208
7.3.2. Attribuzione dei pesi.....	218
7.4. Analisi COSIMA.....	220
7.4.1. Risultati ACB.....	220
7.4.2. Risultati AMC.....	221
7.4.3. Risultati COSIMA.....	223
CONCLUSIONI.....	229
Conclusioni e sviluppi futuri.....	230
BIBLIOGRAFIA.....	233
Allegato A.....	248
Allegato B.....	280
Allegato C.....	290

Abstract

Le città rappresentano i luoghi con il più elevato impatto ambientale ed energetico nel mondo. La loro trasformazione attraverso una chiave sostenibile ha il potenziale di ridurre le pressioni che si registrano in queste aree, ma questa scala risulta troppo complessa per riuscire ad attuare delle azioni in modo efficace. L'attenzione è perciò spostata verso il quartiere, un sottoinsieme delle città stesse, che si compone del medesimo sistema urbano, dove quindi è possibile testare e gestire le operazioni in modo più semplice.

Le azioni per contrastare i cambiamenti climatici, hanno la possibilità di creare dei benefici collaterali che insieme alla riduzione delle emissioni possono apportare vantaggi economici, ambientali e sociali a tutta la comunità. La loro inclusione all'interno dell'analisi è di fondamentale importanza per rimuovere gli ostacoli e rilevare il reale potenziale del progetto di rinnovamento. In accordo con la Direttiva Europea, lo strumento per valutare i progetti di investimento è l'Analisi Costi-Benefici (ACB). Tuttavia questo strumento non permette l'inclusione di ulteriori aspetti extra-monetari che sono importanti per la valutazione dei progetti sostenibili e che possono essere valutati attraverso l'Analisi Multi-Criteri (AMC). Per considerare tutte le componenti la scelta migliore consisterebbe nell'utilizzo congiunto della ACB e AMC.

Dalle seguenti considerazioni, l'obiettivo della tesi consiste nella valutazione del potenziale di risparmio energetico di un quartiere esistente supportato dall'utilizzo dell'analisi COSIMA (Composite Modelling Assessment) che combina la ACB e AMC.

In particolare l'analisi è applicata al quartiere San Salvario di Torino in cui sono stati proposti degli interventi di trasformazione ai settori degli edifici, acqua, illuminazione pubblica, trasporti e rifiuti, dopo un'attenta analisi del contesto. I singoli interventi sono stati in seguito uniti per formare gli scenari complessivi da valutare attraverso la metodologia COSIMA in modo da selezionare la migliore alternativa.

Cities represent the places with the highest environmental and energetic impact in the world. Their transformation through a sustainable key, allows to reduce the pressures registering under these area. However city scale is too complicated to allows some efficient actions. The focus is thus transferred to the district, a subset of the cities themselves, which is made up of the same urban system, where is therefore possible test and manage operations in a simpler manner.

The actions to tackle climate change, have the opportunity to create collateral benefits, which together with the emission reduction can make economic, environmental and social benefits to the whole community. Their inclusion in the analysis is of fundamental importance to remove barriers and reveal the real potential of the renovation project. In accordance with the European Directive, the tool used when evaluating public investment projects is the Cost Benefits Analysis (CBA). However this method does not allow the inclusion of another extra-monetary aspects that are important for the assessment of sustainable project. This aspects may be assessed through Multi-Criteria Analysis (MCA). In order to cover all the aspects the best choice would consist of the joint use of CBA and MCA.

Following these considerations, the aim of this thesis is the assessment of the energy saving potential of an existing district, supported by the application of COSIMA (Composite Modelling Assessment) model, that combines CBA and MCA.

In particular, the analysis is applied to San Salvario, a district located in the city of Turin, in which transformation interventions have been proposed in the following sectors: buildings, water, public illumination, transport and waste. These were selected after a careful context analysis. Individual measures were subsequently joined to form the overall scenarios to assess through COSIMA model, in order to select the best performing solution for the district.

Introduzione

L'aumento della consapevolezza che rivestono le città sui cambiamenti climatici ha portato allo sviluppo di nuove politiche e strumenti per indirizzare correttamente la loro trasformazione energetica. Questo è anche supportato dal concetto di sviluppo sostenibile, che mira a generare un'efficienza su più parti: economica, sociale ed ambientale, per la riqualificazione delle aree urbane e dei servizi presenti. Il seguente tema offre perciò molte opportunità che si riversano in modo positivo sui cittadini e sull'ambiente.

Le città sono viste come il punto di partenza per ottenere risultati concreti a livello globale, grazie alla concentrazione di persone, servizi ed emissioni a loro collegate. Tuttavia è possibile lavorare ad una scala ancora più ravvicinata per testare e verificare le azioni che possono essere attuate, ossia la scala del quartiere. Le misure ritenute opportune in tale livello, possono in seguito essere ridimensionate ed implementate all'intera città.

Sono necessari degli atti concreti per favorire questo processo e le misure di trasformazione devono essere programmate secondo una visione a lungo termine dei loro possibili impatti, per poter assicurare il raggiungimento degli obiettivi sul clima imposti a livello internazionale dalla Commissione Europea. Per ottenere un risultato positivo le operazioni devono essere coordinate dal livello globale fino a quello locale, poiché è bene che gli obiettivi imposti ai livelli più alti, vengano adattati secondo il territorio di riferimento. L'Unione Europea supporta l'obiettivo sull'adattamento ai cambiamenti climatici tramite finanziamenti e sostenendo l'iniziativa del Patto dei Sindaci.

Un ulteriore modo per favorire il processo di trasformazione consiste nell'inclusione dei benefici che possono essere generati dalle seguenti misure e considerare i diversi impatti che esse possono generare su tutta la comunità e questa tesi esamina proprio tale concetto. Questo tema è stato in seguito implementato nel caso studio analizzato.

La tesi è strutturata in due sezioni principali: l'analisi del contesto e l'applicazione delle misure di trasformazione tramite un caso studio di un quartiere a Torino. Prima dei capitoli di analisi sono presenti due articoli che riguardano il tema della tesi. Il primo è stato redatto come studio dell'argomento, mentre il secondo per una conferenza sulla sostenibilità energetica nella città.

La prima parte di analisi delle tesi è così suddivisa:

Il primo capitolo descrive la situazione presente nelle aree urbane e le emissioni che si registrano in queste zone. Successivamente sono stati trattati singolarmente i diversi accordi e le normative internazionali, che sono stati implementati per affrontare la lotta contro il surriscaldamento globale, descrivendo gli obiettivi del processo di de-carbonizzazione di tutto il sistema energetico. Infine è stato effettuato un salto di scala parlando delle iniziative che sono sorte, dal livello cittadino fino al quartiere, analizzando l'importanza di queste ultime.

Il secondo capitolo descrive i diversi settori coinvolti nel processo di trasformazione urbano per il raggiungimento di uno sviluppo sostenibile. Sono state analizzate le attuali condizioni dei settori degli edifici, sistema energetico, acqua, illuminazione pubblica, trasporti e rifiuti, ossia

dell'intero sistema urbano. In seguito è stato analizzato il concetto di eco-quartiere, tramite la sua definizione e attraverso l'analisi di casi studio reali.

Questo capitolo ha avuto un'importanza fondamentale per la successiva parte del caso studio di Torino, in quanto ha permesso di identificare delle possibili strategie di trasformazione del quartiere analizzato.

Nel terzo capitolo è presentata la metodologia COSIMA. Tramite essa è possibile considerare i progetti di riqualificazione urbana nella loro interezza, ossia attraverso l'indagine dei costi necessari per la loro realizzazione, i benefici che possono scaturire e la considerazione di ulteriori criteri che influenzano la scelta delle alternative. COSIMA si compone di due tipologie di analisi, Costi-Benefici e Multi-Criteri, che verranno descritte anch'esse per delineare i loro passaggi fondamentali. Successivamente sono stati trattati i benefici e i criteri, importanti da considerare quando si lavora alla scala urbana. Anche questo capitolo risulta cruciale per la successiva analisi del caso studio, poiché le alternative di trasformazione verranno valutate attraverso questa metodologia.

Conclusa la prima parte di indagine si procede ad analizzare il caso studio, in cui verranno applicate le parti studiate precedentemente. Il quartiere a cui si riferisce l'analisi è quello di San Salvario a Torino, in cui sono state proposte una serie di azioni volte a trasformarlo dal punto di vista energetico e in modo sostenibile.

Nel quarto capitolo è stata quindi descritta la metodologia e gli strumenti necessari per l'analisi. Nei capitoli successivi è stato trattato in modo dettagliato tutto lo studio, iniziando dalla definizione dello stato di fatto di tutti i settori, per determinare i consumi energetici ad essi associati e le relative emissioni ed altre informazioni che sono servite a definire il punto di partenza, il quale verrà confrontato con gli scenari alternativi attraverso l'analisi COSIMA. Tramite essa è stato possibile valutare l'alternativa migliore che include all'interno la modifica dei settori seguenti: edifici, acqua, illuminazione pubblica, trasporti e rifiuti. Le misure di trasformazione sono state quindi prima esaminate separatamente ed in seguito sono state unite a formare gli scenari complessivi, in modo che ogni scenario sia composto da tutti i settori. Successivamente sono stati analizzati solo alcuni di questi, ossia quelli che sono sembrati più rilevanti. Prima di tutto per ognuno di essi è stata eseguita l'analisi Costi-Benefici, in cui sono stati valutati in termini monetari i costi necessari per l'intero ciclo di vita dei beni e i benefici generati dalle misure di trasformazione. Dagli indicatori economici di questa analisi è stata fatta una prima valutazione dello scenario migliore. In secondo luogo è stata svolta la valutazione degli scenari attraverso dei criteri extra-monetari rilevanti per tutta la comunità del quartiere. Queste due analisi sono in seguito state combinate tramite la metodologia COSIMA, in modo da ricavare lo scenario che risulta migliore sotto l'aspetto economico, ambientale e sociale. Esso rappresenterà per gli sviluppi futuri una possibile modalità di trasformazione dell'intera città.

Articolo iniziale
Articolo redatto nell'ambito del Laboratorio di tesi
“Metodologie e Misure per l'ambiente costruito”

Financial and socio-economic analysis for building at the district and city scale

Studente: Giulia Pederiva

Docenti: Cristina Becchio, Marta Bottero, Stefano Paolo Corgnati, Federico Dell'Anna

Politecnico di Torino

A B S T R A C T

The building sector is responsible for the high energy consumption and that is exactly why we need to promote retrofitting measures in existing buildings. It is crucial to promote retrofit actions no longer only to the single building, but it is cheaper to shift to a largest scale such as the one in the district and the city. This would make it easier to reach emissions and energy targets and is also more economically feasible. This paper analyses the costs, revenues and the multiple benefits that can be brought by these energy improvement measures and must be recognized by all individuals involved. This would allow further implementation by eliminating the barriers that can be created.

The approach is based on a literature review on financial analysis and cost-benefit analysis. These two analyzes allow us to identify the most efficient scenario for energy improvement through the comparison of alternatives from an economic point of view. Indeed, the multiple benefits must also be able to be expressed through their monetization, in order to maximize general well-being. The convenience or not of energy efficiency measures can be evaluated through different evaluation parameters.

Keywords: District renovation; Energy efficiency; Global cost; Co-benefits; Cost-benefit analysis

1. Introduction

Is now commonly known that buildings are one of the biggest responsible of the total energy consumption in the European Union [1]. The energy consumption are nowadays concentrated in cities and this is due especially to the fact that and most of existing European buildings are quite old and characterized by low energy performance and this involves a major role in energy use [2] [3]. Energy efficiency is a valid ally to reduce primary energy

consumption and GHG emissions, which consequently mitigate climate change. European Council, have been developed energy strategies to try to mitigate climate changes with binding targets for Member State. The will to reduce greenhouse gas emission does not only concern European countries but also China by 2030 and the United States by up to 20% by 2025 below 2005 levels [4].

The European Commission presented the decarbonisation Roadmap 2050. It is a way for moving to a low-carbon economy by 2050 and aims to achieve a long-term target of reducing greenhouse gas emission levels by 80-95% compared to 1990 levels and to achieving zero emission electricity production by 2050 in the EU-27 [5] [6]. To achieve this goal, intermediate targets have been set for GHG reduction through a gradual and efficient transition, such as 20% by 2020, 40% by 2030 and 60 % by 2040. The 20-20-20 targets, sets three goals to be achieved by 2020: Reduction of greenhouse gases by 20%; reducing energy consumption by 20% by increasing energy efficiency; satisfying 20% of the European energy needs with renewable energies. Therefore buildings can contribute to achieve these ambitious target through increased energy efficiency that allows the reduction of energy demand with the combination of development of renewable technologies for the related energy and water infrastructures.

It has been shown that the real opportunity for energy and emission savings is represented by existing buildings retrofit rather than build new buildings [7]. Indeed, Becchio et al. [8] analyzed the concept of "Post-Carbon City" (PCC) and show how energy and cost-effective retrofit of existing buildings are a great potential on energy savings towards nearly-zero energy building.

Much has been developed about retrofit operations in existing buildings on the individual building, however the new challenge of the European Commission is to move from a building scale to the district and the city one to achieve more socially and environmental sustainable cities [8]. In the cities there are the most important emission reduction opportunities, both because the emissive sources are concentrated and because operate in a largest scale (city and district) allows to assessments for more effective political and decision making processed. Recently, it has

been shown that renovation of a district may be more feasible than renovation of individual buildings [9] [10]. The district can be defined as a large subset of a city represented by groups of typical buildings and associated district infrastructure. Becchio et al. [8] and Barbano et al. [11] show the need to use a methodology that interconnect information at different scales. Thus, first of all it's necessary to deeply analyze at building scale and afterwards working at the level at the district. Multiscale tools, methodologies and information models are aimed at supporting the key stakeholders of urban planning in decision making and implementation. At the level of single building the measures have to be coherent with the district objectives, because it is essential a interconnections between different levels. Moreover, at the building level, are generate greater information about specific buildings, enabling more accurate decision making at the district level. The results at the district levels do not necessarily represent the optimal measures at the level of each individual building, thus the zero-energy balance is considered as a whole and each buildings in not necessarily a zero energy building [12] [13].

Geyer et al. [10] conducted a study in a Swiss alpine village, this cannot be considered such as a district level, however the results shows how a retrofit strategy for multiple buildings simultaneously provide the best benefit per investments without needing to consider each building individually. To provide a low-emissions village the result show that an investment of 0.6 Mio. CHF per year can achieve a reduction of nearly 80% of the emissions in the next 35 years, while investing approximately the same amount equally in all buildings only achieve a reduction of 20% of the emission by 2050. Therefore, coordinated retrofit allow to opens up possibilities of the economy scale, for minimizing the resource consumption such as material and costs. This is also an opportunity that can lead to a change in

policies for retrofit subsidies [10]. At the same time, improve energy efficiency and use renewable energies not only in single building level but also in a larger scale, such as in the district and the city one, can have large effects in creating co-benefits, and this could be one of the most cost effective investments. Co-benefits are “The positive effects that a policy or measure aimed at one objective might have on other objectives” [14]. The concept of co-benefits in energy efficiency in buildings so don't concerns with only environmentally, as the reduction of greenhouse gas emissions, but also in terms of job creation opportunities, quality of life, economic stimulus etc. [1] [2] [15] [16]. Therefore it takes into account all the different aspects which can be brought by energy efficiency measures and consequently, co-benefits can bring an additional value of district and city and it is very important to be able to make a monetary value. Monetization of co-benefits could help to implementation of energy efficient measures. Indeed, there are some barriers such as initial costs and the lack of information on costs and benefits from stakeholders and building owners limiting building energy investments [15] [17]. It is crucial that the additional value of improved energy efficiency must be recognized, and the lifetime costs of buildings have to be considered rather than just focusing on investment costs [5].

Delmastro et al. [3] highlights how a positive involvements of inhabitants and a greater awareness of the potential of the investment, may lead to great benefits in terms of energy savings and spread of conservation measures thanks to identifying targeted urban residential energy policy. In order to address this aspects that concern energy refurbishment, the paper is focus in literature review that analyzed the methodology for support the transition of

district and city to a zero energy levels. The implementation of energy efficiency measures involves investment and the convenience of which can be assessed both from the environmental and the economic point of view. Therefore the aim of this paper is to find out two important concept:

- Analyze the methodology to evaluate cost and revenues, which can be evaluated with financial analysis and that may derive from the various strategies used for energy efficiency measures,
- Analyze socio-economic benefits which can be carried by the measures of energy efficiency in district and city levels. The co-benefits will be analyzed from a monetary point of view.

These parameters allow you to evaluate the convenience or not of an intervention. Due to of the few papers dealing districts retrofitting, they were considered papers that discuss these issues at different scales.

2. Methodology

The methodology used in this paper was oriented to the literature review analysis that involves looking at previous researches in order to identify theories, evaluation methods, and formulas that can be used for the topic discussed in this paper.

The paper analysis the possibility of determine all costs and income through financial analysis and cost-benefit assessment to energy efficiency measures through socio-economic analysis, monetizing also the co-benefits. These two aspects will be analyzed through articles, case studies at district and city level. In table 1 are identifies the different papers used and the scale to which they refer.

The assessment of the convenience of a given energy efficiency measure can be based on a cost analysis or a discount cash

Table 1. Papers analyzed at different scales

Authors	Title	Journal	Year	Scale
Pikas et al. [2]	Quantification of economic benefits of renovation of apartment buildings as a basis for cost optimal 2030 energy efficiency strategies	Energy and Buildings	2015	Country
Delmastro et al [3]	A supporting method for selecting cost/optimal energy retrofit policies for residential buildings at the urban scale	Energy Policy	2016	District
Ferreira et. al [4]	Cost-optimal energy efficiency levels are the first step in achieving cost effective renovation in residential buildings with a nearly-zero energy target	Energy and Building	2016	Country
Martinez-Hervas et al [6]	Towards an Energy Assessment on an Urban Scale for Retrofitting the Housing Stock in Mediterranean Cities	Procedia Environmental Sciences	2017	City/District
Dall'O' et al. [7]	A methodology for evaluating the potential energy savings of retrofitting residential building stocks	Sustainable Cities and Society	2012	City
Becchio et al. [8]	The role of nearly-zero energy buildings in the transition towards Post-Carbon Cities	Sustainable Cities and Society	2016	City
Paiho et al. [9]	Cost analysed of energy-efficient renovations of a Moscow residential district	Sustainable Cities and Society	2015	District
Geyer et al [10]	Application of clustering for the development of retrofit strategies for large building stocks	Advanced Engineering Informatics	2017	Cluster
Barbano et al [11]	Interconnection between scales for friendly and affordable sustainable urban districts retrofitting	Energy Procedia	2015	District
Marique et al [12]	A simplified framework to assess the feasibility of zero-energy at the neighbourhood/community scale	Energy and Buildings	2014	Neighbourhood
Caputo et al. [19]	A supporting method for defining energy strategies in the building sector at urban scale	Energy Policy	2013	City

flow analysis. The papers analyzed relate to two main aspects:

Financial analysis : Allows to compare the feasibility of different measures of energy efficiency. All the costs to be taken into account for the various energy efficiency measures packages are added. All costs pertaining to energy efficiency measures are taken into account, which can be summed up by discounting them. Global Cost method is described in the European Standard EN 15459.

Socio-economic analysis: Co-benefit impacts can be quantified and monetized through cost and benefit analysis CBA. Therefore, this analysis is based solely on the economic one, to identify the choice that maximizes the net benefits, comparing all the costs and benefits.

These two factors will be crucial to determining the most efficient district/ city level refurbishment measures through the comparison of different scenarios, both

environmental and economic aspect, also taking into account the co-benefits.

Before discussing these two issues, it is important to focus on the legislative framework on energy efficiency measures. The methodology for achieving high energy performances in building is developed in the European legislation by the Directive 2001/91/EC on Energy Performance of Buildings (EPBD) and its recast, the Directive 2010/31/EU that introduced the concept of nearly Zero-Energy Buildings (nZEB) and it establishes that new buildings for public authorities must be nZEB from 2019, and from 2021 it will be extended to all new buildings and buildings which undergo major renovations. The definition of nZEB is a building that has very high energy performance where the low amount of energy still required is mostly covered by energy from renewable sources produced on site or nearby. It would be interesting to develop a methodology that allows it to reach an annual zero-energy balance, in terms of primary energy, at the district and city scale and take into account building

energy consumption and the on-site production of renewable energies [12]. Therefore, the focus should be shifted from the single building to a larger scale to allow emission reduction targets to be reached. At the larger scales is increasingly spreading the "Post-Carbon" cities concept. This type of city refers to a low-carbon urban system as well as environmentally, socially and economically sustainable. Then "PCC" involves several urban sectors, such as: buildings, transportation, industry and supply. Some cities have already started this transition, such as Barcelona, London and Tokyo that linked to the concept of PCC the concept of Smart City. Smart city consists in the use of network infrastructures by making extensive use of information and communication technologies (ICT). This can also be restricted to the district scale. Good et al. [18] propose the concept of smart districts that through direct control of technologies, with devices controlled remotely, can increase efficiency of heat delivery and district flexibility minimizing district-related energy costs and maximizing revenue as well as increasing the efficiency of the energy system and network security. The environmental and economic benefits, for this new conception of district, are closely linked to the use of multiple energy networks and their interactions. Indeed, smart district for cost and emission reductions use the flexibility from smart technologies in three ways: utilizing energy storage (to shift grid consumption in time), utilizing alternative energy vectors/devices (multi-energy view) that minimizing energy consumption mainly at times when energy from renewable is available, curtailing demand for an energy service (emergency option).

However, before moving on to these scales, it is necessary to analyze buildings and evaluate different energy efficiency measures to achieve nZEBs. Becchio et al. [8] and Barbano et al. [11] show the need to use a methodology that interconnect information at different scales. Thus, first of all it's necessary to deeply analyze at building scale and afterwards working at the level of the district. At the level of single

building the measures have to be coherent with the district objectives, because it is essential a interconnections between different levels. Moreover, at the building level, are generate greater information about specific buildings, enabling more accurate decision making at district level [11].

Several researchers [3] [6] [8] use a methodology divided into the following phases for defining energy strategies at urban scale:

- Define reference buildings. At the district/city levels is crucial to identify Reference Buildings simplified, that it represents an average building stock in terms of functionality, that describes what type of uses the building is designed for, and energy performance.
- Definition of parameters for reference buildings. More detailed information about buildings, such as construction period, space heating, general energy consumption and other parameters concerning the envelope material and thermophysical characteristics, such as windows, roof, wall etc.
- Definition of intervention scenarios. Scenarios on different energy strategies to achieve the desired goals. Energy efficiency gains will be calculated and social and economic goals can be assessed (BAU, Target 20-20-20, maximum potential etc.).
- Calculation of the costs of energy efficiency measures of the various scenarios. to evaluate them from an economic point of view. The evaluation of these from an economic point of view makes it possible to evaluate the most efficient choice through different methods of comparison. In many papers have been shown that the use of an open source Geographic Information Systems (GIS) tool, can contribute to representing the current energy performance of existing buildings [3] [10] [6] [19]. GIS tools allows to have an overall view

of the territory and easier access to information about buildings. For modeling the building energy system at the urban scale is crucial represented realistically the built environment. This has allowed to interpret the results for spatial analysis and for proposing district networks. The buildings stocks are classified by some parameters that is helpful to set up groups of buildings and assign common measures for energy efficiency, a typical example is type-age classification. This subdivision into groups is very important because it is much easier to make decisions and develop strategies for groups of buildings that react similarly to energy efficiency measures. The general process leading to the definition of scenarios is based on the creation of different energy efficiency packages, which are increasingly improved compared to the previously analyzed [3] [20]. These packages can be converted in monetary terms through the global cost that will be analyzed below. The procedure, summarized in Fig 1, explains the general methodology of the energy analyses and Paiho et al. [9] show that at the district scale, it is also necessary to analyze the energy and distribution system to create scenarios in which these aspects are also taken into account.

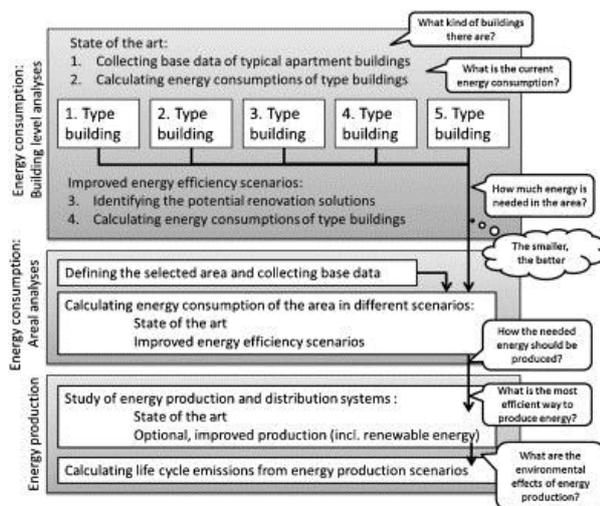


Fig.1 The general methodology of the energy analyses. Image from Paiho et al. [20].

2.1 Financial analysis

Analysis of costs and revenues over time related to interventions. This analysis allows

to make a judgment of private convenience, where co-benefit that can be brought about by energy efficiency measures do not take into account.

There are various methods for economic analyses. In the following some of these methods are presented. The EPBD recast introduce a general methodology for comparing different scenarios by global cost, according to EN 15459 (2007), which sets out the cost items to be considered. Global cost it use for determining cost-optimal energy retrofit and it is calculated with lifecycle cost (LCC) and the comparison of two investments is evaluated through the net present value (NPV). This methodology however allows comparison only through NPV. Global cost for financial perspective is calculated by Eq. (1).

$$C_G(\tau) = C_i + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i} \times R_d(i) - V_{f,\tau}(j)) \right] \quad (1)$$

where:

$C_G(\tau)$ – global cost over the calculation period (€/m³);

C_i – initial investment cost for the measure;

$C_{a,i}(j)$ – annual cost during year i for measure j (sum of maintenance costs, operational costs, energy cost and replacement costs)

$R_d(i)$ – actualizing rate for year i ;

$V_{f,\tau}(j)$ – residual value of measure j at the end of the calculation period;

The actualizing rate is determined by the following Eq. (2)

$$R_d(i) = (1 + r)^{-i} \quad (2)$$

r – discount rate

Lifecycle cost is used for two types of perspective: financial and macroeconomic.

The macroeconomic perspective take into account also the cost of greenhouse gas emissions for the lifecycle cost, and benefits in discount cash flow. This perspective will be analyzed in the following subchapter. Ferreira et Almeida [21] show how these two different perspectives refer to two different points of view. The financial perspective is mainly referred to the private investor (owners and promoters) and therefore to a level closely related to the building. The macroeconomic perspective is more

relevant to Member States, as it refers to CO₂ emissions.

However, there are also other methodologies that allow us to evaluate the profitability of the investment such as Discount cash flow (DCF) analysis. Discount cash flow (DCF) method is based on the cash flows available and the project is feasible when revenues exceed the costs. This method is based on the NPV, where the net cash flow are net rental income. Christersson et al. [22] analyses the main indicators of this methodology for the energy efficiency investments.

Payback periods is not a monetary value, but it sets the years needed for an investment to start earning income. It is calculated applying the following formula (3):

$$\text{Payback period} = \frac{\text{Amount to be invested}}{\text{Estimate annual Net Cash Flow}} \quad (3)$$

This method is used by Dall'O' et al. [7] considering several incentive scenarios for different energy strategies.

Internal Rate of Returns and Returns on Investments, calculating using the following formula (4):

$$NPV = CF_0 + \sum_{n=1}^n \frac{CF_t}{(1-r)^t} = 0 \quad (4)$$

Where, CFs are cash flows in different years, NPV is the Net Present Value of the investment and r the discount rate, which is equal to IRR, when NPV is zero. Projects with the highest IRR represent the most profitable ones.

Return of investment (ROI) is calculated using the following formula (5):

$$ROI = \frac{\text{Gross profit}}{\text{Total cost}} \quad (5)$$

Where, the Gross profit is the property value increase less the investment and Total cost is the energy efficiency investment.

In the financial analysis for DCF, costs and revenues must be arranged according to a timeline, which identifies when these occur.

The items to consider are:

Initial investment: capital costs of all the fixed assets and non-fixed assets. Cost

breakdown over the years should be consistent with the physical realisations envisaged and the time-plan for implementation.

Replacement cost: replace short-life machinery and/or equipment.

Residual value: The residual value reflects the capacity of the remaining service potential of fixed assets whose economic life is not yet completely exhausted.

Operating costs: include all the costs to operate and maintain (O&M) the new or upgraded service.

Revenues: Determined by the quantities forecasts of goods/services provided and by their prices.

The value of the NVP, and consequently the return time, is heavily dependent on interest rates, rising energy costs, and inflation. A sensitivity analysis is crucial to determine different scenarios where the discount rate and the energy cost vary.

Paiho et al [9] use a large domain of combinations of discounting rates and energy price growth rates for building and district scale and show that is more feasible to implement more advanced renovations in case a renovation project is to cover a residential district rather of individual building.

2.2 Socio-economic analysis

As already mentioned, buildings renovation towards both nearly-zero emissions and nearly-zero energy targets could bring multiple benefits and they could lead an additional value for the district. To support the potential value of energy efficiency and renewable energy sources, benefit may be measured and monetized. This is possible through cost and benefit analysis that quantifying in monetary terms all the positive effects (benefits) as well as the negative (costs).

Bisello et al. [23] show that estimating economic value of co-benefit enables to evaluate welfare effects and to foresee the effectiveness of public interventions aiming at contributing to smart-city development. The International Energy Agency (IEA) and BPIE [24] fig 2, analyzes in addition to the

now well-established benefits of reducing energy demand and GHG emission also other benefits.



Fig. 2. Co-benefits. Image from IEA [25]

This are subdivided in five categories as follows [25]:

Economic development:

- Macro-economic impacts
- Industrial productivity

Examples of economic benefits are energy cost savings, economic stimulus, asset value/property values, employments, impact on public finances, improved productivity as a consequence of new business opportunities (resulting in higher GDP growth) and employment creation, impact on gross domestic products and energy bill import because the use of renewable energy help to reduce political and financial dependence on fuel imports and buying energy.

Social development:

- Poverty alleviation
- Health and well-being
- Employment

A refurbishment can increased comfort of the district and building, thereby allowing to reduce the energy costs even for the poorest classes that most likely live in inefficient housing. Moreover, the reduction of unemployment has not only economic but also social effects. Moreover can have health effects such as improved air quality. American Council for an Energy-Efficient

Economy (ACEE) [26], show that jobs creation by energy efficiency is the result of two major changes: an initial expenditure or effort that drives energy bill savings and the subsequent adjustment in spending pattern brought about by that initial expenditure or effort.

Environmental sustainability:

- Local air pollution
- Resource management

Retrofit of building stock have a huge potential for the environment on the impact on climate change, they can be reduce use of non-renewable energy and consequently the reduction of CO₂ thanks to carbon saving and reduced air pollution. The potential for GHG emission reductions can be 44% (2020) and 60% (2030) compared to 2005 [1]. Furthermore, building renovation leads to reduction of waste, compared to the replacements of existing buildings by new ones. However social and economic barriers do not allow to full explore this potential [21]. Reducing energy demand also reduces the use of non-renewable natural materials.

Enhancing energy system security:

- Energy security
- Energy delivery
- Energy prices

such as energy security that could reduce exposure to energy price fluctuations and reduced dependence on imported energy. Indeed, in the case where renewable sources are being used more and more, the need for the use of fossil fuels, which is gradually depleting, will also diminish, and also depend on the dependence of the oil producing Countries.

Increasing prosperity:

- Public budgets
- Disposal income
- Asset values

These types of benefits are related to the recognition of value added to property, reduction of bills and therefore for the increase in disposal income and the

decrease/increase in fuel import/export expenses e.g. for heating system. These benefits are interconnected and therefore can cover multiple themes.

2.2.1 Calculation of cost and co-benefit

In the global cost only cost of greenhouse gas emission are calculated. However, the calculation of the global cost is not enough to assess the best choice of energy efficiency, because many more benefits can be considered. Becchio et al. [27] propose a different approach for cost-optimal methodology. Indeed, the co-benefits associated with the energy efficiency of buildings are quantified and monetized, not taking into account only the reduction in CO₂ emissions. The global cost formula has been modified by the introduction of benefits.

According to “*guide to cost-benefit analysis of investment projects*” [28] these benefits can be considered in monetary aspect and be included in the Discount cash flow (DCF) method. This guide analyzes the various benefits that can be translated into monetary aspects.

Cost analysis is used for socio-economic assessment by Barcelona for the construction of a low-carbon city [29]. The different costs and benefits are assessed across the city, taking into account all aspects of the creation of a Post-Carbon city. Pikas et al. [2] measured economic benefits, such as tax revenue, job generation and disposal net income, from renovation construction projects. Job creations in the construction field, in the manufacturing and consulting sectors was calculated through a macroeconomic analysis and detailed study of selected projects. Disposable income was identified through the calculation of net salaries per person per month.

Morrissey et Horne and Popescu et al. [30]. determine the impact of the energy performance on the increase in value of the property, use Hedonic Pricing Method (HPM). The method based on the net additional value obtainable on the real-estate market after applying energy efficiency measures. This method have close

correlation with the willingness to pay added value for energy performance for having an energy efficient building. Wang et al. [31] used life cycle assessment (LCA) to analyze the ratio of energy saving, environmental and economic benefit to the investment cost of the energy saving measures.

Then, it is crucial that all co-benefits are monetized and included in the analysis of NPV, comparing costs and benefits and thus to determine the best scenario for the energy efficiency measures.

3. Conclusion

The attention for the reduction of the emission and energy consumption by building must be extended a district/city scale, where the highest primary energy consumption and CO₂ emissions are concentrated. Therefore focusing on a larger scale, will help to achieve more effectively the various goals for the creation of low carbon cities. therefore the multiple benefit must be recognized by the market. Shift from the individual building to a larger scale such as the one in the district, it enables the possibilities of the economy scale (costs and materials) , but also to implement better energy efficiency measures. The aim of this paper is to individuate costs, revenue and co-benefits that can be brought from efficiency measures in buildings. However, incorporating co-benefits in the analysis is not always easy, because of the lack of studies that allow them to quantify them in monetary terms. This allows to maximize the value from energy related renovation measures. Their inclusion may affect both the owners and the policy makers for the adoption of measures to improve energy efficiency.

4. References

- [1] C. O. BPIE (Buildings Performance Institute Europe), Discussing methodology and challenges within the recast Energy Performance of Buildings

- Directive (2010).
- [2] E. Pikas, J. Kurnitski, R. Liias e M. Thalfeldt, Quantification of economic benefits of renovation of apartment buildings as a basis for cost optimal 2030 energy efficiency strategies, *Energy and Buildings* 86 (2015) 151-160.
- [3] C. Delmastro, G. Mutani e S. Corgnati, A supporting method for selecting cost-optimal energy retrofit policies for residential buildings at the urban scale, *Energy Policy* 99, (2016) 42-56.
- [4] M. Ferreira, M. Almeida e A. Rodrigues, Cost-optimal energy efficiency levels are the first step in achieving cost effective renovation in residential buildings with a nearly-zero energy target, *Energy and Buildings* 133 (2016) 724-737.
- [5] BPIE (Buildings Performance Institute Europe), Implementing the cost-optimal methodology in EU countries (2013).
- [6] M. Martinez-Hervas, J. Sendra e R. Suarez, Towards an Energy Assessment on an Urban Scale for Retrofitting the Housing Stock in Mediterranean Cities, *Procedia Environmental Sciences* 38 (2017) 688-695.
- [7] G. Dall'O', A. Galante e G. Pasetti, A methodology for evaluating the potential energy savings of retrofitting residential building stocks, *Sustainable Cities and Society* 4 (2012) 12-21.
- [8] C. Becchio, S. Corgnati, C. Delmastro, V. Fabi e P. Lombardi, The role of nearly-zero energy buildings in the transition towards Post-Carbon Cities, *Sustainable Cities and Society* 27, (2016) 324-337.
- [9] S. Paiho, R. Abdurafikov e H. Hoang, Cost analysis of energy-efficient renovations of a Moscow residential district, *Sustainable Cities and Society* 14 (2015) 5-15.
- [10] P. Geyer, A. Schuster e S. Cisar, Application of clustering for the development of retrofit strategies for large building stocks, *Advanced Engineering Informatics* 31 (2017) 32-47.
- [11] G. Barbano and A. Egusquiza, Interconnection between scales for friendly and affordable sustainable urban districts retrofitting, *Energy Procedia*, 78 (2015) 1853-1858.
- [12] A. Marique e S. Reiter, A simplified framework to assess the feasibility of zero-energy at the neighbourhood/community scale, *Energy and Buildings* 82 (2014) 114-122.
- [13] I. Sartori, A. Napolitano e K. Voss, Net zero energy buildings: A consistent definition framework, *Energy and Buildings* 48 (2012) 220-232.
- [14] BPIE, GBPN, WBCSD e CISL, *Climate Change: Implications for Buildings* (2014).
- [15] C. Kontokosta, Modeling the energy retrofit decision in commercial office buildings, *Energy and Buildings* 131, (2016) 1-20.
- [16] D. Unge-Vorsatz, A. Kelemen, S. Tirado-Herreno, S. Thomas, N. Mzavanadze, D. Hauptstock, F. Suerkemper, J. Teubler e S. Chatlenjee, Measuring multiple impacts of low-carbon energy options in a green economy context, *Applied Energy* 179, (2016) 1409-1426.
- [17] C. Araújo, M. Almeida, L. Bragança e J. A. Barbosa, Cost-benefit analysis method for building solutions, *Applied Energy* 133, (2016) 124-133.
- [18] N. Good, E. A. Martínez Cesena e P. Mancarella, Ten questions concerning smart districts, *Building and Environment*, (2017) 362-376.
- [19] P. Caputo, G. Costa e S. Ferrari, A supporting method for defining energy strategies in the building sector, *Energy Policy* 55 (2013) 261-270 2013.
- [20] S. Paiho, A. Hedman, R. Abdurafikov, H. Hoang, N. Sepponen, I. Kouhia e M. Meinander, Energy saving potentials of Moscow apartment buildings in residential districts, *Energy and Buildings* 66 (2013) 706-713.
- [21] M. Ferreira e M. Almeida, Benefits from energy related building renovation beyond costs, energy and emissions,

- Energy Procedia 78, (2015) 2397-2402.
- [22] M. Christersson, J. Vimpari e S. Junnila, Assessment of financial potential of real estate energy efficiency investments–A discounted cash flow approach, *Sustainable Cities and Society* 18 (2015) 66-73.
- [23] A. Bisello, D. Vettorato, R. Stephens e P. Elisei, *Smart and Sustainable Planning for Cities and Regions*, Cham: Springer, 2015.
- [24] BPIE, *A guide to developing strategies for building energy renovation* (2013).
- [25] IEA, *Capturing the multiple benefits of energy efficiency* (2014).
- [26] A. C. f. a. E.-E. E. (ACEEE), *How does energy efficiency create jobs?* (2011).
- [27] C. Becchio, S. Corgnati, L. Orlietti e G. Spigliantini, Proposal for a modified cost-optimal approach by introducing, *Energy Procedia*. 82 (2015) 445-451.
- [28] E. Commission, *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects*, Brussels, (2014).
- [29] POCACITO, *Barcelona Strategy Paper* (2016).
- [30] D. Popescu, S. Bienert, C. Schutzenhofer e R. Boazu, Impact of energy efficiency measures on the economic value of buildings, *Applied Energy* 89 (2012) 454-463.
- [31] X. Wang, M. L. Lu, W. Mao, J. Ouyang, B. Zhou e Y. Yang, Improving benefits-cost analysis to overcome financing difficulties in promoting energy-efficient renovation of existing residential buildings in China, *Applied Energy* 141 (2015) 119-130.
- [32] S. Henchoz, C. Weber, F. Maréchal e D. Favrat, Performance and profitability perspectives of a CO₂ based district energy network in Geneva's City Centre, *Energy* 85 (2015) 221-235.
- [33] M. Hubler e A. Loschel, The EU Decarbonisation Roadmap 2050-What way to walk?, *Energy Policy* 55 (2013) 190-207.
- [34] POCACITO: *Post-Carbon Cities of Tomorrow*, [Online]. Available: <http://pocacito.eu/>. [Consultato il giorno 06 05 2017].
- [35] S. Kennedy, S. Sgouridis, Rigorous classification and carbon accounting principles for low and zero carbon cities, *Energy Policy* (2011) 5259-5268.
- [36] A. Kylili, P.A. Fokaides, European smart cities: The role of zero energy buildings, *Sustainable Cities and Society* 15 (2015) 86-95.
- [37] E. Witt, I. Lill, T. Nuuter, Comparative analysis of current guidance for the evaluation of building retrofit investments, *Procedia Economics and Finance* 21 (2015) 321-328.
- [38] G. Trencher, V.C Broto, T. Takagi, Z. Springings, Y. Nishida, Y. Masaru. Innovative policy practices to advance building energy efficiency and retrofitting: Approaches, impacts and challenges in ten C40 cities, *Environmental Science & Policy* 66 (2016) 353-365.
- [39] M. Deakin, A. Reid, Smart cities: Under-gridding the sustainability of city-districts as energy efficient-low carbon zones, *Journal of Cleaner Production* xxx (2017) 1-10.

Articolo EfS 2019
Energy for Sustainability International Conference 2019
Designing a sustainable future

A COMPOSITE DECISION SUPPORT SYSTEM FOR ASSESSING TRANSFORMATION SCENARIOS AT THE DISTRICT LEVEL

Cristina Becchio^{1*}, Marta Bottero², Stefano Corgnati¹, Federico Dell'Anna², Giulia Pederiva³ and Giulia Vergerio¹

1: Department of Energy
Politecnico di Torino
Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129, Torino (Italy)
e-mail: cristina.becchio@polito.it, stefano.corgnati@polito.it, giulia.vergerio@polito.it

2: Interuniversity Department of Regional and Urban Studies and Planning
Politecnico di Torino
Viale Mattioli 39, 10125, Torino (Italy)
e-mail: marta.bottero@polito.it, federico.dellanna@polito.it

3: Politecnico di Torino
Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129, Torino (Italy)
e-mail: giulia.pederiva@studenti.polito.it

Keywords: Urban district, Energy Efficiency Measures, Sustainability, COSIMA, socio-economic impacts

Abstract *Urban areas are responsible for almost 75% of overall resource consumption. To avoid a further increase of these values, it is important to implement energy efficiency measures, in order to achieve the target of Post Carbon Cities. Next to the concept of Post Carbon Cities, is emerging the Post Carbon District, which becomes the appropriate level to test the different strategies to move towards a more sustainable society. The definition of energy policies at this level shall cover all the sectors of the entire urban system. In addition to the buildings, which become an active part of the energy system, the sector of water, waste management, public and private mobility, and public lighting come into play. As suggested by European Commission, the evaluation of alternative strategies at large scale must take into account, not only the energy and economic aspects, but also the environmental and social impacts. The objective of the present paper concerns an investigation of a tool for supporting the decision-making process of alternative scenarios of energy transformation for a district.*

1. INTRODUCTION

Nowadays, cities occupy about 2% of the Earth's surface, but they are responsible for 70% of the global primary energy consumption. About 50% of the world's population lives here and it is estimated that, in 2050, it can achieve 75% [1]. Therefore, cities, given their high concentration of people, services and consumption, play an essential role in the process of energy conversion towards a sustainable society. This process, closely linked at the climate change mitigation, represents one of the greatest challenges of the 21st century, as recognised on Paris Agreement.

The role of the cities, in the transition to a more sustainable future, is increasingly recognised and testified by the spread of the Post Carbon Cities concept, which is also shifting to a smaller scale of intervention, the district, with the creation of Post Carbon District. It is something in-between of city and building and is the scale most appropriate for testing the various strategies of the urban system transformation, containing the size and the risk, making them more manageable and where they may have a significant impact [2]. However, it is important highlight that districts are not the simple sum about its buildings, but the set of all parties that make up the urban system such as buildings, mobility, street lighting, water and waste management. The energy policies can lead to various positive social, environmental and economic impacts that can bring an added value for the choice of the alternative strategies. Therefore are needed new support instruments and criteria for considering these impacts, fundamental in a complex context like the urban one, where they are present several stakeholders with different interests.

Their inclusion may take place through different assessment system, such as Life Cycle Cost (LCC), Life Cycle Assessment (LCA), Cost-effectiveness analysis, Cost-Benefit Analysis (CBA), Multi-Criteria Decision Aid (MCDA), Composite Modelling Assessment (COSIMA), and allow comparing various possible scenarios, justifying the selection.

The subsequent sections illustrate the methodology for work at the district level and the application of the choice of transformation scenarios with the inclusion of their impact.

2. METHODOLOGY

The energy efficiency measures (EEMs) need of innovative methodologies in order to be assessed beyond than mere reduction of consumption and of the investment cost.

The methodological process for the assessment of district transformation scenarios will require a series of steps. First of all, it is necessary to consider the state of art of each element of urban system (building, mobility, street lighting, water and waste) to have a starting point to identify the EEM and to proceed to the definition and identification of benefits that they can lead. The knowledge of the district can be supported by the use of geographic information system (GIS), an informative system that allows to collect, process and visualize geo-referenced data. As regards buildings it is unthinkable to analyse the energy consumption of each one, but as shown by Ballarini et al. [3], when you work on a large scale, one of the existing approaches plans to identify reference buildings (RBs), representing the heterogeneity of building stock of city dividing it in specific classes. Each class is based on certain features (e.g. age of construction, geometrical and thermo-physical features), to which

they are linked energy needs and consumptions, expressed in kWh/m²y, estimated through the modelling of the representative RBs. The real buildings in the district are grouped in cluster according to the classes identified. In this way, it is possible to associate the consumption of RB to the cluster group and estimate the whole buildings and district energy consumption.

Once we define the state of the art, the EEM for each sector need to be set out. Even then an energy assessment shall be carried out to get comparable values to the original state.

In order to be able to compare the alternative scenarios, the last step is the macroeconomic assessment in which economic and extra-economic benefits are considered. First, benefits need to be identified and quantified for each scenario. Secondly, it is necessary to identify an assessment methodology that compares the different scenarios.

One possible support instrument in this phase is COSIMA analysis [4]. It can be briefly explained as an analysis that combines the Cost-Benefit Analysis and the Multi-Criteria Decision Aid. Therefore it involves co-benefits, expressed in monetary terms (as in the case of CBA), and extra-monetary benefits which are defined through Key Performance Indicators (KPIs) of quantitative and qualitative type. Examples of benefits are shown in Table 1, with the identification of the proper metrics. For the MCDA part, is used the Analytic Hierarchy Process (AHP), which identifies and gives the importance of KPIs. Indeed, contrary to co-benefits, KPIs do not all have the same relevance, but to them is assigned a weight, which allows to support the objective of the stakeholder [5].

Table 1. Examples of monetary and extra-monetary benefits and their metrics

Monetary	Unit	Extra-monetary	Unit
Energy saving	€/kWh	Increase in public transport passengers	passenger/km
CO ₂ emission avoided	€/ CO ₂ kg	Reduction of drinking water usage	l/per capita
PM ₁₀ emission avoided	€/ PM ₁₀ kg	Covering renewable energy sources	%
Real estate market value	€/m ²	Visual impact	qualitative scale
Green jobs	€/per new green job	Reliability	qualitative scale
Fuel costs avoided	€/kg or €/l	People acceptance	qualitative scale
External cost	€/kWh		

3. SCENARIOS

We proceed to outline, in detail, the different EEMs which can be taken in a hypothetical district. The selected actions following the strategies in order to fulfil the decarbonisation objectives.

For buildings and mobility, the measures involve various parts of them. Therefore, it is necessary to combine these parts to get the overall measure. Furthermore, some measures more efficient are designed only for the advanced retrofit level. In the light of the above, there are 9 EEMs for buildings, 4 for mobility, 3 for water, 2 for waste and 1 for street lighting. By the union of this are obtained 144 possible scenarios. If the number of possible scenarios is high, the most significant cases can be selected to proceed to the macroeconomic assessment.

A possible logic, for the choice, shall be as follows: the least invasive scenario (in green, as shown in Figure 1) and the most invasive one (in orange) are identified. After that, an intermediate scenario (in blue) is defined. Later more scenarios are chosen by modifying some measures from the basic scenarios, including at least once all the measures. In this way, it is possible to evaluate the impact of a measure compared to others.

Table 2. Examples of energy efficiency measures for all the sectors

Building (B)			Mobility (M)		
<i>EEM</i>	<i>Type</i>	<i>Code</i>	<i>EEM</i>	<i>Type</i>	<i>Code</i>
Plant	District Heating	D	Public transport	Methane buses 50%	1
	PV (Only for Advanced retrofit)	P		Electric buses 50%	
Envelope	Standard Retrofit	S		Electric buses 100%	2
	Advanced Retrofit	A		Buses increase	A
Envelope retrofit coverage	50%	1	Private transport	Zero emission car 25%	1
	70%	2		Zero emission car 50%	2
	100%	3		Car number decrease	A
Water (A)			Waste (W)		
<i>EEM</i>	<i>Type</i>	<i>Code</i>	<i>EEM</i>	<i>Type</i>	<i>Code</i>
	Faucets aerators Dual flush WC	1		Door-to-door waste collection with electric vehicles	1
	Faucets aerators Dual flush WC Rainwater recovery (for WC)	2A		Underground solution for urban waste (organic, plastic, glass, undifferentiated)	2
Only for Advanced retrofit with PV	Faucets aerators Dual flush WC Rainwater recovery (for WC) High efficiency appliances	2B		Door-to-door paper collection with electric vehicles	
Street Lighting (L)					
	Led lamps	L			

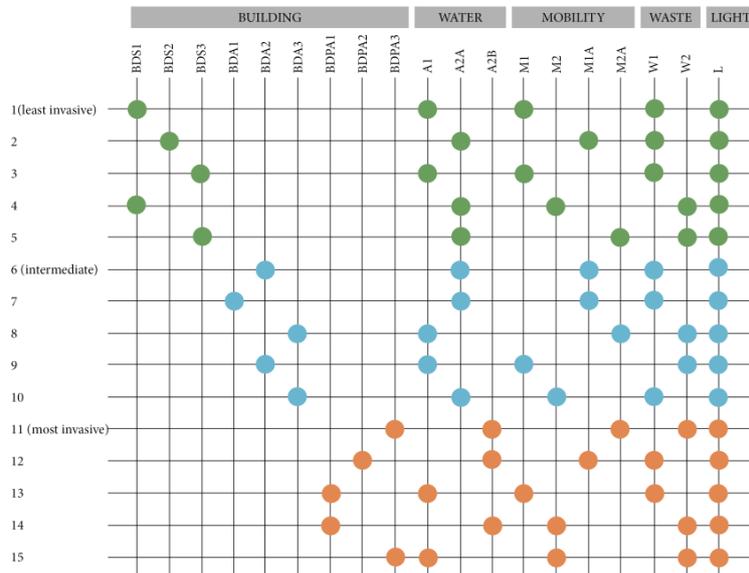


Figure 1. Combination of measures for the selection of scenarios to analyse

4. CONCLUSION AND FUTURE DEVELOPMENTS

The main objective of this article was to set the methodologic instruments in supporting the assessment of alternative energy efficiency scenarios for the district scale, taking into consideration co-benefit attained by the project and putting a focus on the identification of the most appropriate metrics. The co-benefits are not always easy to identification and quantification in monetary terms, therefore the use of hybrid assessment instruments, as COSIMA analysis, allows to get a more complete analysis, by combining the strengths of CBA and MCDA. This methodology is being applied in a Turin’s district.

REFERENCES

- [1] IRENA - International Renewable Energy Agency, Renewable energy in cities, IRENA, (2016).
- [2] M. G. R. Perez and E. Rey, “A multi-criteria approach to compare urban renewal scenarios for an existing neighborhood. Case study in Lausanne (Switzerland)”, Building and Environment, vol. 65, pp. 58-70, (2013).
- [3] I. Ballarini, S. Corgnati and V. Corrado, “Use of reference buildings to assess the energy saving potentials of the residential building stock: The experience of TABULA project”, Energy Policy, vol. 68, pp. 273-284, (2014).
- [5] M. B. Barfod, K. B. Salling, and S. Leleur, “Composite decision support by combining cost-benefit and multi-criteria decision analysis,” Decision Support Systems, vol. 51, no. 1, pp. 167–175, 2011.
- [4] Y. Li, J. O'Donnell, R. Garcia-Castro and S. Vega-Sanchez, “Identifying stakeholders and key performance indicators for district and building energy performance analysis”, Energy and Buildings, vol. 155, pp. 1-15, (2017).



Background legislativo

1. Background legislativo

Oggigiorno nei Paesi sviluppati e soprattutto nelle città, si registra circa l'80% del consumo globale di energia e oltre il 60% delle emissioni di gas ad effetto serra; responsabili del cambiamento climatico [1].

La produzione ed il consumo di energia, utilizzata nei diversi settori, quando generata da fonti fossili, comporta l'emissione di inquinanti in atmosfera, responsabili dell'aumento dei gas ad effetto serra e di conseguenza del surriscaldamento globale. La problematica dell'utilizzo di combustibili fossili non è solamente legata al tema ambientale, ma anche alla loro futura effettiva disponibilità, in quanto esse sono delle risorse energetiche non rinnovabili e quindi in via di esaurimento. È necessario perciò una transizione verso un'economia priva di carbonio.

Gli edifici sono uno dei maggiori responsabili del consumo di energia nell'Unione Europea, con circa il 40% dei consumi totali e dell'emissione di gas serra. Se si aggiunge anche il settore dei trasporti, la loro somma costituisce il 60-80% dei consumi totali nelle città, rappresentando quindi i due settori maggiormente energivori delle aree urbane. Oltre ad essi sono da annoverare anche altri elementi che concorrono all'emissione di inquinanti in atmosfera: come le industrie, i rifiuti ed il settore energetico. Da qui si può evincere che sono indispensabili delle azioni volte a modificare l'intero sistema urbano delle città.

In precedenza, l'attenzione era incentrata nel settore dell'edilizia, settore chiave per promuovere il miglioramento energetico, grazie agli elevati risultati raggiungibili nell'ambito della performance energetica, attraverso la trasformazione degli edifici in Zero Energy Building. Attualmente, invece, per affrontare efficacemente la questione sul clima e raggiungere gli obiettivi prefissati (che verranno analizzati in seguito nel suddetto capitolo), ci si è spostati dal singolo edificio ad una scala più ampia, come il quartiere o l'intera città. Esse sono divenute aree strategiche e sono state promosse anche attraverso la nascita dei concetti di eco-quartieri, Net Zero-Energy District (NZED) e delle città post-carbonio (Post-Carbon Cities). A queste scale la concentrazione di persone, servizi, edifici, permette di diminuire i costi unitari della modifica dei sistemi, tramite l'economia di scala.

Le città attualmente si estendono per circa 2% della superficie terrestre e vi risiede il 50% della popolazione mondiale. Si stima che, nel 2050, la popolazione che vivrà in tali aree sarà ancora più elevata, raggiungendo il 70% di quella totale e comportando, se non si modifica la situazione attuale, un aumento della domanda di energia e di conseguenza dell'inquinamento. In Europa, i crescenti livelli di urbanizzazione potrebbero far innalzare i consumi di energia primaria in città, raggiungendo così il 75% entro il 2030 [2]. Le aree urbane perciò, rappresentano un ruolo chiave nelle strategie per la riduzione delle emissioni, grazie anche all'implementazione di strumenti, quali azioni e supporti politici, che mirano a spostarsi verso pratiche più sostenibili, rendendo le città più vivibili. Dunque la sostenibilità diventa un obiettivo fondamentale per la sopravvivenza del pianeta.

La prima conferenza mondiale sull'ambiente si è tenuta a Rio de Janeiro nel 1992, la quale produsse il primo grande accordo internazionale: la Convenzione quadro delle Nazioni Unite

sui cambiamenti climatici (UNFCCC).

A livello europeo invece le politiche energetiche si focalizzano su tre fattori della sostenibilità: economica, sociale ed ambientale, con l'obiettivo comune di migliorare la sicurezza dell'approvvigionamento energetico, creare nuovi posti di lavoro, accrescendo al contempo l'imprenditorialità e l'innovazione. Questi, e molti altri ancora, possono essere considerati come benefici collaterali generati dalle misure per contrastare i cambiamenti climatici. La loro conoscenza crea una visione più completa di ciò che apportano le trasformazioni inerenti al sistema urbano [3]. Inoltre considerarli e attribuirli un valore all'interno delle analisi per la valutazione di un progetto, può essere uno strumento utile per far sì che i diversi attori agiscano concretamente nella realizzazione delle azioni.

Negli ultimi decenni sono sorte svariate tabelle di marcia, misure e direttive per affrontare il cambiamento climatico a livello europeo e mondiale; attraverso la definizione di obiettivi che si prefissano di influenzare gli approcci anche a livello cittadino, volte a promuovere l'interazione tra le diverse scale. Tali accordi sono fissati a livello internazionale e nazionale, ma intervenire a livello urbano permette ai governi locali di considerare in maniera più accurata il contesto ambientale ed economico, prendendo così iniziative in maniera autonoma e più efficaci, rispetto a quelle proposte ai livelli di governance superiori. Ovviamente i governi locali dovranno confrontandosi con quelli superiori [4].

Le città hanno quindi compreso il loro potenziale sia a livello locale che in termini globali (quando si considerano i benefici apportati all'intero pianeta).

In seguito verranno analizzate le attuali politiche intraprese dall'Unione Europea per la salvaguardia del clima.

1.1. Accordi e normative internazionali

In questo paragrafo sono stati analizzati i diversi accordi e le misure politiche che regolano il processo di transizione energetica ai diversi livelli di attuazione.

Protocollo di Kyoto

Per affrontare la lotta contro il surriscaldamento globale, l'UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) nel 1997 ha redatto il protocollo di Kyoto (COP3), un trattato con valenza internazionale, per cercare di rallentare, attraverso delle azioni, i danni causati dalle emissioni di gas serra, fissando degli obiettivi per i Paesi sviluppati. Il protocollo è entrato in vigore solo nel 2005 dopo che, almeno 55 Paesi, vi aderirono e che questi ultimi fossero responsabili per almeno il 55% delle emissioni di inquinanti [5]. I gas considerati ad effetto serra erano l'anidride carbonica, il metano, il protossido di azoto, i fluorocarburi idrati, i perfluorocarburi e l'esaffluoro di zolfo. Ognuno di questi gas ha un proprio potere climalterante che viene considerato nella CO₂ equivalente (CO₂eq), un'unità di misura che considera in modo ponderato la capacità serra dei gas oggetto del Protocollo di Kyoto.

L'obiettivo del protocollo si prefissava nell'abbassare tali gas del 5.2% nei Paesi firmatari,

rispetto ai livelli del 1990. Il periodo fissato entro la quale conseguire la riduzione, andava dal 2008 al 2012 [6]. In particolar modo per l'Italia, la quota da raggiungere era pari al 6.5% rispetto al 1990. Tale riduzione di gas serra è stata operata attraverso l'implementazione della produzione elettrica da fonti energetiche rinnovabili e attraverso l'efficientamento delle centrali termoelettriche.

Pacchetto Clima-Energia ed Energy Roadmap 2050

In seguito alla conclusione del trattato del protocollo di Kyoto, è entrato in vigore il pacchetto Clima-Energia (chiamato anche strategia "20-20-20"), pensato dall'Unione Europea, al cui interno vengono indicati dei target da raggiungere per l'anno 2020 [7].

Tale strategia consiste in una serie di azioni volte ad impegnarsi ad ostacolare il cambiamento climatico, senza dover attendere ulteriori accordi globali. Questo pacchetto mira a ridurre le emissioni di gas serra, fissando tre obiettivi che dovranno essere raggiunti entro il 2020 dagli Stati membri.

Il "pacchetto clima-energia 20-20-20", varato dall'UE, è racchiuso all'interno della Direttiva 2009/29/CE, approvata nel 2009 e con valenza dal 2013 fino al 2020, in cui si prospetta di:

- Ridurre del 20% le emissioni di CO₂ rispetto ai livelli del 1990;
- Ridurre i consumi energetici del 20% rispetto alle proiezioni per il 2020;
- Produrre energia da fonti energetiche rinnovabili (FER) per almeno il 20% dei consumi totali di energia.

Attraverso il perseguimento dei punti sopracitati si vogliono contrastare i cambiamenti climatici, promuovere l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili per mezzo di obiettivi vincolanti per i Paesi membri, aumentando l'efficienza energetica.

La riduzione delle emissioni compete diversi settori, di cui i principali sono quello energetico ed industriale, i quali sono regolati da un sistema di scambio di quote di emissioni (ETS¹), che rappresenta un valido aiuto per ridurre le emissioni degli impianti. Oltre a questi si aggiungono anche il settore dell'edilizia, dell'agricoltura, dei rifiuti e dei trasporti, in cui la quota di diminuzione delle emissioni varia da Paese a Paese, a seconda del reddito nazionale.

I consumi totali di energia fanno riferimento a tutti i settori presenti, come quello edilizio, dei trasporti ed industriale. La ripartizione degli obiettivi dei vari Paesi varia, ad esempio per le fonti energetiche rinnovabili (FER), in base alla quota di partenza del Paese e dalla sua capacità di aumentarla ulteriormente. Da sottolineare che per l'Italia è stato quindi determinato un traguardo del 17% di quota di energia prodotta da FER.

¹ Il sistema di scambio di quote di emissione dell'UE (ETS UE) è una politica dell'UE per contrastare i cambiamenti climatici. Questo sistema opera secondo il principio della limitazione e dello scambio di emissioni. Le imprese acquistano delle quote, che alla fine di ogni anno vanno a coprire le loro emissioni, altrimenti dovranno pagare delle multe pesanti. Le quote se non vengono utilizzate possono essere rivendute. Esse sono limitate e questo garantisce a loro un valore.

L'Unione Europea si è impegnata a fissare una visione lungimirante, volta a conseguire un sistema energetico quasi completamente privo di emissioni di carbonio per il futuro avvenire.

Nel 2011, la Commissione Europea ha prospettato degli scenari futuri del complesso energetico, sollecitando la de-carbonizzazione tramite la comunicazione "Una tabella di marcia verso un'economia competitiva a basse emissioni di carbonio nel 2050" [8].

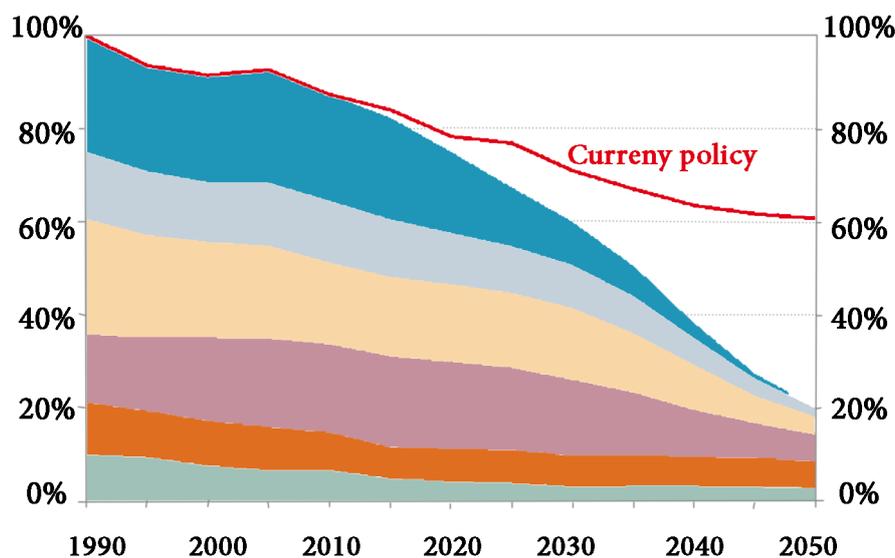
Questa tabella di marcia determina degli obiettivi a lungo termine e soprattutto si incentra ad un'economia a basse emissioni di carbonio, da raggiungere entro il 2050. Durante tale lasso di tempo, le emissioni dovranno essere ridotte di almeno l'80%/95%, rispetto a quelle registrate nel 1990, in tutta l'UE-27.

La de-carbonizzazione dovrà essere perseguita in tutti i settori che contribuiscono ad innalzare le emissioni. A scopo illustrativo, nella figura 1, sono riportate le varie riduzioni che ci si aspetta di conseguire in futuro nei diversi settori.

Il settore che permette di limitare in maniera sostanziale le emissioni è quello energetico. In tale comparto i combustibili fossili potranno essere rimpiazzati da fonti rinnovabili e a basse emissioni [9].

I traguardi imposti potranno essere raggiungibili solo se si apportano delle modifiche al sistema energetico attuale. Tutto ciò, ovviamente, non può essere immune ad un aumento della competitività e dell'implementazione della sicurezza energetica a livello europeo. La transizione verso un'economia priva di carbonio consente di osteggiare i cambiamenti climatici, migliorando l'ambiente. Di riflesso offre anche opportunità per investimenti, creazione di posti di lavoro, maggiore sicurezza energetica e benefici sulla salute.

Figura 1: Riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra nell'UE nei diversi settori



Fonte: Commissione Europea, 2050 low-carbon economy.

Affinché si concretizzi la de-carbonizzazione sono stati identificati dei traguardi intermedi, che permettono di controllare, in periodi più brevi, se la mutazione del sistema energetico si

sta dirigendo correttamente verso la meta finale. Il cambiamento dell'economia dovrà quindi avvenire in maniera graduale per permettere un cammino efficiente rispetto ai costi. Inoltre i traguardi sono stati pensati anche per perseguire quanto stabilito nell'accordo di Parigi, ovvero per evitare l'aumento della temperatura di oltre i 2°C.

Da qui, nel 2014 il Consiglio Europeo, partendo da quanto fatto in precedenza, ha stabilito degli obiettivi da raggiungere per il 2030 (UE 2030 Clima-Energia) [10]. Per questo anno vengono aumentati i target, sempre secondo le azioni identificate dal "Pacchetto 20-20-20", e sono:

- Riduzione del 40% della CO₂ rispetto ai livelli del 1990;
- Riduzione dei consumi energetici del 27% rispetto alle proiezioni per il 2030;
- Produzione di energia da fonti energetiche rinnovabili per almeno il 27% dei consumi totali di energia.

I punti vincolanti sono la riduzione delle emissioni e la produzione di energia da fonti energetiche rinnovabili, in linea con la "Tabella di marcia verso un'economia competitiva a basse emissioni di carbonio nel 2050". Oltre alla lotta ai cambiamenti climatici, è stato posto come punto anche la diminuzione dell'utilizzo di energie importate dalle zone extra europee. Il contenimento dei consumi è stato invece fissato al 27% ma dovrà essere rivisto nel 2020.

Per il 2040 le emissioni dovranno essere ridotte del 60% rispetto ai livelli del 1990, permettendo così di conseguire l'obiettivo finale dell'80% entro il 2050.

Accordo di Parigi

Nel 2015 si è svolta la conferenza sul clima di Parigi (COP21), dove 195 paesi in tutto il mondo hanno firmato un accordo sul clima mondiale con valenza universale e giuridicamente vincolante per i Paesi firmatari [11].

Codesto accordo ha avuto un grande successo, grazie al numero elevato dei Paesi sviluppati e in via di sviluppo che vi hanno aderito, al contrario della scarsa partecipazione al protocollo di Kyoto. La cospicua partecipazione evidenzia come la lotta contro i mutamenti climatici sia un problema ormai percepito a livello globale e dove appare comprovata la volontà di agire.

L'accordo aspira ad evitare che il riscaldamento del pianeta superi i 2°C rispetto ai livelli preindustriali, cercando di proseguire gli sforzi e per limitare, qualora si riuscisse, ancora maggiormente l'aumento medio della temperatura mondiale a 1,5°C. Secondo l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) se le emissioni di gas serra non dovessero diminuire le temperature di conseguenza potrebbero salire tra 1.1 e 6.4°C, a seconda delle proiezioni sulle future emissioni.

Le città, all'interno dell'accordo (anche se esso si riferisce ai Paesi in generale), sono riconosciute come soggetti interessati, e devono promuovere iniziative per la limitazione delle emissioni, e creare una cooperazione tra le diverse scale di interazione. Lo sviluppo sostenibile negli accordi internazionali include quindi un obiettivo urbano, riconoscendo il ruolo positivo che rivestono le

città nella trasformazione verso una società sostenibile [12].

L'accordo invia un chiaro segnale a tutti i soggetti coinvolti ad avviare e continuare una transizione a livello mondiale verso l'uso di energie più pulite, con conseguente diminuzione di combustibili fossili.

1.2. Dalle città al quartiere

In questo paragrafo sono state trattate in maniera più approfondita le iniziative sorte nei contesti urbani.

Iniziative alla scala della Città

Le città, di norma, sono vincolate da leggi europee e nazionali, ma a livello locale sono sorte diverse iniziative che le regolano in maniera più oculata, per modificare il modo in cui esse sono pianificate, gestite e vissute dai diversi soggetti interessati. Questo restringimento delle iniziative ad una scala più ravvicinata, permette di facilitare un dialogo a livello locale attraverso l'attuazione di politiche che vengono definite a livello nazionale e internazionale.

A titolo di esempio in Europa, nel 2008, è nato il Patto dei Sindaci, divenuto poi nel 2017 un movimento su scala mondiale. Per la prima volta, tale patto, impegna le piccole e le medie città ad implementare delle azioni volte a modificare il sistema energetico, attraverso la definizione di obiettivi su clima ed energia che raggiungono o superano quelli comunitari di cui si è parlato precedentemente [13]. Gli obiettivi base, da cui vengono poi definiti quelli maggiormente incisivi, sono quelli legati al pacchetto per il clima per l'energia 2020 e 2030 e la Strategia UE per l'Adattamento al Cambiamento Climatico.

Questo movimento, avviato dalla Commissione europea, ha un approccio di tipo bottom-up su base volontaria, con oltre 7600 firmatari. Esso identifica degli obiettivi da realizzare entro il 2050 per: accelerare la de-carbonizzazione, aumentare la resilienza agli impatti del cambiamento climatico e permette ai cittadini di accedere a un'energia sicura, sostenibile e accessibile.

Chi vi aderisce, deve presentare un Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima (PAESC), dove vengono indicate le azioni, con l'obiettivo di ridurre le emissioni di CO₂ di almeno il 20% entro il 2020 e del 40% entro il 2030, come stabilito dal pacchetto 20-20-20 e seguenti.

Le città che aderiscono al patto si impegnano a ridurre le emissioni e redigere un inventario di quelle prodotte. Esse riguardano quelle legate al consumo energetico del sistema urbano, che interessano il loro territorio e che sono direttamente influenzabili dall'amministrazione locale, quali quelle associate al settore edilizio, al trasporto urbano e alla generazione di energia locale sostenibile [14]. Inoltre possono essere segnalate anche le emissioni dovute ad altri settori. Altre iniziative a livello urbano sono UNHABITAT's Cities Resilience Profiling Programs (CRPP), Rockefeller Foundation's 100 Resilient Cities, RESURBE International Program on Urban Resilience, City Climate Leadership Group (C40) e Medellin Collaboration for Urban Resilience, e hanno un ruolo fondamentale nell'attuazione delle risoluzioni della COP21 e dell'accordo di Parigi [15].

Scala del quartiere

Il concetto di città sostenibile può essere implementato partendo da conformazioni più piccole, come il quartiere, la quale risulta un'entità con propri confini, storia e cultura.

L'obiettivo "zero energy" è stato ampiamente utilizzato nel singolo edificio (NZEB - Nearly Zero Energy Building), grazie alla rifusione della direttiva sul rendimento energetico degli edifici (EPBD - Energy Performance of Building Directive). La diffusione di tale concetto si sta direzionando anche alla scala distrettuale (NZED- Nearly Zero Energy District). L'NZED prende in considerazione la domanda di energia del quartiere per edifici (riscaldamento/raffrescamento, elettrodomestici, consumo di acqua calda sanitaria), mobilità, illuminazione stradale e la raccolta dei rifiuti e altre strategie di sostenibilità, lavorando perciò su più fronti [16]. Questo allargamento di scala permette di ottenere diversi benefici, non ottenibili lavorando sul singolo edificio, sfruttando anche investimenti e politiche pubbliche.

I quartieri, come le città di cui fanno parte, hanno un ruolo primario nel raggiungimento dei principi di sostenibilità del sistema mondiale. Essi diventano la scala adeguata dove le diverse strategie possono essere testate, rendendole più gestibili, contenendo le dimensioni e il rischio di un possibile fallimento, ma dove le azioni possono avere anche un impatto significativo.

La crescente questione ambientale ha fatto sì che aumentassero anche i progetti urbani sostenibili, per creare quartieri più vivibili, sani, dove la qualità della vita raggiunge alti livelli dal punto di vista ambientale e sociale, in grado di contenere la richiesta di energia, chiamati eco-quartiere. Il termine "eco-quartiere" definisce una zona urbana, in cui l'obiettivo è di generare un ambiente sostenibile incentrato su energia, ambiente e qualità della vita degli abitanti, dove è possibile testare, su scala ridotta, la città sostenibile, per raggiungere gli obiettivi di de-carbonizzazione delle città come stabilito dalla Commissione europea. I quartieri perciò fanno parte di un sottoinsieme della città definiti da confini fisici e amministrativi, dove il sistema complessivo non è la semplice somma dei suoi edifici, ma converge l'interesse di essi con le restanti parti [17]. La sostenibilità a questa scala è perciò considerata in modo integrato ed olistico.

Il concetto di NZEB può essere trasposto al NZED affinché si possa creare una parte di città dove il rendimento energetico è molto alto, con una richiesta di energia molto bassa o infinitamente piccola e coperto in misura molto significativa prodotta da energia da fonti energetiche rinnovabili. Le strategie di efficienza energetica per gli edifici devono essere soddisfatte anche a livello distrettuale, poiché gli edifici restano i maggiori consumatori di energia [18].

Sviluppo urbano sostenibile



2. Sviluppo urbano sostenibile

Nel capitolo precedente si sono delineate le normative e le politiche che sono state sviluppate a livello europeo ed internazionale per il raggiungimento degli obiettivi sul clima. In questo capitolo si tratterà più nello specifico il concetto di città e quartiere sostenibile, descrivendo le misure di efficientamento energetico che possono essere intraprese nei settori principali del sistema urbano, ossia edifici, impianti energetici, mobilità, illuminazione pubblica, acqua e rifiuti.

Per prima cosa verranno analizzati i trend passati e le prospettive future di efficientamento energetico, dei vari settori, attraverso l'analisi delle misure che possono essere impiegate per affrontare la crisi ambientale. In seguito verrà analizzato il concetto di eco-quartiere e dei relativi casi studio in cui sono state utilizzate diverse azioni per la creazione di ambienti sostenibili.

Per molto tempo, in tutto il mondo si è assistito ad un uso intensivo delle risorse. Questo comportamento è ormai riconosciuto come il fattore determinante dei cambiamenti climatici e molto può essere fatto per invertire le tendenze e creare un futuro sostenibile.

Sistemi urbani, utilizzo di energia e cambiamenti climatici sono strettamente correlati tra di loro, perciò lavorare sui grandi agglomerati urbani, potrà essere un valido approccio per ridurre le pressioni energetiche ed ambientali che si registrano in queste aree. La sfida risiede nel coordinamento delle diverse misure per la creazione di un ambiente che sia sostenibile sotto vari aspetti. Tuttavia sono ancora presenti alcune barriere che rendono difficoltosa la trasformazione [1]. La creazione di comportamenti sostenibili è in parte disincentivata dal prezzo che le diverse risorse hanno sul mercato, che molto spesso non rappresenta il costo reale complessivo che hanno per l'ambiente e per le persone. Sono perciò necessarie nuove politiche che tengano conto delle esternalità delle risorse, come ad esempio delle tasse verso quelle più inquinanti ed incentivi fiscali per le risorse più "verdi". Il World Business Council for Sustainable Development si è impegnato a stabilire il giusto valore delle risorse sia naturali che umane [2] e secondo tale ente, entro il 2050 bisognerà aumentare da 4 fino a 10 volte l'efficienza delle risorse per riuscire a garantire la loro presenza anche in futuro.

L'Unione Europea ha stilato il documento "Tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impegno delle risorse" [3]. All'interno di esso viene menzionato il fatto che una strategia di miglioramento dell'efficienza di tutti i settori avrà delle conseguenze positive anche sotto altri aspetti. Tramite questi miglioramenti è infatti possibile che si generino benefici in termini economici, come il miglioramento della competitività a livello mondiale, che favorirebbe la creazione di nuovi posti di lavoro, anche in settori innovativi, che permetterebbero di superare l'attuale crisi economica [3]. Inoltre consentirà il raggiungimento di una maggiore sicurezza di approvvigionamento data dalla diminuzione della domanda di energia e risorse, che si tradurrà in una diminuzione dell'energia importata e delle materie prime utilizzate.

Al tema dello sviluppo sostenibile è associato anche quello riguardante l'economia circolare, un concetto opposto all'economia lineare che ha caratterizzato l'ultimo secolo. Il modello lineare

si basa sull'utilizzo e scarto delle risorse alla fine della loro vita, mentre quello circolare prevede diversi riutilizzi, che valorizzano anche gli scarti.

2.1. Misure di efficienza energetica

Dal rapporto Brundtland (1987) [4], si evince che le città hanno un'elevata impronta ecologica che deve essere necessariamente ridotta, non solo per l'aspetto ambientale, ma anche per la creazione di luoghi più salutarci per i cittadini. Nasce da questo rapporto il concetto di "sustainable development", che è stato in seguito inserito come obiettivo anche all'interno dei successivi accordi internazionali.

Il governo locale ha un importante ruolo nella creazione di questa nuova società. L'attuazione di misure politiche è infatti fondamentale per avviare il processo di riduzione delle emissioni, e la transizione verso una città post-carbonio deve prevedere il coinvolgimento di diversi settori, in cui le amministrazioni urbane sono responsabili o hanno in qualche modo un potere decisionale, per sviluppare un approccio integrato ed olistico nel modo in cui sono pensate le città [5].

Dato l'aumento della consapevolezza del problema che le città rivestono sull'inquinamento ambientale, sono nati nuovi modi di pensarle e viverle, attraverso l'adozione di pratiche sostenibili. Nascono da questo tema i concetti di Post-Carbon City, NZED, ecoquartieri e molti altri; tutti incentrati su un modello di città, o di una parte di essa, in cui vengono applicate delle misure di retrofit per aumentarne l'efficienza energetica e ridurre i consumi ed emissioni. Questi progetti vogliono dimostrare in modo concreto che gli alti livelli di sostenibilità, che passano attraverso delle politiche a zero emissioni, possono essere utilizzati per gli sviluppi futuri.

Si è già parlato nel capitolo precedente dell'importanza che i quartieri hanno in questo ruolo. Infatti queste aree possono essere considerate come delle porzioni di città, composte dallo stesso sistema urbano di queste ultime. Le trasformazioni che vengono proposte e testate alla scala del quartiere, se sviluppate in modo corretto, possono essere applicate all'intera città. Il quartiere rappresenta perciò la dimensione ottimale grazie alla sua dimensione ridotta, in cui è possibile applicare i principi della sostenibilità, e grazie ai diversi livelli considerati al suo interno.

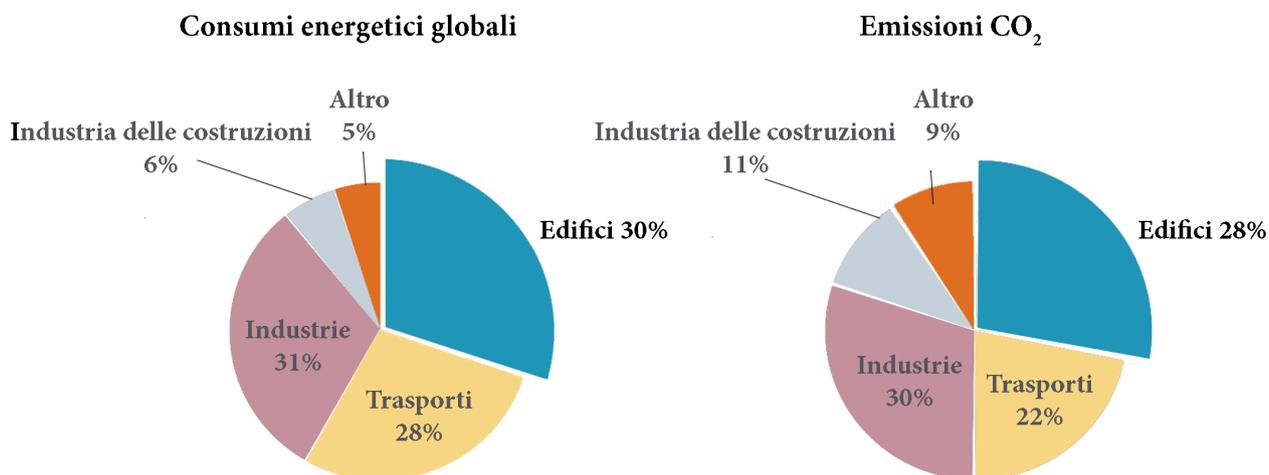
Con il termine "efficienza energetica" ci si riferisce ad una riduzione dei consumi creata attraverso il miglioramento dei sistemi energetici [6]. Essa non riguarda solo gli elementi fisici, ma anche il fattore umano riveste un'importanza cruciale. I comportamenti degli utenti sono in grado di influenzare notevolmente i consumi, dati da errate abitudini ormai radicate. Molta dell'energia che viene utilizzata quotidianamente è in realtà sprecata. Devono perciò essere promossi anche nuovi comportamenti più sostenibili che possono essere controllati ad esempio tramite dei sensori avanzati negli edifici e che possono influenzare l'utente a prestare maggiore attenzione ai suoi consumi.

Nei seguenti paragrafi sono analizzati i diversi settori del sistema urbano, partendo da quello degli edifici.

2.1.1 Edifici

Gli edifici sono i maggiori responsabili dei consumi di energia e di emissioni di carbonio a livello globale, come mostrato nella figura 2.

Figura 2. Consumi di energia ed emissioni CO₂ per settore, riferiti in particolare agli edifici [7].



Fonte: IEA (International Energy Agency), World Energy Statistics and Balances, IEA/OECD, Parigi, 2017.

In Europa essi sono mediamente molto vecchi e perciò il loro consumo energetico è molto alto, ma può tuttavia essere ridotto grazie al loro elevato potenziale di risparmio energetico, attraverso l'implementazione di misure di retrofit e l'utilizzo di energie alternative ai combustibili fossili [8]. La riduzione dei loro impatti è una delle priorità per il conseguimento degli obiettivi sul clima e devono perciò essere studiate delle soluzioni che possano portare a risultati significativi. I consumi energetici in questo settore non sembrano volersi fermare e questo è dovuto ad una serie di fattori diversi, come l'aumento della popolazione mondiale che causa una continua crescita di richiesta di edifici; le condizioni meteorologiche che negli ultimi anni sono diventate sempre più estreme, portando un aumento della domanda di riscaldamento in inverno e ad un aumento della domanda di raffreddamento durante la stagione calda; l'aumento di apparecchi elettrici all'interno delle abitazioni; la presenza, ancora attuale, di tecnologie inefficienti rispetto a quelle oramai presenti nel mercato e la mancanza di investimenti in questo settore [7].

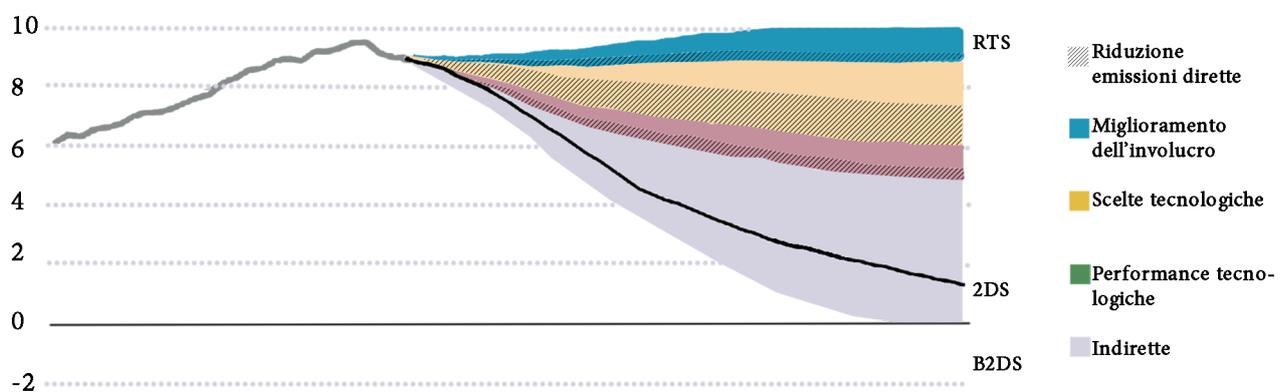
La presenza di politiche che stabiliscono degli obblighi relativi alle prestazioni energetiche degli edifici, riguardanti soprattutto gli edifici esistenti, unite a degli incentivi fiscali, possono risultare un'arma vincente per creare una spinta verso la realizzazione di interventi efficaci ed efficienti. Queste misure possono essere suddivise in 9 punti:

1. Progettazione urbana delle politiche per l'efficienza energetica e l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili;
2. Aumento delle performance energetiche degli edifici esistenti;
3. Raggiungimento delle zero emissioni nette negli edifici;

4. Miglioramento della gestione energetica;
5. Decarbonizzazione dell'energia utilizzata negli edifici;
6. Ridurre l'energia utilizzata e conseguentemente le emissioni associate;
7. Riduzione della richiesta di energia da parte degli apparecchi elettrici;
8. Aggiornamento e miglioramento della progettazione degli edifici;
9. Aumento della consapevolezza dell'utente sulla sua impronta ambientale.

Nella figura 3 sono rappresentate le riduzioni di CO₂ conseguibili nel settore degli edifici attraverso le misure di efficientamento energetico e sono presenti 3 differenti scenari.

Figura 3. Emissioni CO₂ per fonte energetica negli edifici. Trend attuali e futuri.



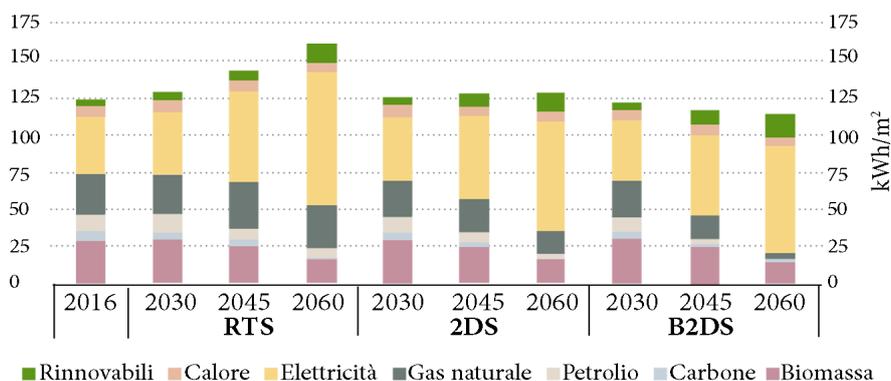
Fonte: IEA (International Energy Agency), Energy Technology Perspective 2017, IEA/OECD, Parigi, 2017.

Secondo l'IEA se non si adotteranno delle strategie più ambiziose (RTS Reference Technology Scenario), entro il 2060 i consumi energetici degli edifici cresceranno ancora del 30%, con il conseguente aumento delle emissioni di CO₂ del 10%. Lo scenario 2DS (2°C Scenario) potrebbe essere conseguito se venissero adottate soluzioni ad alta efficienza energetica e a basse emissioni di carbonio. Tramite queste azioni si limiterebbe del 50% la probabilità che la temperatura media globale si alzi di 2°C, diminuendo del 1'85% le emissioni di CO₂ degli edifici nel 2060. L'ultimo scenario, B2DS (Beyond 2°C Scenario), in linea con gli obiettivi sul clima dell'accordo di Parigi, permetterebbe di raggiungere zero emissioni nette negli edifici attraverso la rapida adozione di soluzioni ad alta efficienza e a basse emissioni di carbonio [7]. Da questa analisi si evince che l'ultimo scenario è quello più favorevole, ma serve che le diverse soluzioni applicabili negli edifici siano adottate nell'immediato e diffuse in tutto il settore per poter raggiungere i risultati sperati. La delineazione degli scenari a lungo termine è un'operazione molto complessa poiché è difficile conoscere i reali trend futuri e le innovazioni che potranno essere presenti nel mercato, in grado di apportare maggiori benefici.

Attualmente i consumi energetici degli edifici sono guidati per lo più da consumi elettrici, dovuti ai sistemi di raffrescamento e dagli elettrodomestici; seguiti dall'utilizzo di gas naturale e altri combustibili fossili per coprire la domanda di riscaldamento. L'82% di questi consumi è coperto

da fonti fossili e l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili è molto limitato se non si considera la biomassa. La decarbonizzazione del sistema energetico è la migliore strategia per diminuire le emissioni ed abbassare i consumi degli edifici.

Figura 4: Consumi energetici suddivisi per tipologia di fonte secondo gli scenari attuali e futuri.



Fonte: IEA (International Energy Agency), Energy Technology Perspective 2017, IEA/OECD, Parigi, 2017.

In base agli scenari futuri visti precedentemente, l'IEA stima, come mostrato nella figura 4, che l'energia elettrica rappresenterà la maggior parte dei consumi sia nello scenario RTS che 2DS che B2SD. Attualmente gli edifici rappresentano quasi il 55% dei consumi elettrici globali e la decarbonizzazione del sistema elettrico risulta perciò un processo fondamentale per la trasformazione degli edifici in edifici "green".

La riduzione del impatto ambientale degli edifici - uno dei principali obiettivi dello sviluppo sostenibile - in Europa è regolamentata dalla direttiva 2010/31/CE EPBD recast (Energy Performance of Building Directive) [9].

Tale normativa segue coerentemente le strategie definite dall'Unione Europea e segna una svolta fondamentale nelle politiche che riguardano gli edifici di tutti gli Stati Membri europei [10]. Essa prevede:

- Requisiti minimi di performance energetiche per gli edifici, elementi costruttivi e tecniche costruttive;
- Utilizzo della metodologia ottimale in funzione dei costi (cost-optimal) per l'impostazione dei requisiti, tenendo conto dei costi durante l'intero ciclo di vita dell'edificio;
- Impone la progettazione di Zero-Energy Buildings per i nuovi edifici o per ristrutturazioni importanti a partire dal 2019 per gli edifici pubblici e 2021 per gli edifici residenziali.

Tale normativa obbliga tutti gli Stati membri dell'Unione Europea a fissare dei requisiti minimi di prestazione energetica, da applicare agli edifici di nuova costruzione ed anche a quelli che

subiscono un'importante ristrutturazione.

In questa normativa si parla per la prima volta in maniera chiara del concetto di Nearly Zero Energy Building (NZEB), ossia un edificio il cui consumo sia quasi nullo, raggiungibile attraverso un basso fabbisogno energetico combinato con la produzione di energia da fonti energetiche rinnovabili. È chiaro perciò il collegamento tra questa tipologia di edificio e il raggiungimento dello scenario B2DS analizzato precedentemente. Gli NZEB hanno infatti permesso di far un grande passo in avanti verso la sostenibilità ambientale ed inoltre sono capaci di incrementare al tempo stesso anche la qualità dell'edificio, permettendo all'utente di vivere in un ambiente con un'alta qualità di comfort interno e dell'aria [11].

Questo concetto può essere trasposto anche alle scale urbane, ed è proprio in questo contesto che nascono i Nearly Zero Energy District (NZED). L'obiettivo del consumo quasi nullo di energia passa perciò dal singolo edificio ad un sistema urbano come il quartiere. Tali distretti sono incentrati sui bassi consumi, relativi agli NZEB, e alla produzione di energia rinnovabile prodotta in loco. L'equilibrio tra consumi e produzione di energia può essere sfruttata, a questa scala d'intervento, attraverso la diversificazione. Infatti non è necessario che tutti i singoli edifici presentino un bilancio nullo tra la domanda di energia e la sua produzione, ma essa deve essere raggiunta globalmente in un dato periodo di tempo. I fabbisogni energetici vengono quindi calcolati complessivamente per tutta l'area e la produzione di energia raggiunge un elevato grado di efficienza grazie alla minimizzazione delle perdite che invece si potrebbero registrare nello NZEB. Gli NZED non sono da considerare come una somma di più NZEB, ma sono da integrare in un approccio più ampio, che coinvolge diverse risorse come l'acqua, i rifiuti e le infrastrutture.

In questa parte dedicata agli edifici ci si focalizzerà però solamente sulle possibili azioni da possono essere implementate in questo settore. Essi infatti sono da considerare sempre come i maggiori consumatori di energia e per ridurre i consumi sono necessarie strategie efficienti.

Retrofit

Gli interventi sugli edifici dovrebbero includere: il miglioramento dell'involucro, l'utilizzo di impianti energetici più efficienti e tecnologie a basse emissioni, come ad esempio le pompe di calore; l'utilizzo di elettrodomestici di ultima generazione con elevata prestazione energetica e un sistema di illuminazione a bassi consumi.

L'involucro edilizio separa gli ambienti interni con quelli esterni, ed è uno degli elementi fondamentali per ridurre i consumi di riscaldamento e raffreddamento. Il potenziale di risparmio energetico ottenibile attraverso l'ottimizzazione dell'involucro è molto elevato, ed è in grado di garantire alti livelli di comfort interno.

La maggior parte degli edifici presenti sul territorio italiano è stato realizzato prima dell'entrata in vigore di una qualsiasi norma sull'efficienza energetica, ossia prima del 1976, anno in cui è stata emanata la Legge 373. Questi edifici, ed anche quelli costruiti in epoca successiva, si prestano bene ad un lavoro di retrofit energetico, che consentirebbe una riduzione significativa dei consumi e di un elevato potenziale di CO₂ evitata. Secondo la Roadmap to a Resource

Efficient Europe edifici con prestazioni migliori potrebbero influenzare di circa il 40% il consumo finale di energia e del 35% delle emissioni di CO₂ [12].

Per poter ottimizzare l'involucro nel giusto modo sono necessari delle norme univoche per tutto il settore delle costruzioni, in modo che venga creato uno standard minimo a cui gli edifici devono aspirare. In Italia gli elementi degli edifici devono seguire dei requisiti minimi di trasmittanza che garantiscono un abbassamento dei consumi grazie alla riduzione delle perdite di calore. Per ottenere i valori minimi di trasmittanza è opportuno utilizzare il giusto spessore di isolamento termico e moderni sistemi di finestre. Questa soluzione permetterà di eliminare i ponti termici e diminuire le dispersioni termiche.

L'utilizzo di apparecchi elettrici ad alta efficienza permetterà di risparmiare notevoli quantità di elettricità, equivalente a circa tre-quarti del consumo attuale di energia elettrica [7].

La sostituzione degli impianti e del carburante utilizzato per il soddisfacimento della domanda di energia può determinare una riduzione delle emissioni. A livello di quartiere è importante analizzare l'interazione che gli edifici hanno con queste infrastrutture e perciò le possibili soluzioni verranno valutate nella parte riguardante il sistema energetico.

2.1.2. Sistema energetico

La considerazione di una scala più vasta rispetto al singolo edificio, permette di integrare nel processo di trasformazione diverse soluzioni che riguardano i sistemi energetici. Infatti come già accennato, il raggiungimento delle minori emissioni nei quartieri passa anche attraverso la decarbonizzazione di questo settore.

Cogenerazione

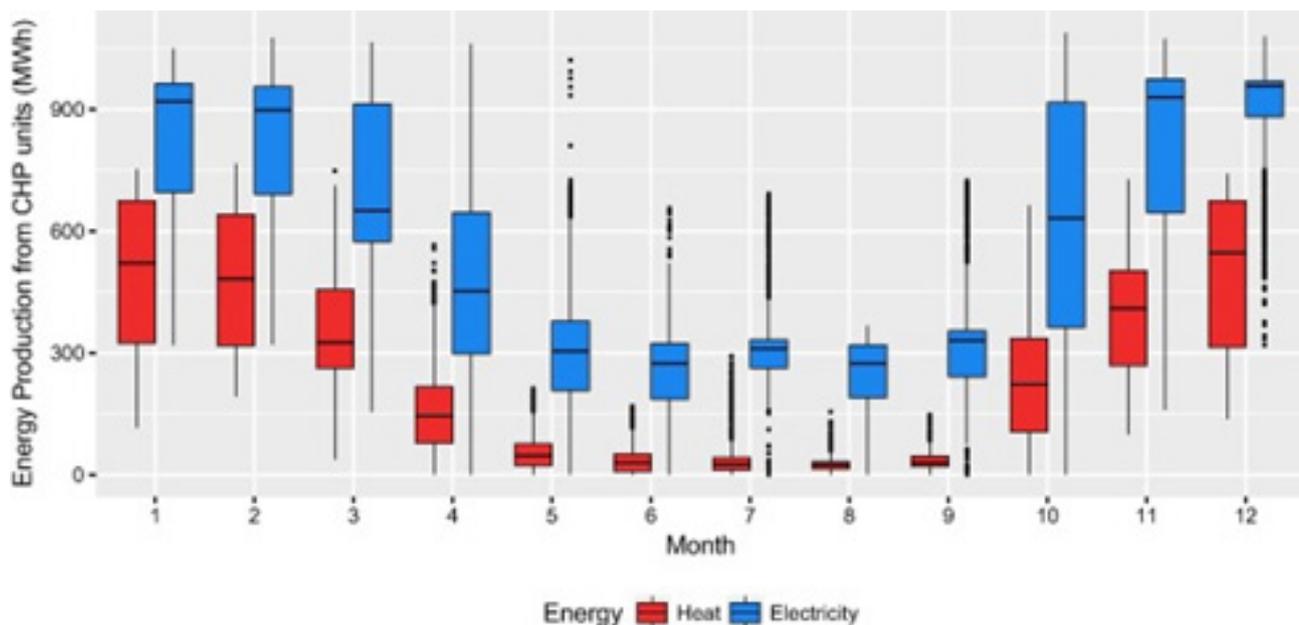
Il parlamento europeo ha riconosciuto la cogenerazione (CHP) come una tecnologia in grado di aumentare l'efficienza energetica per la produzione di energia. Esso utilizza in maniera più efficiente l'energia primaria, e riduce le emissioni di CO₂, promuovendo così il risparmio energetico e i benefici ambientali [13]. Tale impianto è in grado di produrre simultaneamente elettricità e calore. Negli impianti tradizionali queste due energie sono realizzate separatamente, la prima attraverso le centrali termoelettriche, la seconda attraverso l'utilizzo di caldaie negli edifici. Negli impianti CHP il calore di scarto, che viene rilasciato in seguito alla generazione di elettricità, al posto di essere dissipato nell'ambiente viene utilizzato per la produzione di energia termica. La richiesta di carburante è di solito maggiore rispetto ai sistemi classici, ma a parità di energia utile prodotta risultano più efficienti in quanto massimizzano lo sfruttamento delle risorse immesse, con importanti risvolti sotto il profilo economico ed ambientale. Solitamente è la domanda di calore che regola la produzione, in questo modo è possibile operare con alti rendimenti.

La cogenerazione viene ottimizzata quando è associata alle reti di teleriscaldamento, che trasferiscono il calore prodotto agli edifici connessi. Sono necessarie caldaie di integrazione e

sistemi di accumulo per garantire il servizio anche in caso di guasti o di periodi in cui c'è una richiesta elevata di energia.

Noussan et al. [14] hanno analizzato l'uso di un impianto di cogenerazione durante l'anno, figura 5. La produzione di calore in inverno mostra una chiara divisione tra giorno e notte figura 6, mentre per l'elettricità questa non sussiste.

Figura 5. Produzione di energia da impianto di cogenerazione



Fonte: Noussan et al, «Combined vs separate heat and power production - Primary energy comparison in high renewable share contexts,» Applied Energy, vol. 213, pp. 1-10, 2018.

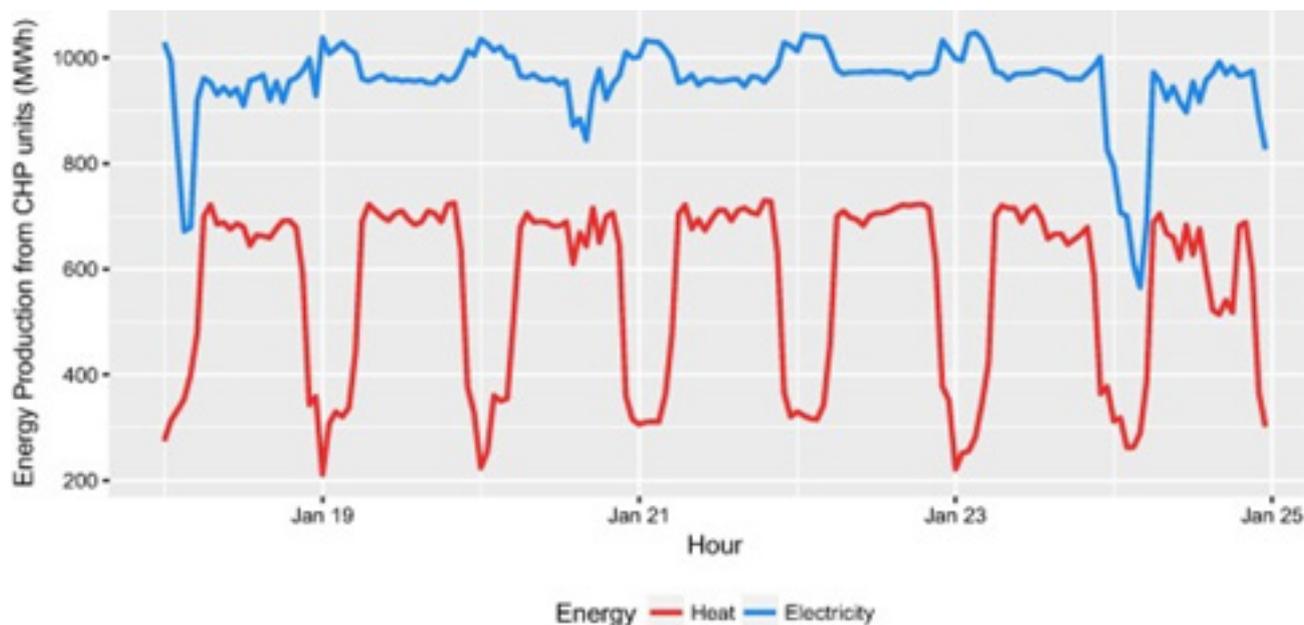
Considerando queste variazioni giornaliere, hanno riscontrato che l'utilizzo di sistemi di accumulo di calore diventa vantaggioso per aumentare l'efficienza del CHP di notte (i serbatoi d'acqua sono caricati di notte per essere utilizzati durante le richieste di picco del mattino).

Durante la stagione calda si potrebbe prendere in considerazione lo spegnimento dell'impianto nelle ore notturne, poiché i consumi sono basati generalmente sull'elettricità e quindi per il loro soddisfacimento possono essere utilizzati sistemi più economici, ad esempio la rete locale, che risulta meno costosa in date ore.

In estate la produzione separata di energia diventa più redditizia poiché c'è una bassa richiesta di calore da parte degli utenti. Una possibile soluzione per trarre il maggior profitto consisterebbe nella chiusura estiva della rete di teleriscaldamento. La produzione di calore, necessaria per la produzione di acqua calda sanitaria, potrebbe essere prodotta da generatori distribuiti, come pompe di calore o pannelli solari, che diminuirebbero la domanda di energia primaria.

Un impianto CHP può anche essere alimentato da fonti rinnovabili quali biocarburanti liquidi, biogas e biomasse da legno.

Figura 6 Produzione di energia da impianto CHP, profilo invernale



Fonte: Noussan et al, «Combined vs separate heat and power production - Primary energy comparison in high renewable share contexts,» Applied Energy, vol. 213, pp. 1-10, 2018.

Un ulteriore sviluppo del sistema di cogenerazione è la trigenerazione che include anche la produzione di energia frigorifera, la quale potrebbe essere utilizzata durante il periodo estivo per il condizionamento degli ambienti.

Teleriscaldamento

Le reti di teleriscaldamento sono riconosciute dalla Commissione Europea come un importante strumento che permette di conseguire efficacemente gli obiettivi sul clima. Questo sistema è in grado di soddisfare le richieste locali di riscaldamento, di un quartiere o una città, attraverso l'utilizzo di una rete di distribuzione del calore tramite delle tubazioni in cui passa il fluido termovettore, che solitamente è acqua calda o acqua surriscaldata, per poi ritornare alla sorgente attraverso delle tubazioni di ritorno.

La produzione del calore può avvenire in centrali alimentati da fonti energetiche di vario tipo. Diventa fondamentale che tale sistema si scosti dall'utilizzo di combustibili fossili, per proseguire l'obiettivo della decarbonizzazione. Esso rappresenterebbe così una tecnologia tra le più efficaci per la riduzione delle emissioni di CO₂ e degli ossidi di azoto [15]. Infatti questo tipo di impianto è in grado di integrare l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili (FER) nel settore del riscaldamento e del raffrescamento, consentendo la produzione di energia termica in modo sostenibile ed efficiente [16]. Il calore che scalda il fluido termovettore viene fornito, solitamente, da impianti di cogenerazione (CHP), Waste-to-Energy (WtE) o da processi industriali.

Negli ultimi decenni si sta diffondendo l'utilizzo di sistemi energetici diversi per la produzione di calore, come pozzi geotermici, pompe di calore, collettori solari e biomassa che vanno a

sostituire l'uso di combustibili fossili.

Per sfruttare al meglio questo sistema si devono seguire alcune indicazioni. Esso diventa vantaggioso nelle aree urbane ad alta densità, dove le richieste di energia termica è concentrata e quindi i costi di distribuzione sono bassi. In questo modo il sistema di tubazioni riesce a servire tante abitazioni in un'area ristretta, minimizzando i costi di investimento. Altro fattore fondamentale per utilizzare al meglio questa risorsa è il mix di destinazione d'uso, per far sì che la domanda di energia sia differenziata e quindi bilanciata nell'arco della giornata e delle stagioni [17].

Attualmente l'obiettivo dei sistemi di teleriscaldamento è di operare attraverso un impianto che permetta il recupero del calore, che altrimenti sarebbe disperso, e l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili per la sua produzione. Queste due soluzioni permetteranno l'ottenimento di benefici sotto l'aspetto economico ed ambientale. Infatti, l'utilizzo di un sistema di teleriscaldamento con grandi impianti di combustione, che vanno a sostituire molteplici piccole caldaie locali, porta a una maggiore qualità dell'aria, mentre il riciclaggio del calore contribuisce a ridurre le emissioni di CO₂ [18]. Questo impianto è anche più semplice, efficiente e meno costoso rispetto all'integrazione dell'impianto termico in ogni edificio [19].

Le reti di teleriscaldamento unite ad impianti di cogenerazioni, sono viste come le principali modalità per raggiungere un consumo più elevato di energie rinnovabili, perché possono essere alimentate a gas da biomasse o da energia residua dall'incenerimento dei rifiuti, riducendo così la dipendenza da una singola fonte energetica.

Fonti energetiche rinnovabili

L'utilizzo di una determinata fonte rinnovabile varia da luogo a luogo, ma è importante che esse vengano sfruttate, in quanto il loro utilizzo è in grado di apportare molteplici benefici. Tuttavia sono necessarie delle politiche che le supportino. La creazione di impianti alimentati tramite fonti energetiche rinnovabili (FER) sono generalmente molto costosi, anche rispetto alle fonti energetiche di origine fossile. L'elevato costo d'investimento iniziale è infatti un importante deterrente per una buona fetta della popolazione, che ostacola l'installazione.

La Direttiva Europea 2009/28/CE sulle rinnovabili e il relativo decreto legislativo di recepimento a livello nazionale, il D.Lgs. 28/2011, promuovono l'utilizzo delle tecnologie rinnovabili termiche, le quali sono riconosciute come uno strumento per migliorare la sostenibilità finanziaria e ambientale per la fornitura di energia su scala urbana. Il loro utilizzo consente di proseguire gli obiettivi previsti dal protocollo di Kyoto per la riduzione delle emissioni dei gas climalteranti.

Questa tipologia di fonti può essere anche integrata agli impianti visti precedentemente, ad esempio i sistemi di teleriscaldamento di quarta generazione (4GHD), che distribuiscono calore a basse temperature e che perciò esso può essere prodotto anche attraverso le FER.

L'Italia importa la maggior parte dei combustibili fossili dall'esterno e una possibile soluzione per ridurre questa quota consisterebbe nell'utilizzo di risorse naturali disponibili localmente.

Convertire il sistema energetico verso un utilizzo maggiore di FER richiederà tempi molto lunghi a causa della forte pressione che rivestono i combustibili fossili. Il costo del petrolio infatti sarà

un fattore decisivo sulle scelte energetiche.

Biomassa

La biomassa è considerata una fonte energetica rinnovabile. Il tempo del suo sfruttamento è paragonabile a quello di rigenerazione, ma è comunque una risorsa limitata e preziosa. La produzione di CO₂ risulta azzerata poiché quella che generano attraverso la combustione è la stessa che viene assorbita durante la crescita di nuove biomasse, perciò l'immissione netta di CO₂ è nulla. Il suo utilizzo dovrebbe essere circoscritto alle zone poste in prossimità della risorsa poiché devono essere sommati i costi ambientali legati al suo trasporto. Non sono da dimenticare gli altri aspetti sfavorevoli legati al suo utilizzo, come la deforestazione .

Sono presenti anche degli aspetti favorevoli oltre al già citato beneficio sull'ambiente. Il suo costo è infatti inferiore rispetto a quello dei combustibili fossili e questa risorsa è più equamente distribuita sulla terra rispetto a questi, come ad esempio il gas naturale, con conseguenze positive per l'approvvigionamento e la sicurezza energetica.

La maggior parte dei paesi europei ha politiche per favorire l'uso di combustibili da biomassa, tramite dei sussidi o premi sull'energia. [20]

Esistono diverse tipologie di biomasse:

- Legno e paglia: questa tipologia viene utilizzata per la produzione di calore;
- Rifiuti organici: utilizzata per la produzione di biogas;
- Colture: utilizzata per la produzione di biocarburanti;

I sistemi CHP che utilizzano la biomassa, stanno diventando sempre più popolari, come impianti alimentati da biogas o gas prodotto da rifiuti solidi urbani (RSU), utilizzo di pellet, cippato ecc. Il biogas, biodiesel e l'etanolo possono essere utilizzati anche per il settore dei trasporti, mentre nel settore del teleriscaldamento la biomassa utilizzata è prevalentemente quella legnosa, come trucioli di legno, segatura, pellet e bricchette di legno.

In Svezia la biomassa riveste un ruolo importante come risorsa energetica e la maggior parte proviene dai boschi, mentre quella proveniente da terreni agricoli ha un ruolo secondario. Questo ha permesso la riduzione dell'uso dei combustibili fossili e le biomasse hanno rappresentato il 46% dell'energia nel sistema di teleriscaldamento, il 23% invece è dato da RSU. La sostituzione dei combustibili fossili nel sistema DH ha comportato una riduzione di circa il 90% negli ultimi quarant'anni delle emissioni di CO₂. [21]

Per quanto riguarda il caso della regione Piemonte, essa presenta un notevole patrimonio boschivo e grande presenza di allevamenti animali, che potrebbero contribuire in modo significativo alla produzione di energia.

Energia solare

L'energia solare consente la produzione di energia termica ed elettrica, la prima attraverso i

collettori solari, la seconda attraverso i sistemi fotovoltaici.

I collettori solari possono essere utilizzati come fonte integrativa di un sistema di teleriscaldamento, per contribuire a fornire una parte della richiesta termica. I vantaggi creati consistono in un costo di produzione stabile ed indipendente dal mercato dell'energia.

Dalla combinazione del teleriscaldamento con i collettori solari è nato il Solar District Heating (SDH) che si compone di un campo di collettori su larga scala situato in un'unica posizione che fornisce calore alla rete di teleriscaldamento o anche solo ai singoli edifici.

La produzione del calore dovrebbe essere basata sulle priorità, dando precedenza a quello generato dall'energia solare, ed in seguito a quella del sistema CHP, per poi passare alle caldaie. Anche nell'utilizzo di SDH è bene prevedere lo stoccaggio del calore in un serbatoio di accumulo, qualora ci sia un eccesso di produzione.

Tale tecnologia è maturata soprattutto in alcuni Paesi, come la Danimarca. Rama et al. [22] analizzano un caso studio nel comune di Hyvinkää, in Finlandia per determinare se sia più conveniente l'installazione di un campo solare o l'installazione dei pannelli sulle singole case. In conclusione è emerso che i sistemi centralizzati, rappresentano un'opzione migliore, in quanto producono da tre a cinque volte la potenza termica dei sistemi distribuiti a parità di investimento. I risultati mostrano come la creazione del calore dall'energia solare generi risparmi sui costi, rispetto al solo utilizzo di cogenerazione e caldaia, dovuto alla riduzione del consumo di carburante.

Un caso italiano, dove è stato realizzato il primo impianto solare termico integrato in una rete di teleriscaldamento con un impianto di cogenerazione esistente, interessa il comune di Varese. L'impianto occupa una superficie di 1000 m², con 73 collettori di circa 14 m² ciascuno installati con un'inclinazione di 35° sul piano orizzontale, posti a terra e sul tetto di un magazzino. Esso produce 450 MWh/anno, con anche l'impiego di due serbatoi di accumulo di acqua calda, consentendo la copertura del fabbisogno di ACS di 150 appartamenti ed evitando l'emissione di 108 tonnellate di CO₂ [23]. Il tempo di ritorno dell'investimento, grazie anche agli incentivi di cui ha potuto beneficiare il progetto è stato di 9 anni, con un costo d'investimento di 400.000 €. A livello urbano i grandi impianti solari e fotovoltaici possono essere installati sulle coperture degli edifici del quartiere.

I sistemi fotovoltaici oltre a coprire i consumi elettrici degli edifici potranno essere utilizzati, se integrati all'interno del quartiere, per coprire i consumi dovuti alla crescente presenza dei veicoli elettrici. Secondo l'IEA questi mezzi causeranno un aumento del 10% di energia elettrica entro il 2050.

I pannelli fotovoltaici possono essere integrati negli edifici in diversi modi, sulle coperture sia piane che inclinate o anche sulle facciate. Questa è una delle tecnologie rinnovabili più convenienti dal punto di vista economico e i suoi costi si sono ridotti notevolmente rispetto al passato ed è migliorata anche la sua efficienza. Il problema principale legato a questa tecnologia è la capacità di produrre energia solamente durante il giorno e in determinate condizioni climatiche.

2.1.3. Acqua

L'acqua, bene comune, è una risorsa limitata ed indispensabile per la vita dell'uomo e per l'ambiente. Durante il periodo industriale il suo sfruttamento e l'assenza di misure di controllo, ha causato importanti impatti sul sistema idrico. L'acqua dolce costituisce solo il 2% delle risorse idriche totali e si stima che entro il 2030 la sua domanda possa superare del 40% l'effettiva disponibilità [24].

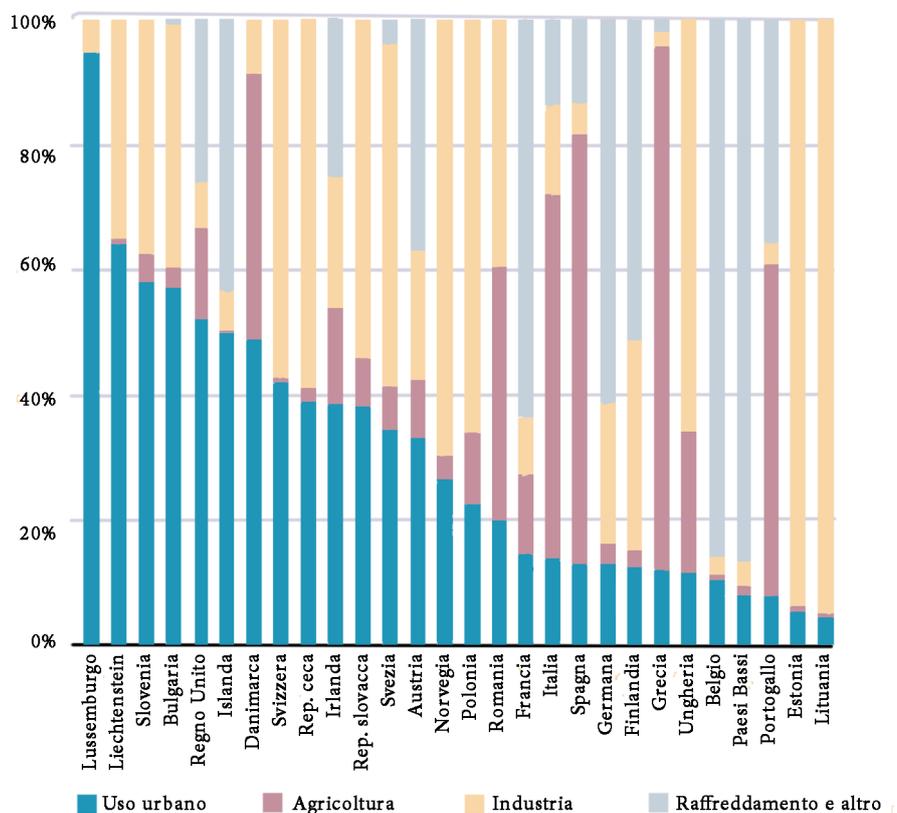
Ad oggi questo settore è diventato un punto chiave per il raggiungimento di uno sviluppo sostenibile, che può essere raggiunto attraverso la riduzione degli sprechi.

In Europa sono nate politiche per contrastare il suo eccessivo uso in tutti i settori, per garantire una migliore qualità delle risorse. Gli obiettivi introdotti dall'Unione Europea riguardano [25]:

- Migliorare efficienza dell'acqua negli edifici;
- Aumentare il risparmio di acqua;
- Migliorare i comportamenti degli utenti attraverso un uso responsabile della risorsa;
- Aumentare il riuso di acqua dove è rilevante;
- Favorire il risparmio energetico riducendo l'acqua utilizzata.

Il settore che presenta il maggior consumo di acqua varia da Stato a Stato, a seconda della sua economia e sviluppo. In Italia l'utilizzo di acqua nell'ambito domestico corrisponde a circa il 15% dello sfruttamento totale, come si evince dalla figura 7.

Figura 7: [26] Utilizzo dell'acqua suddivisa per settore.

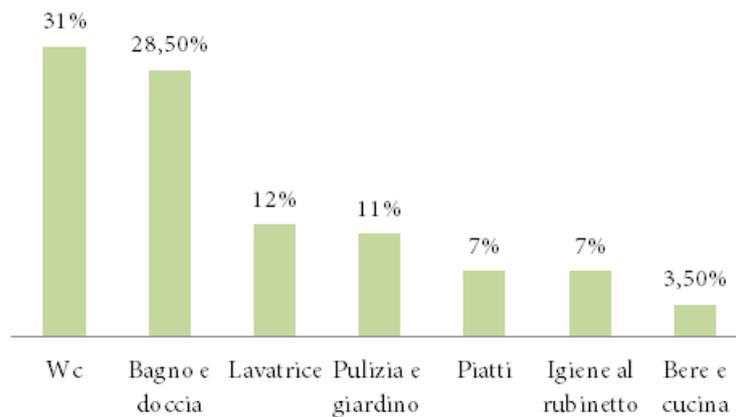


Fonte: AEA, 1999. Sustainable Water Use in Europe - Part 1: Sectoral Use of Water. Environmental

assessment report No 1. Agenzia europea dell'ambiente. Copenhagen

Per l'uso domestico è quindi importante che si operi attraverso delle soluzioni che permettono di risparmiare in termini quantitativi l'utilizzo di acqua, a cui spesso è associato anche un risparmio energetico [27]. La ripartizione dei consumi idrici che si registrano negli ambienti domestici sono mostrati nella figura 8.

Figura 8: Ripartizione consumi acqua potabile uso domestico



I sistemi che permettono la riduzione dell'utilizzo sono ad esempio gli apparecchi che diminuiscono il flusso dell'acqua dai rubinetti, sistemi per wc a doppio scarico, recupero dell'acqua piovana, riuso delle acque grigie [28]. In Italia il consumo pro capite è quello più elevato in Europa, questo lo si può ricondurre al fatto che il prezzo dell'acqua è molto basso in questo Stato. Un'ulteriore modalità, per aumentare comportamenti sostenibili, consiste nell'implementazione di politiche sui prezzi o tramite il monitoraggio dei consumi, che permetterà così di disincentivare gli sprechi. La riduzione dei consumi che si può ottenere dalle misure di efficienza energetica in questo settore riguarda sia l'acqua calda che fredda. Dalla diminuzione della prima si possono generare benefici anche in termini di riduzione della CO₂ dovuti alla minor richiesta di energia per la sua generazione.

In molti Stati si sono sviluppati dei sistemi per valutare le performance degli edifici per quanto riguarda le misure di efficienza energetica, con degli obiettivi riguardanti anche i consumi di acqua. Secondo la certificazione LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), per gli edifici esistenti una riduzione efficiente dell'utilizzo di acqua potabile per usi interni si assesta sul 20% rispetto allo stato base.

Di seguito ci si focalizzerà solamente sul sistema di recupero dell'acqua piovana, poiché è quello che richiede un maggior dettaglio di analisi.

L'acqua piovana può essere utilizzata per alcuni usi interni, in cui non è richiesta la potabilità poiché la minor qualità dell'acqua non ha ripercussioni sugli occupanti. Può quindi essere utilizzata per i wc e lavatrice, oppure per il lavaggio della macchina e per l'irrigazione. Oltre

a diminuire i consumi, l'utilizzo delle acque meteoriche permette di ridurre il sovraccarico della rete fognaria e i possibili allagamenti.

Un sistema di raccolta di acqua piovana prevede tre passaggi: la raccolta, la distribuzione e l'accumulo. La sua raccolta avviene principalmente tramite i tetti degli edifici, che sono una delle superfici più pulite, dove la raccolta avviene facilmente, oppure tramite superfici impermeabili e serbatoi posti direttamente all'esterno.

L'utilizzo dei sistemi di stoccaggio dell'acqua meteorica, associati al riutilizzo di acqua permetterà di ridurre del 5% la richiesta di acqua entro il 2050.

I benefici dell'utilizzo di acqua piovana sono strettamente collegati alle condizioni climatiche, infatti dipende dalla quantità di precipitazioni che si registrano nell'area. Essi non sono perciò adatti a tutti i climi, ma per ottenere un beneficio sarebbe opportuno installarli in località dove le precipitazioni sono superiori a 800 mm l'anno.

Il costo di un sistema di raccolta è molto elevato, ma se realizzato durante la fase di costruzione degli edifici può essere più contenuto, poiché non sono da apportare modifiche successive.

È necessario specificare che l'acqua piovana non riduce l'utilizzo complessivo di acqua nelle abitazioni, ma diminuisce la pressione sull'ecosistema dato dal minor utilizzo di acqua potabile, riducendo anche del 50% la domanda.

2.1.4. Illuminazione pubblica

L'illuminazione è responsabile di una parte delle alte emissioni di CO₂ di atmosfera che si registrano ai giorni nostri, ed inoltre produce spese eccessive per le amministrazioni pubbliche. L'efficienza energetica di questo settore diventa fondamentale non solo per la diminuzione dei costi a carico della collettività, ma anche dal punto di vista del rispetto dell'ambiente.

I costi necessari per garantire un'efficace illuminazione urbana, riguardano la manutenzione e i consumi elettrici, e le nuove sorgenti a LED (Light Emitting Diodes) rivestono un ruolo fondamentale per la loro riduzione e sono una possibile soluzione per i retrofit dei lampioni. L'utilizzo di lampade a LED presenta diversi vantaggi rispetto all'utilizzo di altre tipologie di lampade, come:

- La durata più lunga della vita media (60.000 ore),
- Manutenzione quasi assente,
- Consumi energetici ridotti,
- Minor problemi di smaltimento, poiché non contengono sostanze tossiche o nocive,
- Completamente smontabili e riciclabili

La sostituzione delle sorgenti di tipo tradizionale, ovvero le lampade al sodio ad alta pressione, con sorgenti a Led, consente di ottenere risparmi dal 50 al 80%.

L'impiego della tecnologia a LED ha portato dei risultati tangibili in molte città. Tramite il progetto Lumière - promosso dall'ENEA - si è avviato un processo di riqualificazione degli impianti di pubblica illuminazione e sono stati avviati dei progetti pilota. Uno dei comuni aderenti è quello di Roncade (TV), che ha visto un risparmio energetico e una riduzione delle emissioni di CO₂

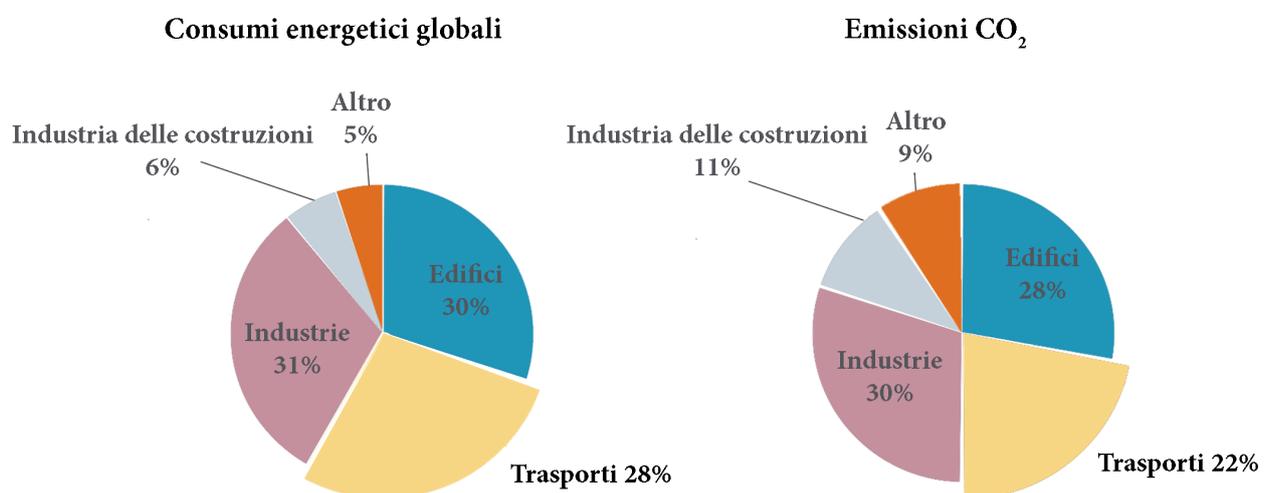
che supera il 50%.

Un ulteriore passo per ridurre i consumi in questo settore consisterebbe nell'installazione di sistemi smart, chiamati di telegestione, che permettono di gestire l'illuminazione secondo le necessità, che possono dipendere dalla tipologia di strada e dalla presenza di pedoni e traffico.

2.1.5. Mobilità

Il trasporto è una funzione vitale per l'economia moderna, ma è responsabile di una parte significativa delle emissioni di gas serra, figura 7, e se non si operano delle modifiche al concetto di mobilità, la situazione all'interno delle città diventerà insostenibile. Infatti con l'aumento dell'urbanizzazione aumenteranno anche gli spostamenti, e le città sono delle aree in cui sono già presenti diverse criticità legate a questo settore.

Figura 7: Consumi di energia ed emissioni CO₂ per settore, riferiti in particolare ai trasporti [7]



Fonte: IEA (International Energy Agency), World Energy Statistics and Balances, IEA/OECD, Parigi, 2017.

La mobilità deve diventare competitiva ed essere in grado di rispondere alle esigenze dei cittadini e dell'ambiente attraverso progetti sostenibili, tramite l'utilizzo di mezzi a basse emissioni. Attualmente questo settore risulta fortemente dipendente dai combustibili fossili, per lo più petrolio e in piccola parte gas naturale, biocombustibili ed elettricità e le sue emissioni di CO₂ rappresentano il 23% di quelle globali [30]. L'82% di queste emissioni è dovuto al trasporto su strada. In questo settore lo sviluppo del trasporto sostenibile sarebbe in grado di ridurre del 60% le emissioni [31].

Il settore dei trasporti presenta al tempo stesso benefici e impatti negativi, i primi dati da una maggiore accessibilità, economie di scala, risparmio di tempo, i secondi dati da inquinamento atmosferico ed acustico, incidenti, congestione ecc. In molte città si sono sviluppati progetti urbani sostenibili, per fare in modo che gli impatti positivi che essa crea siano superiori a quelli negativi. I problemi causati da questo settore sono maggiormente sentiti a livello urbano, poiché

in queste aree si registrano alte concentrazioni di abitanti a cui si associa un'elevata domanda di mobilità.

Per diminuire gli effetti negativi dei trasporti ci si può spostare lungo due direzioni: l'utilizzo di combustibili che sostituiscano quelli derivanti dal petrolio, per ridurre la dipendenza da questa fonte; e creare una spinta verso il minor utilizzo delle automobili per gli spostamenti individuali, privilegiando mezzi alternativi, che può verificarsi grazie ad un'attenta pianificazione territoriale. Le possibili azioni per promuovere la sostenibilità in questo settore coinvolgono sia il trasporto pubblico che privato.

Ad oggi poche città possono dire di avere una mobilità efficiente ed efficace, come ad esempio Amsterdam, Singapore e Stoccolma, dove il trasporto pubblico è molto efficiente, l'utilizzo della bici e le camminate sono incoraggiate e c'è una gestione dell'inquinamento e della congestione. Per raggiungere alti livelli di sostenibilità si dovrebbe porre una scala di priorità agli spostamenti, dove i principali sono quelli legati a una mobilità dolce, ossia a piedi e in bici, seguiti dall'utilizzo dei mezzi di trasporto pubblici, mezzi elettrici, spostamenti condivisi per concludere con l'utilizzo delle auto private.

La differenza che si registra tra i Paesi del nord Europa ed il resto, è dovuta alla presenza di una migliore rete di trasporto sostenibile e gli spostamenti a piedi e in bici raggiungono una quota modale superiore al 40% .

La trasformazione di un quartiere, attraverso l'aumento della sua percorribilità, consente agli abitanti di muoversi di più all'interno di esso e di sentirsi sicuri nel farlo, restituendo alle strade interne al quartiere la funzione di luogo di incontro e socialità, ma senza escludere alcuna componente del traffico.

Gli spostamenti in città devono essere progettati considerando una progettazione integrata di tutti i mezzi di trasporto: mezzi pubblici, spostamenti a piedi e in bicicletta ed auto private. Devono essere previsti dei nodi di scambio intermodale, dove gli utenti hanno la possibilità di cambiare modalità di spostamento.

In seguito saranno delineate delle misure che possono essere applicate a questo settore, con una focalizzazione anche sul quartiere.

Combustibili puliti

Il trasporto pubblico è in grado di ridurre la congestione nelle città con ulteriori benefici per l'ambiente, soprattutto quando i veicoli sono alimentati con combustibili puliti. La Commissione Europea incentiva l'utilizzo di questi mezzi per gli spostamenti.

Il panorama europeo dei trasporti pubblici, per quanto riguarda gli autobus, è composto per la metà da mezzi Euro III o più vecchi. Attualmente è in corso una fase di transizione verso tecnologie "green and clean" come biocarburanti, rifiuti organici, gas naturale, celle a combustione e autobus elettrici. Il Ministero per lo Sviluppo Economico ha firmato un decreto per la promozione dell'uso del biometano nel settore dei trasporti, che permetterà di avvicinare l'Italia alla transizione verso fonti di carburante rinnovabile. Il Decreto prevede un supporto

economico nella produzione di biometano per gli impianti adibiti al riciclo di rifiuti organici. Gli autobus elettrici sono una valida alternativa ai mezzi di trasporto pubblico che sono alimentati tramite fonti fossili. Infatti il loro utilizzo comporta dei notevoli risultati sotto il profilo ambientale quando questi sono caricati tramite elettricità derivata da fonti di energia rinnovabili.

Anche il trasporto privato deve diventare a basso impatto, ad esempio attraverso l'utilizzo di veicoli elettrici o ibridi; l'aumento degli spostamenti a "impatto zero", ossia quello pedonale e ciclabile; la condivisione dei mezzi di trasporto con i sistemi di car sharing e car pooling, che permette di ridurre il traffico stradale.

L'Unione Europea ha identificato le auto elettriche e le sue infrastrutture come una delle priorità del settore dei trasporti e sta valutando delle iniziative per promuovere il loro utilizzo [32]. Infatti i veicoli alimentati ad energia elettrica hanno un importante impatto positivo sull'ambiente e sul clima, riducendo l'inquinamento dell'aria e le emissioni di gas serra.

L'elettricità prodotta per le ricariche deve essere il più possibile generata da fonti rinnovabili. La direttiva 2009/28 del Parlamento Europeo ha stabilito che il settore dei trasporti deve raggiungere una quota del 10% dei consumi finali lordi di energia da FER entro il 2020. L'utilizzo di FER per la produzione di energia elettrica per le auto private può essere realizzato tramite un sistema di pannelli fotovoltaici posto sulle coperture delle abitazioni, se queste sono orientate in modo ottimale. Un problema che potrebbe sussistere con l'aumento delle auto elettriche, sono le ore di picco per la ricarica dei veicoli. Una possibile soluzione consiste nell'installazione di sistemi di stoccaggio dell'elettricità.

I veicoli elettrici (EV) sono aumentati negli ultimi anni grazie ai minori costi delle batterie, all'emanazione di sussidi per l'acquisto e per l'aumento dell'interesse dei consumatori. In Norvegia i veicoli elettrici rappresentano più di un quarto della vendita dei nuovi veicoli, mentre nel resto dell'Europa la vendita si ferma all'1% dei veicoli totali.

L'aumento delle auto elettriche nei Paesi può essere regolamentato da restrizioni sulle emissioni di CO₂ e maggiori incentivi per gli acquirenti, ma anche l'aumento del numero di stazioni di ricarica elettriche può incrementare l'acquisto di questa tipologia di autovettura [33]. Anche il minor costo delle auto elettriche, rispetto agli anni passati, è un incentivo per la popolazione per valutare l'acquisto. Inoltre rispetto ad un'auto alimentata a benzina esse consumano meno.

Riduzione utilizzo auto privata

La congestione causata dal traffico è un problema che si rileva in molte città europee, che risultano fortemente auto centriche, e l'utilizzo di automobili meno inquinanti per il trasporto privato non è una soluzione efficace per migliorare questo problema. L'Italia è uno degli Stati dell'Unione Europea che possiede più automobili pro capite (707 auto per 1000 abitanti e supera anche la media europea che nel 2016, pari a 587 auto).

L'utilizzo sempre crescente delle auto private ha causato diversi danni ambientali dovuti alle emissioni. Inoltre l'eccessivo utilizzo porta impatti negativi anche sotto l'aspetto sociale, poiché diminuisce la qualità della vita a causa del rumore, degli odori, dell'inquinamento e degli incidenti. La presenza massiccia delle auto priva i cittadini di spazi dove muoversi a piedi o in bicicletta

rendendo anche meno stimolante gli spostamenti tramite una mobilità lenta. Le altre forme di mobilità possono essere un valido aiuto per ridurre i viaggi effettuati con le automobili, ma devono essere viste come più sicure e desiderabili rispetto all'auto. Ad esempio alcune misure per invogliare i cittadini ad utilizzare altre modalità di trasporto includono l'installazione di nuove rastrelliere per le biciclette, la creazione di piste ciclabili e la precedenza alle bici e ai mezzi pubblici.

Le politiche di restrizione possono agevolare la riduzione delle auto. Nelle città molto spesso questo viene attuato attraverso la riduzione dei parcheggi e l'attribuzione di un costo [34]. Infatti nelle aree urbane i parcheggi presenti sono per lo più a pagamento, mentre nelle zone di interconnessione con altri mezzi, sono sempre presenti parcheggi gratuiti per incentivare le persone a lasciare la macchina in queste aree e successivamente spostarsi in città con i mezzi pubblici o sistemi di bike sharing e car sharing. Queste ultime modalità di trasporto appena citate sono soltanto due dei diversi modi alternativi presenti normalmente nelle città. Un'altra politica è la creazione di zone a traffico limitato, dove è permesso il passaggio solo in determinate fasce orarie o soltanto ad alcuni mezzi.

Come per ogni settore, anche per i trasporti i costi possono essere un incentivo al cambiamento dei comportamenti. La tassazione del carburante, anche se risulta una politica di difficile implementazione, sarebbe in grado di diminuire il volume del traffico.

Le politiche inoltre possono puntare al cambiamento comportamentale attraverso la focalizzazione su pratiche salutari.

Un'ulteriore procedura per rendere ancora più efficiente la diminuzione di traffico e di tutte le sue conseguenze, è quella di pensare a una mobilità "smart" attraverso l'infomobilità tramite sistemi di controllo e gestione telematica del traffico, con un'informazione in tempo reale, cicli semaforici per migliorare la fluidità del traffico e le prestazioni del trasporto pubblico, ed infine per fornire informazioni in merito ai posti disponibili nei parcheggi.

Strade interne del quartiere

In molte città europee è stata avviata una modifica del limite di velocità in alcune aree della rete stradale urbana, modificandolo da 50 km/h a 30km/h e questa iniziativa è stata promossa anche dall'Organizzazione mondiale della sanità. Questa scelta è nata dalla volontà di creare un ambiente urbano più vivibile che permetta una convivenza tra auto bici e pedoni rendendo la strada più sicura per le persone e disincentivando il passaggio in auto lungo queste vie. Le automobili dovrebbero quindi spostarsi verso la rete stradale principale.

L'introduzione di questo limite permette di ridurre gli incidenti e anche la loro gravità, dato che avvengono a una velocità minore, e di ridurre anche il rumore del traffico, rendendo le strade più silenziose. Ad una riduzione del traffico di circa il 40% corrisponde una diminuzione del rumore pari a 3 dbA [35].

Sotto il profilo dell'inquinamento ambientale, le auto che viaggiano a una velocità più ridotta inquinano meno perché il traffico scorre più fluido e ci sono meno code e start-stop. Esistono però dati contrastanti in merito a questo beneficio. Secondo Kawan et al. [36] la quantità di

emissioni che derivano dall'attività del trasporto pubblico, quando calcolata dalla distanza percorsa dei veicoli, produce una stima minore rispetto a quella reale, perché in questo caso non vengono considerate le emissioni prodotte dai veicoli fermi nel traffico. Inoltre, la creazione di zone a ridotta velocità per i veicoli, porta sì vantaggi dal punto di vista sociale, ma la guida a bassa velocità comporta maggiori emissioni di CO₂ ed inquinanti atmosferici.

La creazione del limite di velocità può comunque disincentivare all'utilizzo dell'auto nelle aree centrali, incoraggiando lo spostamento a piedi e promuovendo l'utilizzo della bicicletta senza la necessità di dover realizzare piste ciclabili lungo le vie. Per la creazione di strade a velocità limitata è necessario modificare la loro architettura ed inoltre educare i cittadini attraverso campagne di sensibilizzazione. La modifica stradale prevede l'utilizzo di rallentatori per le auto e nuova segnaletica orizzontale e verticale. L'utilizzo della sola segnaletica ridurrebbe i costi di installazione, diventando una valida alternativa per lavori su larga scala, ma potrebbe risultare inefficace in termini di risultati. Un'altra soluzione sono le chicanes, ma la cui progettazione risulta molto più complessa.

Una valutazione reale dei benefici, portati dalla riduzione della velocità, è stata svolta ad Edimburgo, capitale della Scozia. In questa città, si è registrato una riduzione della velocità di 1.9 mph (30 km/h) con aumento dei percorsi a piedi e in bicicletta del 7% e del 5% e riduzione dei viaggi in automobile del 3%. La modifica ha reso le strade più attraenti per i residenti, dove infatti hanno percepito più sicurezza anche per i bambini, con un aumento dal 63% al 65% di bambini che si reca a scuola a piedi, dal 4% al 12% in bicicletta, e un aumento dal 31% al 66% di bambini che gioca al di fuori dell'abitazione senza la supervisione di un adulto [37].

A Graz l'introduzione del limite di 30km/h è avvenuto nel 1992 e si è subito potuto riscontrare una diminuzione degli incidenti e una qualità di vita migliore grazie alla riduzione dei rumori e delle emissioni dannose.

L'80 % delle strade di Graz (802km su 996) sono predisposte come zone 30. La fase pilota, svolta tra il settembre 1992 e l'agosto del 1994 ha riscontrato una diminuzione del 24% del numero degli incidenti, e una riduzione del 24% di NO_x nella zona del test, e del 2% nella città.

2.1.6. Rifiuti

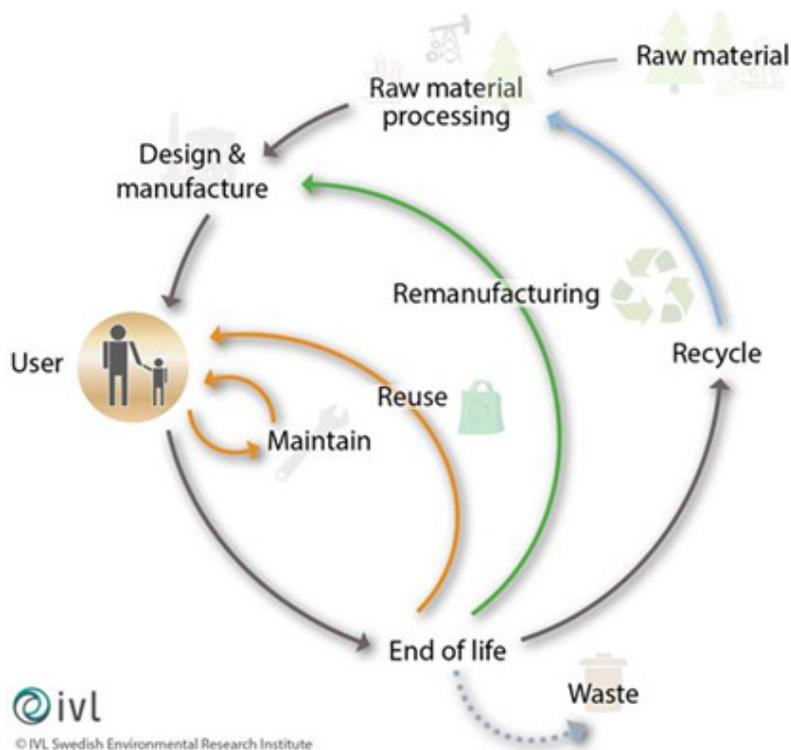
Lo sviluppo della sostenibilità nel settore dei rifiuti deve essere visto sotto l'ottica di un'economia più circolare, ovvero dove i prodotti sono valorizzati come risorse.

L'obiettivo di questo sistema riguarda la minor produzione di rifiuti e la riduzione del loro collocamento in discarica, aumentando al tempo stesso il riciclaggio che può avvenire partendo dalla raccolta differenziata. Tale metodo di raccolta permette di separare i rifiuti per tipologia, avvalendosi del trattamento più adatto per il loro smaltimento. Le discariche tuttora ricoprono un ruolo predominante all'interno di questo settore, ma la loro capacità volumetrica è sempre più scarsa ed è quindi necessario adottare nuove soluzioni. Una possibile soluzione potrebbe essere il loro incenerimento. Tuttavia questa alternativa non è molto favorevole per l'ambiente, poiché si producono sostanze inquinanti. Esiste un'ulteriore soluzione che è in grado di rendere questo

sistema più efficiente, ossia il recupero di energia che si genera da tale azione.. L'incenerimento può essere sfruttato per la generazione di calore ed integrato nelle rate di teleriscaldamento. Dai rifiuti è inoltre possibile generare biogas attraverso la digestione anaerobica, che può essere utilizzato come carburante per i mezzi pubblici o per produrre elettricità.

La gestione dei rifiuti dovrebbe seguire una gerarchia che stabilisce il trattamento prioritario da eseguire secondo questa scala: prevenzione, riutilizzo, riciclaggio, recupero di energia e smaltimento [38]. Attraverso questo sistema è possibile riuscire a raggiungere il modello "Zero Waste", in cui si cerca di massimizzare la vita dei rifiuti. Questo permette di vederli come una risorsa, aumentando i risultati che possono generarsi sul piano ambientale.

Figura 8: Schema Zero Waste



Fonte: IVL Swedish Environmental Resrach Institute

Nell'Unione europea si registra un tasso di riciclaggio medio del 40%, ma esistono comuni dove questo indice è molto più elevato e altri dove raggiunge quote molto basse. La Commissione europea ha quindi emanato un decreto, il D.lgs 152/06, il quale stabilisce una quota minima di raccolta differenziata che i Comuni devono raggiungere, pari al 65% entro il 2012. Ad oggi tale target non è stato raggiunto da tutte le parti ed inoltre hanno riscontrato che era un obiettivo troppo utopistico per quegli anni, perciò il limite è stato spostato al 2020. La raccolta differenziata e la riduzione della produzione di rifiuti sono state identificate dalla CE come delle priorità nella strategia di sviluppo sostenibile.

Per rendere possibile l'attuazione di un programma di riduzione, è necessario la partecipazione di diversi attori, come cittadini, istituzioni e imprese, per coinvolgere quindi sia chi produce che chi gestisce i rifiuti. Il comportamento dei cittadini, risulta come sempre fondamentale, dato il loro tempo impiegato nella fase di smistamento, che molto spesso può essere percepita come un'attività noiosa. Questa attività può essere incentivata attraverso delle tariffazioni che agevolano chi produce meno rifiuti, come la tariffa puntuale Pay As You Throw (PAYT) o anche detta Pay by Use. Essa si compone di una quota a tasso fisso che ripartisce i costi non imputabili alla raccolta come ad esempio l'igiene urbana, e una quota variabile a seconda della quantità di rifiuto conferito. Questa tariffazione responsabilizza maggiormente il cittadino e le imprese.

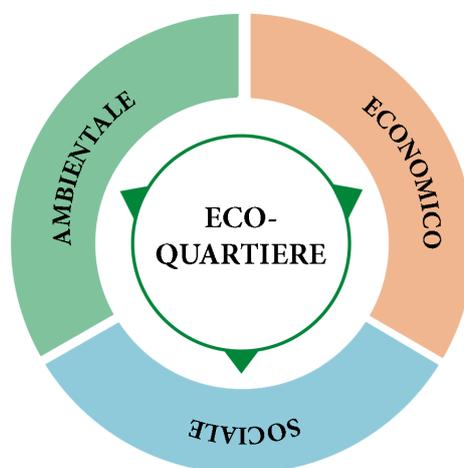
In Italia sono presenti alcuni comuni che hanno aderito al progetto Waste End, come il comune di Chivasso (TO) dove è inoltre presente un impianto di cogenerazione alimentato da biogas prodotto dalle discariche. Il modello Waste End è inoltre in grado di creare diversi benefici come la creazione di valore per i rifiuti, aumento dell'occupazione grazie allo sviluppo di nuove attività imprenditoriali, ed ovviamente benefici per l'ambiente dati dalla gestione più efficiente [39].

2.2. Aree urbane sostenibili – Gli Ecoquartieri

“An urban experiment aiming to assess the city’s ability to develop districts within sustainability criteria and in line with the recommendations of the Brundtland Report (1987) and the broadcast at the United Nations Rio Conference (1992)” [40]

Con il concetto di ecoquartiere si intende un luogo costruito incentrato sulla sostenibilità ambientale, sociale ed economica, per la creazione di ambienti più vivibili, salutarie e dove è possibile raggiungere un'alta qualità della vita [41], figura 9.

Figura 9: Aspetti sostenibili considerati all'interno di un eco-quartiere.



Essi mirano perciò ad obiettivi di sviluppo sostenibile sotto più aspetti, e trovano un collegamento diretto anche con il tema del cambiamento climatico.

I quartieri idonei alla trasformazione possono essere di diverse tipologie: nuovi, esistenti, storici, dismessi, aree degradate o predisposte inizialmente per altre funzioni rispetto a quella residenziale. Gli eco-quartieri puntano a creare nuovi stili di vita, attraverso la modifica dei comportamenti degli abitanti e la riqualificazione energetica degli elementi che vi sono all'interno, sempre studiando il contesto in cui ci si trova e non focalizzandosi solamente sugli edifici. La trasformazione di quartieri secondo un' impronta "eco" si rende capace di ri-valorizzare quei luoghi che hanno perso la loro attrattiva o che stanno subendo una qualche crisi, attraverso 4 punti [42]:

- Raggiungere un'alta qualità della vita al suo interno;
- Ridurre il consumo di suolo e il gli spostamenti individuali con le auto private;
- Riduzione dell'impatto delle attività umane sull'ambiente;
- Rilanciare l'economia.

I primi eco-quartieri sono nati intorno agli anni '90 nel nord Europa. Ad oggi il loro numero è cresciuto esponenzialmente in tutto il mondo ed anche in Italia si sta sviluppando questo nuovo modo di pensare e vivere la città. In Italia è nato il progetto "Ecoquartieri in Italia: un patto per la rigenerazione urbana" ed opera principalmente in quartieri residenziali e in aree dismesse, ovvero in parti di città contraddistinte da una propria storia, ma che necessitano di essere rigenerate per attribuire nuovi valori [43].

La denominazione di eco-quartiere può essere associata anche ai temi post carbon district e zero energy district. Queste zone sono caratterizzate soprattutto da bassi consumi energetici e politiche green che riguardano principalmente edifici e mobilità, i due settori con il più elevato impatto ambientale. Dal punto di vista degli aspetti economici e sociali essi sono capaci di incrementare l'economia, grazie agli interventi necessari per la trasformazione che implicano la creazione di nuovi posti di lavoro, e rilanciano economicamente tutta l'area coinvolta.

La loro trasformazione risulta comunque molto costosa, ma i vantaggi che possono essere percepiti in seguito possono anche superare i costi. È necessario che perciò venga fatta un'analisi che non si basi esclusivamente sul costo d'investimento, ma deve comprendere anche i potenziali benefici generati.

Dopo una spiegazione generale di cosa si intende per eco-quartiere sono quindi analizzati alcuni casi studio, cercando di compararli tra loro ed esaminando come questi siano stati pensati, quali misure sono state adottate e per quali obiettivi sono stati realizzati.

In questa parte di capitolo si tralasceranno le diverse metodologie per la valutazione della sostenibilità degli eco-quartieri, ma ci si concentrerà esclusivamente sulle diverse strategie adottate nelle diverse città per la creazione di aree ecologiche e sostenibili.

2.2.1. Casi studio

Vauban – Friburgo

Vauban è un quartiere residenziale di 41 ettari, nato in seguito allo smantellamento di un ex caserma, con l'obiettivo di creare una zona dove fossero presenti luoghi residenziali e lavorativi [44]. La sua trasformazione è avvenuta dal 1997 al 2008 ed ha implicato diverse questioni energetiche. Gli edifici che sono stati realizzati dovevano essere realizzati in modo che il fabbisogno energetico non superasse i 65 kWh/m² anno, ed inoltre sono state realizzate anche alcune case passive i cui consumi dovevano rientrare nello standard Passivhaus, ossia di 15 kWh/m². L'efficienza energetica è stata anche raggiunta attraverso l'installazione di un sistema di teleriscaldamento operante tramite una centrale di cogenerazione a gas naturale (80%) e biomassa (20%). Gli edifici inoltre sono provvisti di pannelli solari e fotovoltaici.

Per la mobilità sono state previste diverse azioni, come la riduzione dell'utilizzo dell'auto (180 auto per 1000 abitanti) e di conseguenza l'aumentando dell'utilizzo di mezzi pubblici e sistemi di car sharing. Inoltre si è limitata la velocità di percorrenza di alcune strade, inserendo il limite di 30 km/h e si sono creati percorsi destinati alla mobilità pedonale e ciclabile.

In seguito alle attuazione di queste misure si è raggiunta una diminuzione del 60% delle emissioni di CO² rispetto ad altri insediamenti tipo degli anni '90 [45]. Il costo totale d'investimento è stato 20.000.000 € [46].

Eco-Viikki - Helsinki

Eco-Viikki è un quartiere di 23 ettari nato in un zona agricola poco distante dalla città di Helsinki. La sua trasformazione è avvenuta tra il 1998 e il 2002. Gli edifici sono stati realizzati ottimizzando l'esposizione a sud, per sfruttare la luce solare, fondamentale in questi paesi dal clima rigido [47]. Il trasporto pubblico, come in tutti gli eco-quartieri, riveste un ruolo importante, mentre sono ridotti gli spostamenti con l'auto privata, favoriti anche dal basso numero di parcheggi privati presenti. I consumi di energia sono in parte coperti da fonte energetiche rinnovabili ed è presente un sistema di riscaldamento geotermico. Anche l'acqua e i rifiuti rivestono un ruolo centrale nel raggiungimento della sostenibilità, infatti sono fissati dei limiti di consumo di acqua potabile e di produzione di rifiuti 160 kg/ab/anno [48]. In seguito alle attuazione di queste misure si è raggiunta una diminuzione del 20% delle emissioni di CO₂ rispetto ai quartieri tipo finlandesi.

BedZed – Londra

Beddington Zero Energy Development nasce nel 2002, in un ex area industriale nel sobborgo di Londra e copre un'area di soli 3,5 ettari. Il quartiere non utilizza energia prodotta da combustibili fossili. Come per il caso di Eco-Viikki anche in questo progetto è stata posta molta attenzione all'orientamento degli edifici in modo da sfruttare la luce naturale ma senza ricevere eccessivo calore passivo, con una riduzione del 90% del fabbisogno di riscaldamento. Tramite

la costruzione efficiente degli edifici i consumi energetici si sono ridotti del 60% rispetto ad una tipica abitazione londinese [49]. La produzione di energia da fonti energetiche rinnovabili supera i consumi, rendendo perciò il quartiere carbon neutral. Sono presenti pannelli solari e un sistema di teleriscaldamento alimentato da una centrale di cogenerazione. La mobilità è incentrata sulla riduzione dell'utilizzo dell'automobile tramite la presenza di mezzi pubblici, servizi di car-sharing e con una politica che promuove gli spostamenti tramite una mobilità lenta. Inoltre sono presenti misure che riguardano la riduzione dei consumi di acqua potabile all'interno delle abitazioni e nei giardini tramite la presenza di un sistema di raccolta di acqua piovana e aeratori installati nei rubinetti. La raccolta dei rifiuti avviene tramite un sistema di raccolta differenziata.

Bo01 - Malmo

Il quartiere nasce in un ex area portuale vicino a Malmo (Svezia) su un'area di 30 ettari e progettato tra il 1998 e il 2001. Il quartiere Bo01 sarà solo una parte della riqualificazione dell'area, infatti per il 2030 la trasformazione occuperà un'area di 160 ettari [50]. Le abitazioni hanno un consumo di 105 kWh/m² anno ed i residenti possono controllare i loro consumi. Il fabbisogno di riscaldamento è per la maggior parte coperto da pompe di calore e da collettori solari posti sugli edifici. Questi ultimi sono collegati direttamente al sistema di teleriscaldamento. L'energia elettrica invece viene prodotta da un sistema eolico che sfrutta le correnti d'aria presenti nella zona. Nel quartiere si sviluppa più che altro una mobilità ciclo-pedonale, con zone con limite di 30 km/h e con una riduzione di parcheggi per le auto private. Gli edifici sono predisposti per la raccolta di acqua piovana.

3

Valutazione delle misure di efficienza energetica

3. Valutazione delle misure di efficienza energetica

Per incentivare lo sviluppo delle misure di efficienza energetica e della sostenibilità è importante che all'interno delle analisi vengano considerati anche i benefici e gli impatti che esse possono produrre. Infatti le misure politiche possono portare benefici sotto l'aspetto sociale, economico e ambientale, che attribuiscono un valore aggiunto alle strategie. Tuttavia il sistema urbano, già complesso per i diversi e numerosi sistemi che comprende al suo interno, è composto anche da diverse figure che lo governano e che lo vivono in prima persona. Ognuna di esse ha diversi interessi per quanto riguarda la modifica del quartiere e della città, perciò sono necessarie delle metodologie che possano in qualche modo essere oggettive per la scelta della migliore alternativa di trasformazione.

Esistono numerosi strumenti di valutazione che forniscono una più ampia informazione sulle alternative da comparare, tra i quali:

Life Cycle Cost (LCC)

È un metodo che determina tutti i costi associati agli investimenti durante un determinato arco di tempo. Non considera solo il costo d'investimento iniziale, ma anche i costi necessari durante il periodo di calcolo considerato, come costi operativi, di manutenzione, sostituzione.

Life Cycle Assessment (LCA)

Utilizzata per valutare i progetti di sviluppo sostenibile, valuta gli impatti ambientali associati ad un prodotto o servizio nel suo ciclo di vita [1].

Analisi costo-efficacia

È uno strumento chiave per la valutazione delle misure di efficienza energetica, e verifica il rapporto tra i costi sostenuti e le prestazioni di riduzione del consumo di energia, che è quantificata ma non monetizzata. Possono essere considerati al suo interno anche impatti ambientali e non energetici [2].

Analisi Costi-Benefici (ACB)

Valuta la convenienza e la redditività di un investimento considerando i costi e benefici generati da esso.

Analisi Multi-Criteri (AMC)

Valuta la misure di efficienza energetica attraverso differenti criteri, aiutando il processo decisionale poiché permette di considerare all'interno di un'unica analisi diversi aspetti.

Composite Modelling Assessment (COSIMA)

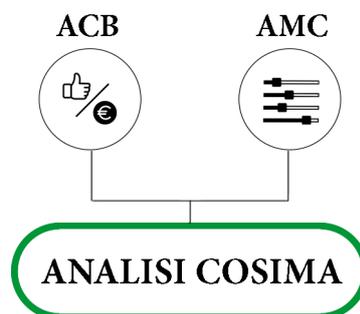
Unisce le analisi Costi-Benefici e Multi-Criteri per la valutazione di un progetto.

Per questo lavoro di tesi si è deciso di utilizzare come strumento di valutazione del caso studio

l'analisi COSIMA. Di seguito verrà quindi spiegata dettagliatamente.

3.1. Analisi COSIMA

Per analizzare gli scenari di trasformazione dei vari settori si utilizzerà l'analisi COSIMA, una metodologia che combina l'analisi Costi Benefici (ACB) e l'analisi Multi-Criteri (AMC) come supporto alle decisioni. Essa quindi si compone di due analisi che possono essere definite opposte, ma complementari tra di loro. L'ACB infatti è un'analisi socio-economica che considera dei valori monetari, mentre l'AMC utilizza diversi criteri di valutazione extra-monetari.



I risultati in questa metodologia sono espressi attraverso il valore totale per le diverse alternative di progetto.

$$VT (A_k) = ABC(A_k) + AMC(A_k)$$

Dove:

VT: Valore totale

A_k: Alternative di progetto

ABC (A_k): Analisi Costi-Benefici dell'alternativa k

AMC (A_k): Analisi Multi-Criteri dell'alternativa k

Da un'analisi della letteratura esistente sull'utilizzo di questa metodologia, si sono riscontrati solo casi in cui è applicata per la valutazione di progetti per il settore dei trasporti [3] [4]. Risulta perciò un'innovazione il suo utilizzo per la valutazione di progetti sostenibili, che riguardano una moltitudine di settori coinvolti. Infatti sembra che essa sia una metodologia ottimale per la valutazione di tali progetti, perché considera i costi e i benefici in termini monetari, che sono di fondamentale interesse per chi investe (ad esempio Comuni o enti), ma considera anche ulteriori aspetti non monetari che possono influenzare la decisione.

La scelta dell'alternativa migliore, quindi è effettuata attraverso una conoscenza che si può dire completa.

La convenienza di un'alternativa rispetto ad un'altra è espressa attraverso il tasso totale di

rendimento (TRR), che corrisponde al rapporto tra il valore totale dell'alternativa (VT) e il costo d'investimento, calcolato come segue:

$$TTR(A_k) = \frac{TV(A_k)}{C_k} = \frac{1}{C_k} \cdot \left(\sum_{i=1}^I V_i(X_{ik}) + \alpha \cdot \left[\sum_{j=1}^J w_j \cdot VF_j(Y_{jk}) \right] \right)$$

Dove:

A_k : Alternativa di progetto k

C_k : Costo totale dell'alternativa k

$V_i(X_{ik})$: Valore in unità monetarie per ACB i, per l'alternativa k

α : Indicatore che esprime l'equilibrio tra le parti ACB e ACM

w_j : Peso che riflette l'importanza del criterio ACM j

$VF_j(Y_{jk})$: Punteggio funzione-valore per il criterio MCDA j, per l'alternativa k

È necessario definire meglio il termine α . Esso esprime l'influenza che l'AMC avrà sul tasso totale di rendimento, ma non avrà ripercussioni sull'ACB, come si può vedere dalla formula. Valori diversi di α , avranno quindi un'influenza diversa sul TTR.

In poche parole α rappresenta il peso che l'AMC ha rispetto alla ACB, espresso in percentuale.

$$\alpha = \alpha \text{ (AMC\%)}$$

Il peso dell'analisi Multi-Criteri sarà sempre inferiore al 100%, perché il risultato dell'analisi Costi-Benefici influenzerà in ogni caso il TTR, il che significa che il risultato dell'ACB non potrà mai essere omesso dalla valutazione.

Normalmente il valore di α deve essere attribuito precedentemente alla visualizzazione dei risultati, per non influenzare l'analisi. Esso di solito corrisponde ad un valore intorno al 20-30%. Poiché si opera tramite degli indicatori di natura differente, ossia monetari per l'ACB e vari per l'AMC, occorre che quelli di quest'ultima analisi, siano espressi attraverso dei valori paragonabili con quelli monetari, ma che mantengono una valenza non economica. Per far questo COSIMA utilizza un parametro per la calibrazione chiamato Up_j , che ha la stessa funzione di un prezzo ombra e viene utilizzato per ciascuno dei criteri valutati.

In conclusione prima di affrontare separatamente le due analisi di cui si compone, si può dire che nella metodologia COSIMA all'analisi Costi-Benefici viene attribuito un valore aggiunto grazie all'inclusione dell'analisi Multi-Criteri.

Un esempio pratico della differenza tra l'uso di COSIMA e della singola ACB, lo si può riscontrare qualora ci sia una situazione in cui in un'alternativa di progetto i costi d'investimento siano maggiori o uguali ai benefici. Infatti in questo caso l'opzione sarebbe considerata non redditizia da un punto di vista economico, ma se a questa vengono aggiunti anche gli impatti non monetari, è possibile che il valore totale (VT) sia maggiore dei costi, risultando così un'opzione favorevole. Da quanto detto è ancora più chiaro il suo utilizzo per la valutazione di progetti sostenibili, in

quanto il raggiungimento della sostenibilità dovrebbe andare al di là della mera considerazione del ritorno economico dell'investimento e considerare maggiormente anche aspetti che non possono essere monetizzati.

Nella parte seguente verranno trattate nel dettaglio l'analisi Costi-Benefici e quella Multi-Criteri, seguita da una valutazione dei vantaggi e svantaggi di ogni metodo.

3.1.1. Analisi Costi-Benefici

L'analisi Costi-Benefici viene utilizzata per due principali ragioni, ossia:

- Per determinare se un progetto è redditizio e quindi rappresenta un buon investimento;
- Per comparare tra loro diverse alternative di progetto e scegliere quella che risulta migliore.

Essa permette perciò di valutare un progetto dal punto di vista economico, monetizzando anche i benefici che possono essere conseguiti in un determinato intervento. I benefici sono valutati rispetto ad uno scenario alternativo, che può essere ad esempio lo stato attuale. L'obiettivo di questa analisi è la massimizzazione del beneficio netto.

L'analisi si compone delle seguenti fasi [5]:



Possono essere realizzate due tipologie di analisi, finanziaria e economica. La differenza tra le due è che nella prima il calcolo è effettuato dal punto di vista dell'investitore, mentre nella seconda si riferisce a tutta la collettività che beneficia di un progetto. Gli obiettivi di queste analisi sono quindi differenti, poiché nella prima si cerca di massimizzare il profitto del proprietario,

mentre nella seconda si cerca di massimizzare il benessere sociale di tutta la collettività. Per il caso studio verrà quindi utilizzata l'analisi economica, in quanto il progetto riguarda gli abitanti di un intero quartiere.

Qui di seguito verranno analizzati i vari step dell'analisi. Per prima cosa è necessario definire le opzioni da considerare. Infatti, per effettuare l'analisi costi e benefici, questi ultimi devono essere confrontati rispetto ad un'alternativa che può ad esempio essere lo stato di fatto. Inoltre è da definire la lunghezza dell'orizzonte temporale, che rappresenta gli anni in cui i costi e i benefici devono essere analizzati. Esso varia a seconda della natura dell'investimento e può ad esempio essere considerato pari alla vita utile del bene.

La seconda fase consiste nell'individuazione dei dati necessari per l'identificazione dei costi e benefici in modo che essi possano essere quantificati. Ogni costo e ogni beneficio deve essere espresso in termini monetari, che per l'analisi economica corrispondono ai prezzi ombra. Questi ultimi vengono utilizzati per determinare il costo opportunità di un bene che per alcuni, ad esempio, corrisponde al prezzo di mercato decurtato dalle quote di imposte. Inoltre il prezzo di mercato non esprime al suo interno, a differenza del prezzo ombra, le esternalità positive o negative che un bene ha sulla collettività. Le esternalità solitamente sono valutate in termini monetari secondo il concetto della disponibilità a pagare/accettare per determinate azioni.

La disponibilità a pagare è la somma massima che un individuo sarebbe disposto a pagare. Viene valutata tramite indagini campionarie, mercati simulati attraverso la valutazione contingente, oppure viene dedotta dai comportamenti degli individui come il metodo dei costi di viaggio o il metodo dei prezzi edonici.

La disponibilità ad accettare invece è la somma massima che un individuo sarebbe disposto ad accettare per evitare un danno. Questa tipologia di valutazione viene utilizzata quando non esistono mercati di riferimento, come per i bene intangibili.

I costi che possono essere riferiti ad un progetto sono i seguenti:

- Costo d'investimento;
- Costi operativi;
- Costi di manutenzione;
- Costi di sostituzione;
- Valore residuo.

Possono essere presenti anche ulteriori costi, in funzione della tipologia di progetto che deve essere valutato. I benefici verranno indagati con maggior dettaglio nella parte successiva.

Una volta conclusa la definizione dei diversi impatti, essi devono essere distribuiti lungo l'arco temporale considerato e per ogni alternativa.

Essendo presenti dei valori monetari riferiti a diversi anni, per compararli è necessario che siano portati tutti allo stesso periodo. Per fare questo i benefici e i costi devono essere attualizzati e portati tutti all'anno 0, ossia l'anno da cui parte l'investimento. Questa operazione viene

eseguita attraverso il tasso di sconto, anche detto tasso di interesse che considera il valore dei soldi nel tempo e il rischio/incertezza di anticipare futuri flussi di cassa [6].

La formula dell'attualizzazione è la seguente:

$$S_n = \frac{1}{(1+r)^n}$$

Dove:

r = tasso di sconto

n= numeri di anni che distanziano dall'anno zero

I tassi di sconto utilizzati nei progetti di sviluppo sostenibile, sono normalmente compresi tra lo 0 -10%, ma quelli più plausibili sono compresi tra 3-5% [7]

La successiva fase consiste nel calcolo dei flussi di cassa e nella visualizzazione del risultato. Per determinare l'alternativa più efficiente dal punto di vista economico, esistono diversi indicatori:

Rapporto Benefici-Costi(BCR)

Come già specificato dal nome questo indicatore esprime il rapporto tra benefici e costi. La convenienza economica è ottenuta quando si hanno valori maggiori a 1 e l'alternativa più desiderabile risulta essere quella con il più alto valore.

$$RBC = \frac{\sum_{i=n}^n \frac{B_i}{(1+r)^n}}{\sum_{i=n}^n \frac{C_i}{(1+r)^n}}$$

Dove:

Bi: Benefici del progetto

Ci: Costi del progetto

Se i valori ottenuti sono inferiori a 1, significa che i costi superano i benefici, in termini economici.

Valore Attuale Netto (VAN)

Valuta in termini assoluti i benefici, decurtandoli dei costi che si verificano durante l'arco di tempo considerato. Un progetto risulta conveniente quando il VAN è positivo e l'alternativa più desiderabile risulta essere quella con il valore più alto.

$$VAN = \sum_{i=n}^n \frac{B_i}{(1+r^i)^n} - \sum_{i=n}^n \frac{C_i}{(1+r^i)^n} = \sum_{i=n}^n \frac{B_i - C_i}{(1+r^i)^n}$$

Tasso Interno di Rendimento (TIR)

Rappresenta il valore del tasso di sconto (r), per il quale il VAN è pari a 0. È un indicatore che misura la redditività e i progetti con il più alto TIR sono quelli da preferire o il tasso di sconto deve essere almeno inferiore al TIR.

Infine è bene condurre un'analisi di sensitività che permette di cambiare alcuni valori inseriti nell'analisi, poiché formulati secondo alcune ipotesi che possono variare. È bene che quindi venga condotta tale analisi per verificare la robustezza di una determinata ACB o per valutare cosa succedere se vengono apportate modifiche ai valori. Se il VAN non varia allora si può dire che l'ACB è robusta. Un valore che può essere testato è di solito il tasso di sconto, per cui ci si può ad esempio chiedere: come e quanto si modifica il BCR se il tasso di sconto aumenta o diminuisce?

L'analisi di sensitività può essere applicata anche a più variabili, di cui non si ha la certezza che esso siano corrette, ma si è a conoscenza entro quale range debbano essere comprese. Vengono perciò segnati tre valori, definiti come il caso di riferimento che è quello che è stato utilizzato nell'analisi, uno che rispecchia una situazione preferibile e l'ultimo quello che rappresenta la situazione meno favorevole. In seguito vengono modificati uno alla volta tutti i valori e i risultati vengono mostrati graficamente.

3.1.2. Analisi Multi-Criteri

L'analisi multicriterio (AMC) permette la valutazione nel processo decisionale di un numero di alternative finite, migliorando la qualità della decisione, poiché prende in considerazione diversi impatti, che vengono valutati da diversi attori con punti di vista o obiettivi diversi. Questa analisi acquista una valenza soggettiva per il fatto che gli indicatori vengono decretati dai decisori.

Secondo [8] gli obiettivi dell'analisi multi criteri sono:

- Aiutare i responsabili delle decisioni ad essere coerenti con gli obiettivi prefissati;
- Utilizzare dati rappresentativi e una valutazione trasparente delle procedure;
- Aiutare la realizzazione di processi decisionali.

Questa tipologia di analisi può essere applicata alla scelta di alternative di efficienza energetica, considerando criteri che possono essere rilevanti per il raggiungimento della sostenibilità [9]. Essi infatti considerano contemporaneamente diversi aspetti economici, ambientali, sociali e tecnologici che sono tutti di fondamentale importanza quando si sviluppa un progetto urbano. Le categorie principali di AMC sono la Multi Objective Decision Making (MODM), in cui è possibile inserire un numero indefinito di alternative e la Multi Attribute Decision Making (MADM) che valuta un numero finito di alternative secondo un insieme di principi e criteri qualitativi e/o quantitativi [10].

Gli approcci che possono essere utilizzati sono diversi e possono essere: modelli di misurazione

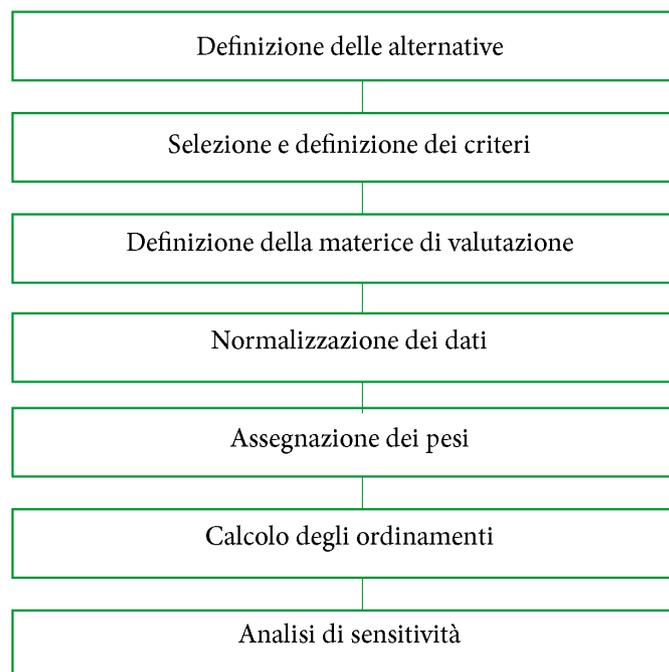
del valore, modelli di riferimento e modelli di superamento. I metodi di valutazione per un processo decisionale sono molteplici, ad esempio il valore Multi-attributo (MAVT), la teoria dell'utilità (MAUT), l'Analytich Hierarcht Process (AHP), ELECTRE, PROMETHEE, TOPSIS e molti altri [9] [11]. Ognuno di essi ha differenti punti di forza. Il metodo più utilizzato è l'AHP che si basa su confronti a coppie dei diversi criteri

La metodologia scelta per questa tesi è stata la Multi-Attribute Value Theory (MAVT) che verrà vista nel dettaglio in seguito.

Un aspetto fondamentale dell'analisi multicriterio è la scomposizione dell'obiettivo generale in criteri e sotto-criteri, ottenendo così una serie completa di aspetti anche complementari che definiscono l'obiettivo primario. Questi criteri sono analizzati separatamente e definiti secondo diverse unità di misura (criteri quantitativi) o da diverse scale di misurazione (criteri qualitativi). Le diverse alternative di progetto sono in seguito valutate rispetto ad ogni criterio analizzato.

3.1.2.1. Multi-Attribute Value Theory

L'utilizzo di questa metodologia è composta dalle seguenti fasi:



L'utilizzo della metodologia Multi-Attribute Value Theory (MAVT) presenta diversi vantaggi rispetto ad altri approcci. Questa analisi valuta un numero di alternative finite e discrete e può essere utilizzata per la valutazione di politiche sostenibili poiché considera simultaneamente indicatori riferiti a diverse dimensioni di sostenibilità. Essa infatti è indicata quando sono presenti obiettivi in conflitto tra di loro e tale analisi supporta l'obiettivo, rendendo possibile aggiungere alternative senza la necessità di riorientare le preferenze, consentendo una facile modellazione

e aggiornamento delle informazioni [11].

Nella MAVT è richiesto ai vari stakeholder di attribuire delle preferenze alle alternative. Ciascun decisore considera prima tutti criteri contemporaneamente ed una volta scelto quello più importante lo confronta con gli altri criteri [12]. Inoltre la MAVT è una tecnica compensatoria, ossia consente di compensare un criterio più debole con un altro che presenta una buona performance [13]. Essa perciò aggrega le prestazioni dei diversi criteri, per formare una valutazione generale.

Qui di seguito verranno analizzati i vari step dell'analisi. Le prime tre fasi caratterizzano la maggior parte delle analisi multi-criterio, mentre le successive possono variare a seconda del metodo di valutazione scelto.

Le prime fasi consistono nell'identificazione di quanto si vuole analizzare, delle alternative di progetto proposte e dei criteri che possono essere valutati al suo interno. Essi devono essere in seguito distribuiti in una matrice, in cui sono incrociati criteri e alternative, che verrà successivamente compilata.

Definiti i criteri questi devono essere resi omogenei. Nell'analisi MAVT la normalizzazione avviene attraverso l'utilizzo di funzioni valore che si avvalgono di una scala di confronto comune. Infatti i criteri presenti nell'analisi possono essere costituiti da dati diversi. È perciò richiesta la loro normalizzazione per creare dei valori a-dimensionali confrontabili tra di loro, espressi nello stesso intervallo di valori, che solitamente va da 0 a 1. Per determinare la funzione valore è richiesto:

- Singole funzioni valore per ogni criterio;
- Pesi per ogni singolo criterio.

La funzione valore può essere determinata in due modi: con la funzione lineare a tratti o con le funzioni esponenziali. Nella prima si considera che ad ogni incremento di valore è associato un punteggio di preferenza, nella seconda si suppone che ad esempio il valore tra 1 e 2 è due volte più grande del valore tra 2 e 3.

I valori delle funzioni singole possono essere ricavati in due modi: o attraverso l'analisi di normative dove possono essere presenti dei valori di riferimento a cui è quindi possibile, in seguito, attribuire i punteggi, o in modo soggettivo e possono quindi variare a seconda di chi effettua l'analisi.

La fase successiva consiste nell'assegnazione dei pesi ai criteri, che possono essere attribuiti da diversi stakeholder coinvolti nell'analisi. Possono essere proposti dei questionari per indagare quale criterio risulta più importante dell'altro. Nella MAVT i pesi vengono attribuiti ordinando i criteri secondo l'importanza che un soggetto gli conferisce e si assume che la somma dei pesi sia uguale a 1. Questa parte dell'analisi risulta essere molto soggettiva ed è quindi importante che venga realizzata chiedendo pareri a più soggetti, con anche interessi ed obiettivi diversi. Conclusa l'assegnazione dei pesi, essi sono combinati con gli indicatori normalizzati per ogni alternativa. In seguito si confrontano le alternative tra di loro in base al valore globale ottenuto.

Il valore globale di un'alternativa è così definita:

$$v(a_i) = \sum_{j=1}^n w_j v_j(X_{ij})$$

Dove a_j sono le alternative, v_i i criteri considerati e w_i i pesi dati da ciascun decisore.

Le funzioni di valore devono essere specificate per ciascun criterio (v) e i pesi devono essere specificati per ogni funzione a valore singolo.

Il valore con il miglior risultato esprime l'alternativa più favorevole.

Il valore dei pesi può essere assegnato tramite dei pesi surrogati, in cui ai criteri viene assegnato un valore in base cardinale o secondo un ordinamento. Questo metodo facilita la scelta dei pesi, che in molti casi può risultare difficoltosa. I pesi surrogati rappresentano un'approssimazione dei pesi veri, ma potrebbero non riflettere realmente il pensiero del decisore.

Esistono diversi approcci in letteratura, come ad esempio RS (rank sum), RR (rank reciprocal) e (ROC) (rank order centroid) [14]. Per questa tesi è stato utilizzato il metodo ROC, sviluppato da Roberts e Goodwin (2002). La loro somma, qualsiasi sia il numero di criteri considerati deve essere uguale a 1, un esempio viene mostrato nella tabella 1.

Altre metodologie, come l'AHP e la tecnica SMART richiedono che sia il decisore ad attribuire i pesi secondo una scala di importanza.

Tabella 1: pesi surrogati con il metodo ROC

Posizione	n=2	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7	n=8
1	0,7500	0,6111	0,5208	0,4567	0,4083	0,3704	0,3397
2	0,2500	0,2778	0,2708	0,2567	0,2417	0,2276	0,2147
3		0,1111	0,1458	0,1567	0,1583	0,1561	0,1522
4			0,0625	0,0900	0,1028	0,01085	0,1106
5				0,0400	0,0611	0,0728	0,0793
6					0,0278	0,0442	0,0543
7						0,0204	0,0334
8							0,0204

Fonte: Roberts e Goodwin (2002)

Anche questa metodologia si presta all'analisi di sensitività per determinare la robustezza dei risultati, rispetto all'incertezza dell'assegnazione dei pesi, delle funzioni valore e dei punteggi.

3.1.3. Punti di forza e debolezza dell'ACB e AMC

L'analisi Costi-Benefici e quella Multi-Criterio hanno diverse capacità, ma anche diversi limiti. L'utilizzo di COSIMA, la quale racchiude entrambe le analisi, ha quindi l'abilità di sfruttare i punti di forza e diminuire quelli di debolezza dell'ACB e AMC

PUNTI DI FORZA	
<i>Analisi Costi-Benefici</i>	<i>Analisi Multi-Criteri</i>
Permette la valutazione in termini economici	Evidenzia le diverse componenti del problema
Permette di capire se un progetto è solido	Considera diverse preferenze
Risultato facilmente comunicabile	Miglioramento della qualità della decisione stessa
Indipendente dai giudizi	Trasparente e ripetibile
PUNTI DI DEBOLEZZA	
<i>Analisi Costi-Benefici</i>	<i>Analisi Multi-Criteri</i>
Problemi etici legati alla misurazione di costi e benefici	Complessa tecnicamente e in termini di tempo
Potenziati inesattezze nell'identificazione e quantificazione di costi e benefici	Confronto difficile tra i casi studio
Non considera tutti i benefici di un progetto	Semplifica la realtà
Richiesta di tanti dati	Le decisioni dipendono dalle informazioni disponibili, da come sono strutturate e dalle preferenze del decisore

Spiegando più nel dettaglio alcuni punti, l'ACB fornisce un risultato facilmente comunicabile poiché viene espresso in termini monetari e quindi più facilmente capibili da chiunque, e la solidità del progetto è determinata attraverso la semplice analisi dei costi e benefici. I punti di debolezza invece sono legati al fatto che non sempre sono presenti delle tecniche di misurazione dei benefici, e quindi alcuni di loro non possono essere inclusi nell'analisi. Inoltre ci possono essere problemi etici nella misurazione, soprattutto per quelli legati alla salute.

L'analisi Multi-Criteri poiché considera le opinioni di diversi interessati, è aperta a considerare al suo interno valori e opinioni divergenti. Essa può risultare complessa in quanto richiede la scelta dei soggetti delle parti interessate a cui può essere domandato di valutare i criteri presenti nell'analisi e questa fase può richiedere anche molto tempo.

3.2. Co-Benefici e criteri

In questa parte di capitolo verranno trattati i potenziali benefici e criteri che possono riguardare la trasformazione di un sistema urbano in un ambiente più sostenibile. Essi saranno quindi di due tipi: monetari e extra-monetari. I primi verranno utilizzati esclusivamente per la parte di analisi

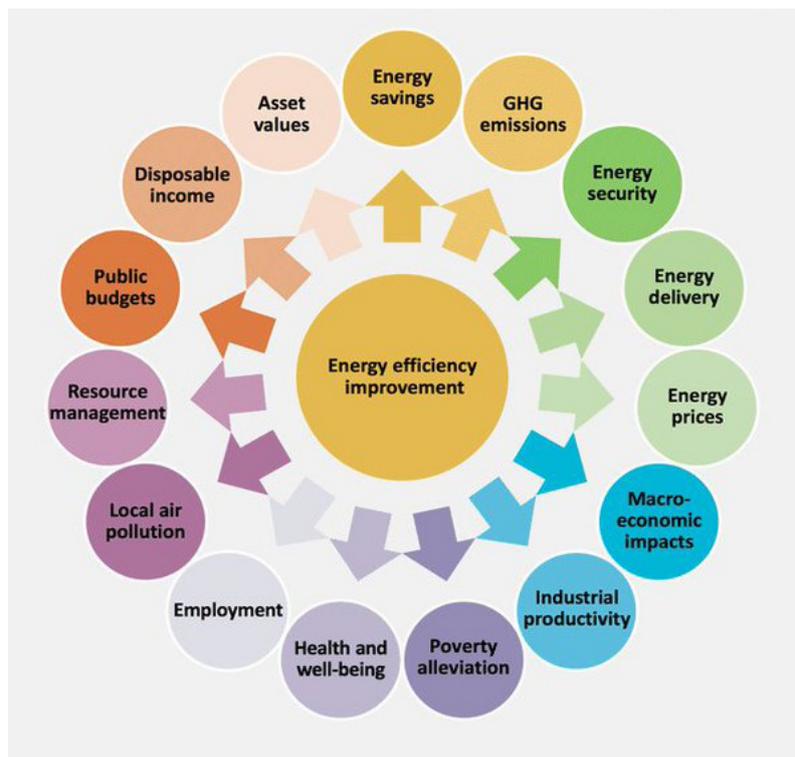
Costi-Benefici, mentre per l'analisi Multi-Criteri verranno utilizzati i secondi.

3.2.1. Co-Benefici

Le misure di trasformazione di efficienza energetica portano con sé dei benefici collaterali, chiamati anche Co-benefici o benefici multipli. Questo termine appare per la prima volta in letteratura nel 1990 e ha suscitato un grande interesse per l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) che ne ha ripreso il concetto nel 2001 [15].

L'IPCC li definisce come i "vantaggi che derivano dall'implementazione delle opzioni politiche che portano alla mitigazione dei gas ad effetto serra ed altri benefici" [16]. Tuttavia questi benefici non sono presenti solo nelle politiche atte a contrastare i cambiamenti climatici, ma anche in quelle in cui l'obiettivo è ad esempio la creazione di uno sviluppo sostenibile, lo sviluppo dell'economia e molte altre. Perciò i co-benefici possono essere attribuiti a tutti quei progetti che puntano a una certa forma di sostenibilità che sia ambientale, economica o sociale.

Figura 1: Co-benefici derivata dalle misure di efficienza energetica



Fonte: IEA, «Capturing the multiple benefits of energy efficiency,» 2014.

Nei progetti di sostenibilità a livello urbano i vantaggi che si possono generare riguardano i diversi settori coinvolti. L'inclusione dei benefici, in termini economici, nell'analisi costi e benefici ha permesso di eliminare alcune barriere che rallentano l'implementazione di soluzioni efficienti e sostenibili per la trasformazione energetica. Essi sono ormai riconosciuti a livello mondiale, da diverse organizzazioni, come uno strumento rilevante da incorporare nel processo decisionale, che permette di riconoscere il valore complessivo delle misure applicate [17]. Per la loro

monetizzazione è necessario definire dei parametri che attribuiscono un valore economico, ma spesso mancano metodologie che indichino come procedere e perciò non tutti i benefici potranno essere inclusi nella ACB. Quelli in cui manca un parametro di valutazione monetaria potranno essere inclusi nell'analisi Multi-Criteri se dotati di una scala per la loro valutazione. Esistono una moltitudine di Co-benefici e alcuni di questi sono mostrati nella figura 1.

In [18] i benefici sono associati alle misure di efficientamento energetico, in cui i due principali obiettivi sono: risparmio energetico e riduzione delle emissioni di CO₂.

I restanti Co-benefici sono stati suddivisi nei seguenti impatti:

Aumento sicurezza del sistema energetico

Sicurezza energetica	La riduzione della domanda di energia può portare ad un miglioramento del sistema energetico sotto forma di maggior disponibilità di combustibile, accessibilità geografica ed economica, ed accettabilità ambientale e sociale.
Fornitura di energia	Migliore servizio per i consumatori dato dalla riduzione dei costi operativi e mitigazione dei rischi.
Prezzi energetici	Riduzione dei prezzi energetici dovuti alla maggior competitività delle industrie a causa della diminuzione della domanda di energia.

Sviluppo economico

Sviluppo macroeconomico	Aumento del PIL e dell'occupazione.
Produttività industriale	Aumento della produzione, riduzione dell'utilizzo di risorse e dell'inquinamento dell'aria, costi operativi e di manutenzione più bassi. Tutti questi fattori possono contribuire ad aumentare la produttività e il valore dell'azienda.

Sviluppo sociale

Riduzione della povertà	Data la riduzione dei costi delle bollette, anche i cittadini meno abbienti potranno utilizzare migliori e meno costosi servizi energetici.
Salute e benessere	L'aumento della qualità dell'ambiente interno si ripercuote in termini positivi anche sulla salute degli occupanti. Questo, a livello urbano si ripercuote anche all'esterno delle abitazioni.
Occupazione	Gli investimenti nell'efficienza energetica possono generare nuovi posti di lavoro.

Sostenibilità ambientale

Inquinamento dell'aria locale	L'efficienza energetica è in grado di ridurre la concentrazione di inquinanti nell'aria e può portare benefici associati all'economica, all'ambiente e alla salute.
Gestione delle risorse	La riduzione della domanda energetica può ridurre la pressione sulle risorse naturali.

Maggiore prosperità

Budget pubblico	La riduzione delle spese energetiche si può tradurre in maggiori spese per altri servizi.
-----------------	---

Reddito disponibile	Aumento del reddito disponibile grazie alla diminuzione dei costi energetici.
Aumento valore immobiliare	Agli edifici che presentano maggiori performance energetiche sarà attribuito un valore immobiliare più alto.

A livello di sistema urbano i diversi benefici possono riguardare una moltitudine di aspetti e in letteratura si trovano diverse categorizzazioni.

In [19] sono suddivisi secondo una classificazione gerarchica. Il primo livello riguarda la scomposizione in benefici collegati alla mitigazione del cambiamento climatico e non, la seconda li suddivide in benefici ambientali, sociali ed economici. Da questo studio si sono estratti i Co-benefici derivanti da politiche di crescita sostenibile a livello urbano.

Obiettivo	Obiettivo climatico	Co-Benefit		
		<i>Economico</i>	<i>Sociale</i>	<i>Ambientale</i>
Aumento della crescita economica "green"	Riduzioni emissioni gas ad effetto serra	<ul style="list-style-type: none"> · Creazione posti di lavoro · Crescita economica 	<ul style="list-style-type: none"> · Social housing 	<ul style="list-style-type: none"> · Attrattiva urbana
Aumento della crescita "green"	Riduzioni emissioni gas ad effetto serra	<ul style="list-style-type: none"> · Produttività e crescita urbana compatta · Innovazione, investimenti e occupazione 	<ul style="list-style-type: none"> · Riduzione povertà energetica attraverso migliori standard per gli edifici · Benefici per la salute e qualità dell'aria · Inclusione sociale e qualità della vita 	<ul style="list-style-type: none"> · Aumento dell'efficienza dell'energia e delle risorse · Aumento qualità dell'aria e dell'acqua · Miglioramento spazi verdi
Aumento della crescita economica a basso consumo di carbonio	Riduzioni emissioni gas ad effetto serra	<ul style="list-style-type: none"> · Produttività e crescita urbana compatta · Connessione delle infrastrutture e servizi efficienti · Accesso ai poli di lavoro 	<ul style="list-style-type: none"> · Benefici sulla salute e qualità dell'aria · Inclusione sociale e qualità della vita · Riduzione morti 	<ul style="list-style-type: none"> · Aumento dell'efficienza dell'energia e delle risorse · Aumento qualità dell'aria e dell'acqua · Miglioramento spazi verdi

In [17] sono analizzati i benefici connessi agli interventi sugli edifici e sulle infrastrutture a livello di quartiere e sono:

Migliore gestione delle risorse ambientali	L'aumento della sostenibilità può portare alla riduzione dell'impatto ambientale
Riduzione dei costi di vita dell'edificio	Più efficienti tecnologie possono comportare minori costi associati alla vita dell'elemento e le grandi scale di intervento possono ridurre i costi
Cambiamento delle tasse locali	La tassazione di nuovi lavori può avere effetti positivi sul bilancio pubblico
Istituzione di servizi energetici	L'approccio sul quartiere può stimolare la nascita di nuovi servizi
Miglioramento dell'identità del quartiere	Lavorare alla scala del quartiere può portare ad un cambiamento d'immagine di esso.
Aumento della salute e del benessere	Lavorare alla scala del quartiere può portare ad un miglioramento della salute degli abitanti.
Aumento valore immobiliare	La ristrutturazione degli edifici con l'utilizzo di tecnologie più efficienti può incrementare il valore degli immobili
Innovazioni tecnologiche	Le innovazioni tecnologiche possono portare ad una maggiore competitività
Miglioramento qualità dell'aria	Riduzione dell'inquinamento dato dalla diminuzione dell'utilizzo di combustibili fossili
Sviluppo della catena di approvvigionamento energetico locale	Riduzione dei costi energetici e della manutenzione dato dall'utilizzo di prodotti locali per la produzione di energia
Aumento della resilienza delle infrastrutture energetiche	Riduzione dell'interruzioni per guasti e abilità nel prevenirli aumenta l'efficienza energetica del sistema.
Più semplici condizioni di prestito	Gli interventi su larga scala supportati dall'UE possono interessare le banche e altri investitori permettendo una migliore negoziazione delle condizioni
Stimolazione del mercato del lavoro locale	Creazione di nuovi lavori dati dalle misure di efficienza energetica
Affronto della povertà energetica	Riduzione delle morti causate da condizioni interne degli edifici non consone, grazie alla riduzione del costo dell'energia.
Aumento dell'attrattività locale	Un quartiere sostenibile può attrarre visitatori.

Nella parte successiva si affronteranno più nel dettaglio i benefici che verranno in seguito utilizzati per il caso studio, valutando anche la loro monetizzazione.

3.2.1.1. Monetizzazione dei benefici

Risparmio energetico

La riduzione dell'utilizzo di energia è uno dei principali obiettivi delle politiche di efficienza energetica ed è uno dei benefici diretti [20]. La riduzione dei consumi produce una diminuzione dei costi associati all'utilizzo di energia e può essere considerato un beneficio socioeconomico in quanto è percepito dalla popolazione, ma anche dagli enti locali. Basta infatti pensare alla riduzione dei consumi che può verificarsi all'interno delle abitazioni grazie ad esempio ad edifici con più alte performance energetica, o quelli associati all'illuminazione pubblica quando sono utilizzate lampade più efficienti o a edifici pubblici. Questo beneficio può quindi di conseguenza portarne altri, come la maggior disponibilità economica per le famiglie e i amministrazioni comunali.

Per calcolare questo beneficio è necessario conoscere i consumi corrispondenti ad ogni vettore energetico e moltiplicarli per i costi associati a questi.

Sicurezza energetica

Grazie alla diminuzione dei consumi, diminuiscono anche le importazioni di energia da altri Stati e con l'aumento della presenza delle energie rinnovabili viene maggiormente sfruttata la produzione di energia locale. Questo beneficio si riferisce alla dipendenza evitata dal petrolio importato. Nei paesi IEA l'implementazione delle misure di efficienza energetica negli edifici e l'utilizzo di FER ha portato a forti riduzione delle importazione di combustibili fossili, pari a circa il 20% nel 2017 rispetto al 2012 [21]. Maggiori importazioni si traducono in maggiore esposizione ai picchi di prezzo sul petrolio.

L'IEA sta sviluppando uno strumento per la misurazione della sicurezza energetica, ossia il modello IES di sicurezza energetica a breve termine (MOSES) che oltre ad analizzare i costi sull'importazione del petrolio, analizza anche la riduzione delle interruzioni di approvvigionamento [22].

Riduzione emissioni inquinanti

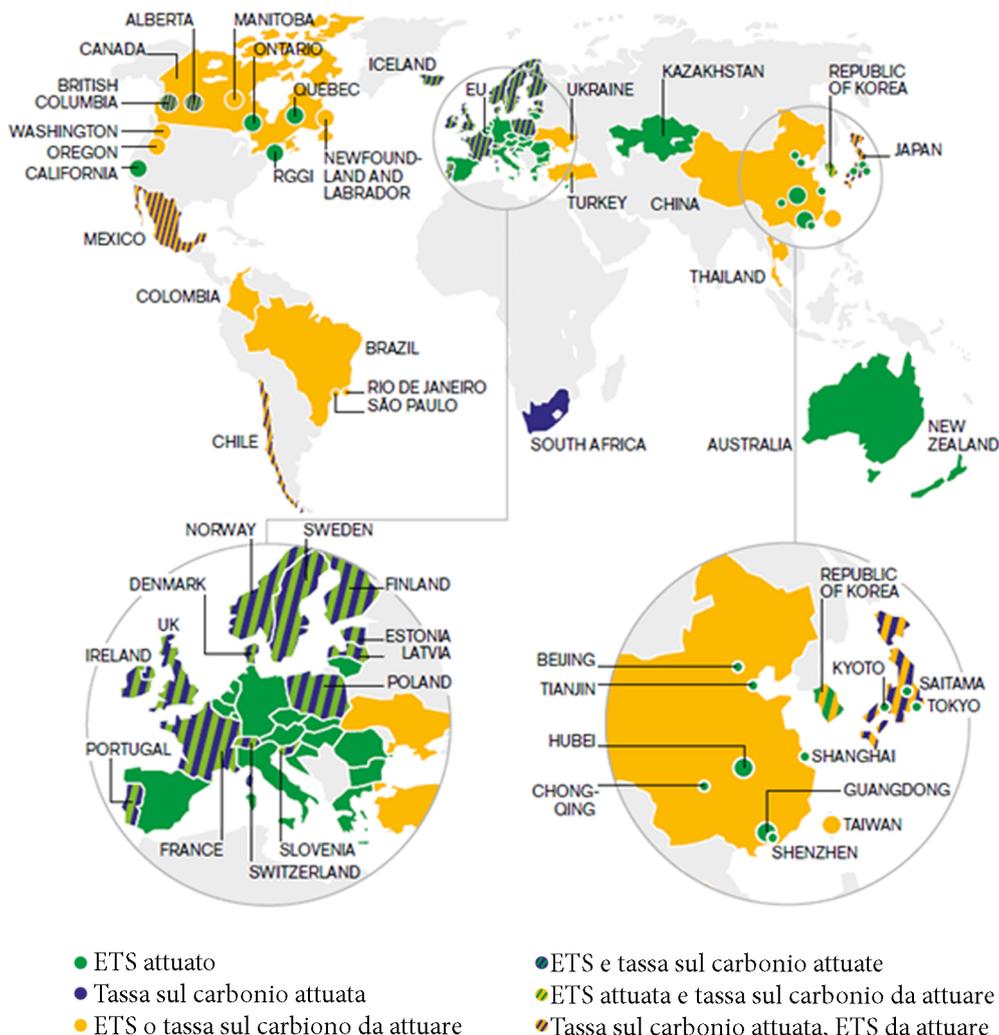
Il beneficio che viene principalmente monetizzato è quello riguardante le emissioni di CO₂. Esso è infatti il principale gas che contribuisce alla creazione dell'effetto serra e la sua monetizzazione è sempre più richiesta dai vari Stati e riflette i costi sanitari evitati grazie alla riduzione degli inquinanti.

Il prezzo viene attribuito attraverso un costo esterno che esprime il concetto "chi inquina paga". La monetizzazione avviene tramite un prezzo sul carbonio, che deriva dalle quotazioni europee dei diritti di emissione (EUAs) o una tassa (carbon tax), che esprime il danno causato dall'emissione di questo inquinante [23].

Nell'Unione Europea tutti gli Stati sono tenuti a pagare in base alle emissioni prodotte, ma se si

guarda la situazione a livello globale, ne mancano ancora molti alla lista, come mostrato nella figura 2.

Figura 2: Mappa delle iniziative sul costo del carbonio



Fonte: World Bank, 2016: State and Trends of Carbon Pricing

L'Emissions Trading System (ETS), ovvero il mercato internazionale per lo scambio di quote di emissioni nato nel 2005 ed introdotto dal protocollo di Kyoto, è stato sviluppato dall'Unione europea per rispondere alle sfide climatiche. Esso permette ad un determinato Stato di pagare a fine anno un numero di quote (o diritti) di emissione in base alle emissioni rilasciate durante l'anno oppure di vendere ad un altro i diritti in eccesso dovuti a una riduzione delle proprie emissioni. Questo avviene tramite dei "carbon credit", ovvero dei diritti ad inquinare che dovevano essere stabiliti a dei prezzi alti per fungere da deterrente per l'inquinamento, cosicché le imprese fossero più interessate a limitare le proprie emissioni attraverso l'utilizzo tecnologie più pulite. Questo non è avvenuto ed i carbon credit hanno raggiunto un valore di 3 euro l'uno, che risulta molto basso a causa della crisi finanziaria che ha comportato un calo di produzione e quindi

di emissioni di carbonio. Ad ora il loro valore è risalito e raggiunge circa i 15 euro l'uno, ma per avere effetto sul cambiamento climatico, questi dovranno raggiungere almeno i 40 euro. L'Unione europea per contrastare questa problematica ha deciso di apportare dei cambiamenti durante la quarta fase, che comprende il periodo 2021-2030, revisionato all'inizio del 2018. In questa fase le quote di emissioni diminuiranno del 2.2% ogni anno, rispetto all'attuale 1.74%. La differenza tra l'ETS e la tassa sul carbonio è che la prima ha un prezzo variabile a seconda dell'andamento del mercato, mentre per la seconda rimane fisso. La monetizzazione delle varie sostanze inquinanti viene realizzata moltiplicando le tonnellate di emissione per il relativo costo unitario di riferimento (€/tonnellata emessa).

$$CE = \sum_k \Delta E^k \times CE^k \quad [€]$$

Nella normativa UNI/TS 11300:4 è mostrata la procedura per il calcolo delle emissioni globali di CO₂ dell'edificio, in base all'energia fornita dai diversi vettori energetici [24].

$$M_{CO_2,em,mese} = \sum Q_{del,i} \cdot k_{CO_2,em,i} \quad [kg \text{ CO}_2]$$

Nel caso fosse esportata energia elettrica, prodotta da un impianto fotovoltaico:

$$M_{expCO_2} = \sum Q_{exp,el} \cdot k_{exp,el} \quad [kg \text{ CO}_2]$$

Per cui il risultato totale sarebbe il seguente:

$$M_{netCO_2} = \sum Q_{del,i} \cdot k_{CO_2,em,i} - \sum Q_{exp,el} \cdot k_{exp,el} \quad [kg \text{ CO}_2]$$

Dove:

$M_{del,i} \text{ CO}_2$: produzione di CO₂ del vettore energetico i [kg CO₂]

$Q_{del,i} \cdot k_{em,i}$: produzione specifica di CO₂ del vettore energetico i [kg CO₂/kWh]

La CO₂ è soltanto uno dei tanti gas inquinanti prodotti a livello urbano dai diversi settori. Anche gli altri inquinanti sono stati sempre più considerati ed è stato determinato anche per loro un costo, sempre associato ai costi sanitari ad essi collegati. In questa parte non verranno spiegati poiché sono già considerati all'interno del costo esterno che verrà qui di seguito definito.

Costo esterno

L'inquinamento atmosferico riduce la qualità della vita nelle grandi città, producendo danni alla salute degli abitanti e degli edifici. L'utilizzo di combustibili fossili sia nel settore energetico che nei trasporti causa, oltre all'emissione di CO₂, anche l'emissione di altri inquinanti in atmosfera che vengono valutati come costi esterni e che ricadono quindi sull'intera collettività. Questo

beneficio include perciò i costi non solo attribuiti all'anidride carbonica, ma anche a tutti gli altri gas serra ossia SO₂, NO_x e PM₁₀.

Il costo esterno può essere definito come "quando le attività sociali od economiche di un gruppo di persone ha un impatto su un altro gruppo di persone che non viene completamente compensato dal primo gruppo" [25].

L'attenzione sulle esternalità ambientali viene evidenziata da molti progetti come CORINAIR, EXTERNE e UNITE e determinano un costo sia sulle diverse forme di energia che sui trasporti.

I costi esterni connessi al settore energetico riguardano:

- Sistema elettrico;
- Sistema di riscaldamento.

Per ogni sistema considerato, sono associati i costi esterni ai diversi vettori energetici che ne fanno parte, come: carbone, gasolio, gas naturale, nucleare, idroelettrica, fotovoltaico, eolico, biomassa, pompe di calore, collettore solari, cogenerazione ed elettricità dalla rete elettrica nazionale.

Il calcolo del costo esterno per il sistema energetico viene calcolato moltiplicando il costo esterno del vettore per il consumo di energia in kWh.

I costi esterni connessi al settore dei trasporti riguardano molteplici impatti [26]:

- Congestione;
- Incidenti stradali;
- Inquinamento;
- Rumore;
- Cambiamento climatico.

La loro monetizzazione è un importante sviluppo per l'implementazione di politiche in Europa e in tutto il mondo. Gli effetti sulla salute sono valutati secondo il concetto della disponibilità a pagare. Ognuno dei diversi impatti si basa su diverse metodologie di calcolo e perciò considera diversi input.

Aumento valore immobiliare

L'aumento dell'efficienza energetica negli edifici aumenta di conseguenza anche il valore immobiliare degli stessi ed è stimata con la volontà a pagare un affitto o una somma aggiuntiva per l'abitazione con migliori performance energetiche. Tuttavia esso, nel caso della trasformazione del quartiere, non è dovuto solo alle migliorie che vengono effettuate all'edificio, ma anche al contesto in cui si trova, ma è bene trattarle separatamente.

In [27] è stato valutato l'aumento del valore immobiliare dovuto alla presenza di sistemi per la raccolta di acqua piovana negli edifici a Perth in Australia. L'aumento del valore raggiunto

è stato pari a 3,76% e il calcolo è stato effettuato attraverso l'utilizzo del metodo del prezzo edonico.

L'aumento del valore immobiliare, dovuto a migliori performance energetiche, viene trattato da Bottero et al. (2014) [28], valutando quanto i possibili acquirenti siano disposti a pagare a seconda della classe energetica in cui ricade l'abitazione. La valutazione del beneficio, dal passaggio da classe energetiche più basse a quelle più efficienti, viene effettuata tramite il metodo dei prezzi edonici. Questo metodo permette la valutazione di beni con un insieme di caratteristiche diverse.

$$P = f(z_1, z_2, \dots, z_n)$$

Dove:

P: valore di mercato (prezzo)

z_1, z_2, \dots, z_n : sono caratteristiche strutturali e posizionali che fanno parte del modello empirico-estimativo- come variabili dipendenti.

Il valore immobiliare è innanzitutto definito dalla localizzazione, che identifica un sotto-mercato dato dai valori posizionali, culturali e ambientali. I prezzi marginali, esprimono la variazione del prezzo totale al variare della caratteristica.

Creazione di posti di lavoro

Le politiche "green", che migliorano la qualità ambientale hanno anche delle conseguenze positive nella creazione di posti di lavoro in attività economiche ecologiche. A seconda di come verranno realizzate, le politiche ambientali potranno avere risultati diversi nella composizione della domanda di lavoro e per lavori specifici [20].

I posti di lavoro che verranno creati nel settore sostenibile, compenseranno in parte i lavori persi con le misure ad elevato impatto ambientale, quindi bisognerà tenere in considerazione che l'effetto netto dei posti di lavoro creati sarà minore di quello lordo.

I risultati che si potrebbero ottenere dipendono dal tipo di modello che viene utilizzato e dalle ipotesi fatte.

I settori in cui è presente la possibilità di creare lavori "verdi" sono molteplici, ad esempio le energie rinnovabili, costruzioni sostenibili, trasporto pubblico.

Le politiche verdi potranno influenzare il mercato del lavoro nei seguenti modi:

- Cambiamenti nelle modalità di produzione, attraverso metodi e processi meno inquinanti;
- Cambiamenti nei modelli di domanda, le politiche verdi abbassano i prezzi dei beni puliti rispetto ai prodotti inquinanti, modificando la domanda di merci inquinanti e non. Gli individui acquisteranno sempre più beni puliti grazie alla loro economicità rispetto ad altri, influenzando la domanda nella produzione tra i vari settori.
- Cambiamento nel reddito aggregato e nelle condizioni macroeconomiche;

- Cambiamenti nel commercio e nella competitività, per i prodotti scambiati internazionalmente.

Le politiche per contrastare il cambiamento climatico comporteranno una trasformazione del sistema energetico che influenzerà a sua volta la domanda di materie prime nei processi produttivi e i mercati del lavoro.

Creazione nuovi posti di lavoro nella produzione di energia rinnovabile

Questi lavori possono essere temporanei, ad esempio per l'installazione di pannelli fotovoltaici, o permanenti, ad esempio operai adibiti alla manutenzione. Il settore delle energie rinnovabili richiede più lavoratori per Mega-watt di energia prodotta rispetto ai settori che richiedono combustibili fossili.

Creazione di nuovi posti di lavoro per l'efficienza energetica

L'aumento dell'efficienza energetica negli edifici può richiedere nuovi lavoratori edili per isolare le case, nelle società di consulenza ambientale ecc.

Trasporti

Aumento dell'occupazione dovuta all'espansione del trasporto pubblico. L'OECD evidenzia che l'inclusione dell'efficienza energetica in un pacchetto di politiche di mitigazione dei cambiamenti ambientali può aumentare significativamente i guadagni complessivi in termini di occupazione [29].

Per la monetizzazione di questo beneficio è necessario conoscere i nuovi posti di lavoro creati per ogni settore. Deve essere eseguita questa scomposizione in quanto il processo di monetizzazione avviene moltiplicando i numeri di nuovi lavori per un salario ombra che è diverso a seconda del settore considerato.

Il salario ombra è così determinato [30]:

$$SW = W (1-t) (1-u)$$

Dove:

W: rappresenta il salario medio annuale

t: tasse

u: tasso di disoccupazione per l'area considerata

Questo beneficio è perciò strettamente collegato con la zona in cui viene effettuata l'analisi. Inoltre grazie ai nuovi lavori creati si riducono anche i sussidi di disoccupazione erogati dallo Stato.

Vendita energia elettrica

Si è già parlato dei possibili benefici generati dall'utilizzo delle FER, ossia la maggiore sicurezza energetica, la riduzione delle emissioni che portano ad un miglioramento della salute pubblica, oppure la creazione di lavoro grazie all'installazione di questi sistemi.

Un ulteriore vantaggio può essere la vendita di energia elettrica prodotta in eccedenza dai pannelli fotovoltaici. Tale disposizione è regolata in Italia dal GSE (Gestore Servizi Energetici) tramite il servizio Scambio sul Posto che garantisce dei prezzi minimi, (€/MWh) qualunque sia l'andamento del mercato elettrico [31].

Questo beneficio può essere calcolato moltiplicando il prezzo fornito per i MWh di energia elettrica non consumata dall'utente.

3.2.2. Criteri

Lavorare a livello di quartiere per migliorare l'efficienza energetica di più settori coinvolge numerosi potenziali stakeholder, ognuno dei quali con potenziali obiettivi differenti. Pertanto una delle sfide chiave risiede nell'utilizzare una moltitudine di criteri per determinare quale delle alternative proposte riesce a soddisfare maggiormente tutti i soggetti coinvolti.

Questi criteri possono essere valutati tramite una scala di tipo quantitativo o qualitativo e sono chiamati indicatori chiave di prestazione (KPI Key Performance Indicators). Essi misurano le prestazioni di un dato elemento per il raggiungimento di un obiettivo [32]. Questi indicatori vengono successivamente ordinati secondo la loro importanza attraverso l'utilizzo dell'analisi Multi-Criterio. Gli indicatori permettono di semplificare i fenomeni complessi attraverso delle misure facilmente comprensibili e trasparenti [33]. Essi devono avere tre caratteristiche principali: la quantificazione, la semplificazione e la comunicazione.

Sono disponibili diversi sistemi di indicatori per valutare la sostenibilità urbana e sono stati sviluppati anche delle standardizzazioni a livello internazionale ed europeo. In [34] i KPI sono suddivisi secondo gli obiettivi, che possono essere: tecnici, ambientali, sociali ed economici. In seguito si sono esaminati diversi strumenti che utilizzano i KPI a livello urbano.

Indicatori tecnici edifici e settore energetico:

<i>Indicatore</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Unità</i>	<i>Fonte</i>
– Domanda energetica	Energia richiesta per il fabbisogno.	kWh/m ²	[34] [35]
Energia fornita	Energia fornita per ogni vettore energetico per soddisfare il fabbisogno energetico.	kWh/m ²	[34]
Energia primaria	L'utilizzo dell'indicatore di energia primaria rende possibile la semplice addizione tra i differenti tipi di energia	kWh/m ²	[34] [35]
Densità della domanda energetica	Definisce il rapporto tra la domanda di energia finale di un insieme di edifici e lo sforzo richiesto dal teleriscaldamento per fornirgli energia.	kWh/m ²	[34]

Tecnici	Temperatura aria interna	Determina le condizioni di comfort interno ma permette anche di ricavare quanta energia è necessaria per raggiungere particolari condizioni.	°C	[34]
	Quantità di calore per il raggiungimento di set point	Permette di ricavare le informazioni sulla quantità di energia necessaria per raggiungere certe condizioni di temperatura, conosciute come set point.	kWh	[34]
	Umidità interna relativa	Rapporto tra la quantità di vapore inclusa in una massa d'aria e la quantità massima di vapore che la stessa massa di aria ha alle stesse condizioni di temperatura e pressione.	%	[34]
	Velocità di distribuzione aria interna	Tramite questo parametro è possibile conoscere i movimenti di aria all'interno degli ambienti.	m/s	[34]
	Comfort termico	Livello di comfort interno misurato come il numero di ore in cui la temperatura interna e le condizioni di umidità relativa sono nel range di valori definiti.	-	[34]
	Carico di picco e massima domanda di elettricità	Descrive le caratteristiche della domanda in un certo periodo di tempo, mentre il carico di picco è quanto la fornitura di energia elettrica deve essere in grado di coprire.	kW	[34] [35]
	Carico di picco e massima domanda termica	Descrive le caratteristiche della domanda in un certo periodo di tempo, mentre il carico di picco è quanto la fornitura di energia termica deve essere in grado di coprire.	kW	[34] [35]
	Resa specifica	Corrisponde al calcolo di energia fornita da un sistema in relazione alla sua capacità.	W/(m ² K)	[34]
	Grado di congruenza del calcolo della domanda di energia finale annuale e monitoraggio dei consumi	Rapporto tra la domanda teorica di energia di un gruppo di edifici e i consumi di energia finale misurati in un dato tempo.	%	[34]
	Numeri di appartamenti ed edifici gestiti da soluzioni ICT	Numero di appartamenti ed edifici con sistemi di monitoraggio, sensori o altri elementi per la collezione di dati o il controllo termico rispetto al numero finale di retrofit degli edifici.	N°	[34]
	Numero di sensori connessi negli appartamenti ed edifici	Numeri di sensori installati nel quartiere.	N°	[34]
	Quantità di dati che possono essere gestiti e controllati dal quartiere	Numeri di dati generati attraverso i sensori del quartiere in un certo periodo di tempo	N°	[34]
Grado di autoapprovvigionamento energetico	Rapporto tra la produzione di energia prodotta localmente e i consumi in un certo periodo di tempo.	%	[34] [35]	

Condivisione di energia rinnovabile	Condivisione totale di FER in un sistema complesso di fornitura di energia.	%	[34]
Rapporto di interruzioni di potenza evitate in un anno	Guasti evitati grazie alla maggiore affidabilità del sistema energetico.	%	[34]

Indicatori tecnici per i trasporti:

	<i>Indicatore</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Unità</i>	<i>Fonte</i>
Tecnici	Flusso di traffico per tipo di veicolo	Flusso medio di veicoli durante le ore di punta o le ore a bassa intensità.	N° veicoli/giorno	[34]
	Velocità media veicoli	Velocità media nelle ore di punta e non.	km/h	[34]
	Tempo medio di percorrenza	Tempo usato per coprire una distanza.	minuti	[34]
	Occupazione media	Numero di persone per veicolo/giorno.	N° veicoli/giorno	[34] [36]
	Affidabilità	Numero e percentuale di servizi arrivati/partiti in tempo.	N° %	[34] [35] [36]
	Consumi energetici	Consumi energetici misurati direttamente dai sensori installati dei veicoli.	kWh	[34]
	Efficienza del carburante	Consumo totale di energia misurato come una funzione di consumo di carburante per unità di attività del trasporto.	MJ/vKm	[34]
	Viaggi annuali pro capite	Numero di viaggi annuali per persona per mezzo di trasporto.	viaggio/ab	[34] [35] [36]
	Modalità di spostamento	Percentuale di spostamento attraverso i diversi modi di trasporto.	%	[36]
	Numero di veicoli efficienti	Numero di veicoli efficienti nel quartiere.	N°	[35]
	Numero di stazioni di ricarica	Numero di stazioni di ricarica nel quartiere.	N°	[35]
Lunghezza piste ciclabili	Chilometri di piste ciclabili per 100000 abitanti.	km	[35]	

Indicatori ambientali per edifici e settore energetico:

	<i>Indicatore</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Unità</i>	<i>Fonte</i>
	Emissioni GHG (edifici)	Emissioni di gas ad effetto serra negli edifici, corrispondenti alle emissioni che sono causate da differenti aree di applicazione (spazio riscaldato, domanda acs, elettrodomestici)	t/m ² a	[34] [35]

Ambientali	Emissioni GHG (sistema energetico)	Emissioni di gas ad effetto serra a larga scala o su edifici integrati di unità di fornitura energetica che corrispondono alle emissioni causate dal rilascio di energia	t/m ² a	[34] [35]
	Domanda energetica cumulativa	Quantifica l'utilizzo di energia primaria attraverso il ciclo di vita di un buon servizio	MJ	[34]
	Cambiamento climatico	Emissioni di CO ₂ equivalente	kg CO ₂ eq.	[34] [35]
	Eco-tossicità	Impatto nell'acqua di falda, marina, come risultato di delle emissioni tossiche nell'aria, nell'acqua e nel suolo	kg	[34]
	Tossicità umana	Tossicità delle sostanze nell'ambiente umano.	kg	[34]
	Esaurimento fossile	Quantità di combustibili fossili estratti.	kg	[34]
	Impronta ecologica	Misura quanta area di produttività biologica è necessaria per produrre tutte le risorse consumate.	ha	[34]

Indicatori ambientali per i trasporti:

	<i>Indicatore</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Unità</i>	<i>Fonte</i>
Ambientali	Emissioni CO ₂ per distanza percorsa	Emissioni CO ₂ prodotte da	CO ₂	[34]
	Numero rotale di ricariche per anno	Numero di ricariche (biogas e EV) per anno nelle stazioni di ricarica pubbliche e private	N°	[34]
	kWh totali di ricarica	Numero di kWh di ricarica dei veicoli elettrici per anno nelle stazioni di ricarica pubbliche e private.	kWh	[34]
	Energia consumata	Energia consumata al chilometro.	MJ/pKm	[36]
	Combustibile consumato	Litri di combustibile consumato al chilometro.	L/pkm	[36]
	Quantità di inquinanti emessi	Quantità di inquinanti emessi	kg	[36]
	Rumore	Rumore prodotto dai mezzi di trasporto	dB	[36]
Suolo consumato	Area di suolo consumato dalle infrastrutture per il trasporto pubblico.	m ²	[36]	

Indicatori ambientali per i trasporti:

<i>Indicatore</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Unità</i>	<i>Fonte</i>
Età dei residenti	Età dei residenti.	Età media, % categoria	[34]
Alto livello di educazione scolastica	Livello di educazione scolastica dei residenti.	% categoria	[34]
Nazionalità	Percentuale di abitanti della propria nazione e stranieri.	% nazionalità	[34]
Numero di persone per appartamento	Numero di persone che vive nell'abitazione.	N° medio	[34]
Numero di abitanti senza lavoro	Numero di persone senza lavoro in percentuale sul totale.	%	[32]
Numero di abitanti che ricevono il sussidio di disoccupazione	Numero di persone che riceve il sussidio di disoccupazione in percentuale sul totale.	%	[34]
Stipendio netto abitanti	Stipendio medio abitanti.	Media, % categoria	[34]
Dimensione abitazione	Dimensione media delle abitazioni.	Dimensione media	[34]
Strutture di proprietà	Strutture di proprietà e in affitto.	%	[34]
Tipologia edifici	Tipologia di edifici.	%	[34]
Anni edifici	Epoca di costruzione degli edifici residenziali e non.	media anni, % categoria	[34]
Anni passati nell'abitazione	Anni di occupazione dell'attuale abitazione .	media anni, % categoria	[34]
Dimensione appartamento	Dimensione appartamenti.	m ²	[34]
Soddisfazione residenti per il progetto	Livello di soddisfazione dei residenti riguardo il progetto in termini generali.	%	[34] [35]
Soddisfazione residenti per l'informazione	Livello di soddisfazione dei residenti riguardo l'informazione sugli interventi del progetto.	%	[34]
Grado di coinvolgimento dei residenti	Livello di coinvolgimento nel progetto.	%	[34]
Consapevolezza energetica residenti	Livello di consapevolezza dei residenti riguardo i consumi energetici.	%	[34]
Soddisfazione con l'accessibilità dell'informazione	Grado di soddisfazione per l'accessibilità alle informazioni.	%	[34]
Soddisfazione delle soluzioni tecniche	Livello di soddisfacimento delle soluzioni tecniche scelte nel progetto.	%	[34] [35]
Soddisfazione strumenti ICT	Livello di soddisfacimento degli strumenti ICT.	%	[34] [35]
Soddisfazione estetica	Livello di soddisfacimento estetico.	%	[34]

Sociali

Soddisfazione risparmio energetico	Livello di soddisfazione sul risparmio energetico conseguito.	%	[34]
Condizioni di comfort	Livello di soddisfazione sulle condizioni di comfort.	%	[34]
Riduzione bollette	Livello di soddisfazione sulle riduzione dei costi in bolletta.	%	[34]
Futuri investimenti in progetti energetici	Accettazione da parte dei residenti per futuri investimenti.	%	[34]

Indicatori sociali per i trasporti:

<i>Indicatore</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Unità</i>	<i>Fonte</i>
Età guidatore	Età media del guidatore.	media	[34]
Livello di educazione scolastica guidatore	Livello di educazione scolastica dei guidatori.	%	[34]
Genere	Numero guidatori maschi e femmine.	%	[34]
Anni lavoro autista	Anni di lavoro come autista.	media anni	[34]
Anni del veicolo da sostituire	Anni del veicolo	media anni	[34]
Soddisfazione abitanti progetto	Livello di soddisfazione dei residenti riguardo il progetto in termini generali.	%	[34]
Soddisfazione abitanti informazioni	Livello di soddisfazione dei residenti riguardo l'informazione sugli interventi del progetto.	%	[34]
Soddisfazione accessibilità informazione	Grado di soddisfazione per l'accessibilità alle informazioni.	%	[34]
Soddisfazione soluzioni tecniche	Livello di soddisfazione delle soluzioni tecniche scelte nel progetto.	%	[34]
Soddisfazione strumenti ICT	Livello di soddisfazione degli strumenti ICT.	%	[34]
Condizioni di comfort	Livello di soddisfazione sulle condizioni di comfort.	%	[34]
Riduzione costi energetici	Livello di soddisfazione sulla riduzione dei costi energetici.	%	[34]
Opportunità	Lavori presenti per ogni centro di attività collegato al trasporto pubblico	lavori/ centri attivi	[36]
Accesso trasporto pubblico	Mezzi pubblici accessibili.	%	[36]
Distanza media viaggio	Distanza media percorsa dai viaggiatori.	km	[36]
Accessibilità utente	Stazioni accessibili tramite i veicoli per tutti gli utenti.	%	[36]

	Distanza media viaggio	Distanza media percorsa dai viaggiatori.	km	[36]
	Accessibilità utente	Stazioni accessibili tramite i veicoli per tutti gli utenti.	%	[36]
	Popolazione esposta alle emissioni del trasporto pubblico	Numero di abitanti esposti alle emissioni del trasporto pubblico	persone	[36]
	Incidenti trasporto pubblico	Numero di incidenti per chilometri percorsi dai mezzi pubblici.	Incidenti/pkm	[36]
	Morti trasporto pubblico	Numero di morti per chilometri percorsi dai mezzi pubblici.	morti/pkm	[36]

Indicatori economici per edifici e settore energetico:

	<i>Indicatore</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Unità</i>	<i>Fonte</i>
Economici	Investimento (retrofit edifici)	Costo di investimento per la riqualificazione degli edifici.	€/m ²	[34] [35]
	Investimento (sistema energetico)	Costo investimento per l'installazione di sistemi energetici su larga scala.	€/kW	[34]
	Sovvenzioni	Parte dell'investimento che è sovvenzionata.	€/m ²	[34] [35]
	Costi totali annuali	Costi che si verificano annualmente.	€/a	[34] [35]
	Ricavi totali annuali	Ricavi che si verificano annualmente.	€/a	[34]
	Valore attuale netto	Valore attuale netto	€/a	[34]
	Tasso interno di rendimento	Tasso interno di rendimento	-	[34]
	Periodo di ritorno	Anni necessari per il ritorno economico dell'investimento.	anni	[34] [35]

Indicatori economici per i trasporti:

	<i>Indicatore</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Unità</i>	<i>Fonte</i>
Economici	Investimento	Costo investimento per l'acquisto di veicoli e delle infrastrutture di ricarica.	€	[34]
	Sovvenzioni	Parte dell'investimento che è sovvenzionata.	%	[34]
	Costi totali annui	Costi che si verificano annualmente.	€	[34]
	Ricavi totali annui	Ricavi che si verificano annualmente.	€	[34]
	Valore attuale netto	Valore attuale netto .	€	[34]
	Tasso interno di rendimento	Tasso interno di rendimento.	-	[34]
	Periodo di ritorno	Anni necessari per il ritorno economico dell'investimento.	anni	[34]
	Costi operativi annuali	Costi operativi per chilometro di rete.	€/pkm	[36]
	Recupero dei costi	Percentuale di ricavi sui costi.	%	[36]
	Costo medio viaggio	Costo medio del biglietto.	€	[36]
Tempo medio viaggio	Tempo di viaggio medio.	minuti	[36]	

Per il settore dell'acqua dei possibili indicatori sono i seguenti [37]:

	Indicatore	Descrizione	Unità
Acqua	Copertura	Popolazione con facilità do accesso ai servizi di acqua.	%
	Consumi totali	Consumi totali d acqua pro capite.	litri/ab/giorno
	Acqua non recuperata	Rapporto tra l'acqua fornita e l'acqua venduta.	% m ³ /km/giorno
	Rottura tubazioni	Numero totale di tubazioni rotte all'anno espresse per km della rete di distribuzione.	rottore/km/anno
	Costi operativi	Costi operativi annuali per il servizio dell'acqua	€/m ³

Questi indicatori potranno essere utilizzati per gli studi che si focalizzano sulla scala del quartiere e della città. Tuttavia alcuni di questi possono valere anche quando si lavora sul singolo edificio.

Dalla lettura di articoli che trattano dell'analisi Multi-Criteri si evince che sono presenti ulteriori criteri di valutazione, come ad esempio:

Indicatore	Descrizione	Unità	Fonte
Numero di lavori creati	Numero di lavori creati dall'implementazione delle misure di efficienza energetica.	N° lavori	[38] [39] [40] [41]
Impatto sul suolo	Impatto delle infrastrutture sul suolo pubblico.	Scala qualitativa	[38]
Maturità della tecnologia	Grado di maturità della tecnologia che corrisponde a quanto una tecnologia è stata testata e se perciò risulta efficiente.	Scala qualitativa	[38] [42] [43] [43]
Impatto visivo	Impatto visivo delle misure di efficienza energetica.	Scala qualitativa	[38] [40]
Impatto nell'ambiente naturale	Impatto sull'ambiente delle misure di efficienza energetica	Scala qualitativa	[38]
Contributo al benessere e allo sviluppo locale	Stima l'impatto sociale e economico che può essere percepito.	Scala qualitativa	[42]
Emissioni PM	Produzione di emissioni di PM10 e PM2.5	Tonnellate	[43]
Carico di traffico	Utilizzo di combustibili alternativi per i mezzi di trasporto	Scala qualitativa	[43]
Salute pubblica	Contaminazione di aria, acqua e impatto generale sulla salute pubblica	Scala qualitativa	[40]
Accettabilità sociale	Preferenza pubblica per lo sviluppo di determinate infrastrutture	Scala qualitativa	[41]
Costo esterno	Costo generato durante l'intero ciclo di vita del sistema ed associato alla produzione di inquinanti.	€/kWh	[41]



Strumenti e metodologia

4. Strumenti e metodologia

In questo capitolo sono descritti gli strumenti e la metodologia che sono stati necessari per svolgere correttamente e in modo efficiente l'analisi del caso studio del quartiere. Si è già parlato nei capitoli precedenti del ruolo importante che rivestono le città, e quindi anche i quartieri, nel processo di sviluppo sostenibile per il raggiungimento degli obiettivi sul clima.

In questa parte della tesi verranno quindi analizzati gli strumenti necessari ad identificare le caratteristiche di ogni settore e le metodologie diverse richieste per determinare i consumi, emissioni ed ulteriori informazioni utili a delineare lo stato di fatto e le successive misure di trasformazione. Tali informazioni verranno utilizzate per effettuare una valutazione energetica ed in seguito una valutazione composita che tenga in considerazione gli aspetti economici, ambientali e sociali sia in termini monetari che extra-monetari.

Il quartiere a cui ci si riferisce è quello di San Salvario a Torino, un distretto posto in prossimità del centro della città e con proprie caratteristiche che lo rendono adatto ad una possibile trasformazione sostenibile.

4.1. Strumenti

Il settore degli edifici è quello che presenta la maggior richiesta di informazioni, poiché è caratterizzato da tipologie di edifici diversi, con propri consumi ed in cui alla scala del quartiere è impensabile analizzare uno per uno. Per il seguente motivo è stato necessario utilizzare due strumenti che hanno supportato la definizione di edifici di riferimento e i consumi a loro associati, sia per lo stato di fatto che per la loro trasformazione. Essi sono Tabula e MasterClima e di seguito sono analizzate le loro funzioni.

Tabula

Dal momento che non è stato possibile analizzare tutti i singoli edifici del quartiere, sia in termini di tempo sia perché l'obiettivo di questa analisi è quella di utilizzare un approccio generico, sono stati utilizzati degli edifici di riferimento per determinare i consumi energetici totali. Questi edifici consentono la suddivisione dell'intero stock di abitazioni del quartiere in un numero limitato di categorie a cui possono essere associati gli stessi consumi parametrici.

TABULA (Typology Approach for BUiLding stock energy Assessment) è un progetto che è stato condotto dal 2009 al 2012, realizzato per ottenere degli edifici residenziali "tipo", in cui vi hanno aderito 13 Stati dell'Unione Europea. Ogni Paese è costituito da diverse tipologie edilizie e perciò questi "edifici tipo" rappresentano degli edifici comuni a livello nazionale, identificati secondo un proprio periodo di costruzione e dimensione. In questo progetto sono stati analizzati i consumi energetici degli edifici al loro stato attuale e quelli raggiungibili attraverso delle misure di retrofit secondo due livelli: standard ed avanzato.

Quello che ha interessato per la seguente tesi è stato solo lo stato di fatto, poiché per le misure di retrofit sono stati utilizzati altri parametri rispetto a TABULA.

I dati degli edifici nazionali richiesti all'intero di questo progetto hanno riguardato la tipologia edilizia e quella impiantistica, ossia dimensioni, caratteristiche fisiche e termiche dell'involucro, prestazioni ed efficienza degli impianti secondo la loro diffusione nel parco edilizio nazionale. Per il caso italiano gli edifici tipo selezionati hanno riguardato la zona climatica E (da 2100 a 3000 gradi-giorno), ossia la fascia climatica che presenta più comuni a livello italiano (52%), la quale coincide anche con quella presente maggiormente nella regione Piemonte. Le informazioni per ricavare la distribuzione dei dati dagli edifici, nazionali e piemontesi, sono state ottenute dai dati ISTAT e dall'ENEA. Gli edifici di riferimento utilizzati erano in parte reali e in parte teorici, ossia scelti da un'analisi statistica.

Le tipologie edilizie presenti sono state classificate secondo 8 epoche di costruzioni e 4 classi di dimensione edilizia (case monofamiliari, case a schiera, edifici multifamiliari e blocchi di appartamento). Ogni epoca è costituita da ognuna delle 4 dimensioni, per cui sono presenti 32 tipologie totali rappresentate in una matrice. Le diverse tipologie edilizie ottenute sono state riunite in due supporti, la brochure [1] e il webtool [2].

Per ognuna di queste tipologie sono stati calcolati i consumi energetici secondo due modalità differenti. Nel webtool sono stati calcolati secondo le norme tecniche europee EN ISO 13790 e UNI EN 15316, poiché il progetto è stato svolto a livello europeo, e in questo modo è stato possibile ottenere dei risultati paragonabili tra le varie nazioni, attraverso l'utilizzo di una normativa unica. Nella brochure invece, facendo riferimento al caso italiano, è stata utilizzata la normativa nazionale, ossia la UNI/TS 11300. Gli indici di prestazione energetica presenti in entrambi i supporti sono il fabbisogno annuo di energia per riscaldamento e acqua calda sanitaria ed il fabbisogno di energia primaria per riscaldamento, acqua sanitaria e quello totale dato dalla somma di questi due.

I dati forniti dalla brochure sono stati utilizzati per procedere alla stima dei consumi e valutare quindi i possibili risparmi energetici degli edifici.

MasterClima

Essendo TABULA un progetto concluso nel 2012 non è stato possibile utilizzare i dati come erano forniti, ma è stato necessario adattarli alla situazione attuale, sia per i dati dei consumi, che, come già detto, per le ipotesi di intervento per il miglioramento delle prestazioni energetiche. Si è quindi utilizzato un software esterno per ricreare gli edifici di riferimento e valutare tramite questo le reali prestazioni.

Lo scopo dell'utilizzo di questo programma è stato la creazione di modelli che rappresentassero gli edifici di riferimento presenti in TABULA, in tutte le loro caratteristiche fisiche, geometriche ed impiantistiche, ai quali successivamente implementare le misure di retrofit.

MasterClima (MC11300) [3] è un software gratuito sviluppato da Aermec, che permette di effettuare il calcolo delle prestazioni energetiche ed ambientali in modo semplice, attraverso l'utilizzo della più recente normativa nazionale, la UNI/TS 11300:2014 e il DM 26 giugno 2015.

L'inserimento dei dati è gestito da un'interfaccia semplice ed intuitiva e la presenza di dati errati è segnalato prontamente durante l'inserimento.

L'interfaccia è caratterizzata da 5 schede: pagina iniziale, fabbricato, impianto, calcolo/risultati ed elaborati.

La prima scheda permette di inserire i dati generali del progetto come i dati climatici, i componenti dell'involucro edilizio e i vettori energetici. In questa parte è possibile anche utilizzare i dati forniti dell'archivio o è possibile crearne di nuovi.

Nella seconda e terza scheda l'edificio può essere scomposto secondo tre livelli: edificio, zona ed ambiente. In questi è quindi possibile inserire informazioni sempre più dettagliate. Nella scheda fabbricato sono da inserire i dati geometrici dei componenti dell'edificio, la capacità termica, le dispersioni per ventilazione, gli apporti interni e il fabbisogno di acqua calda sanitaria. Nella parte degli impianti devono essere inserite le informazioni delle prestazioni degli impianti.

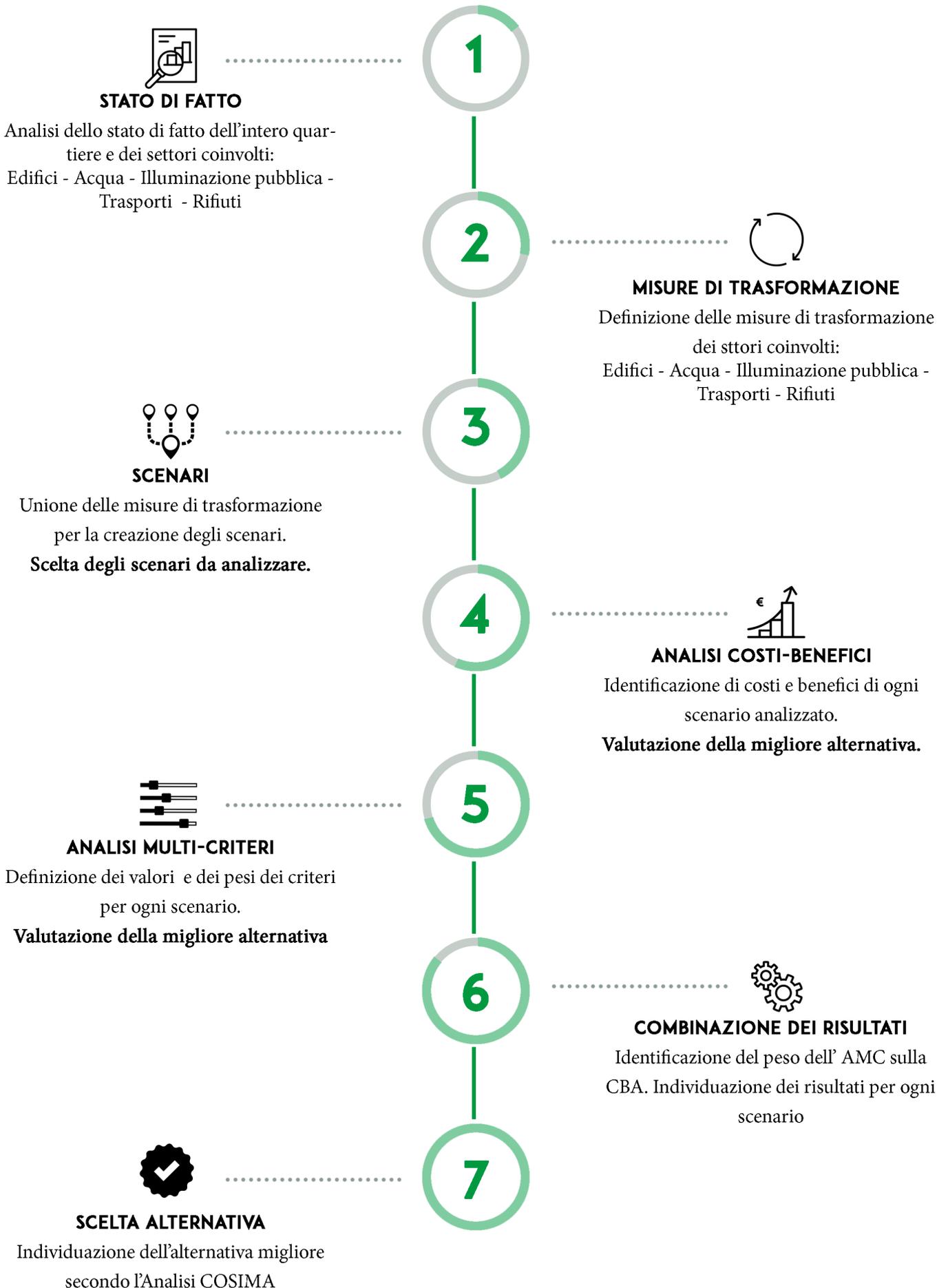
Nella scheda calcolo/risultati sono mostrati tutti i valori dei consumi, suddivisi per riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria e globali. In questa parte è possibile ricavare informazioni riguardanti anche la classe energetica dell'edificio e le emissioni di CO₂.

Nell'ultima scheda infine è possibile elaborare la certificazione APE.

4.2. Metodologia

In questo paragrafo verrà spiegata la metodologia utilizzata per procedere all'analisi e alla trasformazione del quartiere di San Salvario, attraverso l'analisi COSIMA. I settori coinvolti nel processo di trasformazione sono stati: edifici, acqua, illuminazione pubblica, trasporti e rifiuti. Prima di tutto è stato identificato lo stato di fatto, secondo i suoi consumi energetici (edifici, illuminazione pubblica, acqua), i consumi di carburante (trasporti e rifiuti) e le prestazioni ambientali di tutti i settori. Dopo questo primo passo si è proceduto a fissare delle misure di trasformazione per ognuno di questi settori adoperando gli stessi indicatori utilizzati nello stato di fatto. In seguito sono stati creati gli scenari complessivi di trasformazione e per ognuno di questi è stata effettuata un'analisi Costi-Benefici e un'analisi Multi-Criterio per poter essere successivamente congiunte nell'analisi COSIMA.

Nella pagina a fianco è mostrata una sintesi dei passaggi richiesti per giungere all'obiettivo finale.



4.2.1. Stato di fatto

La definizione dello stato di fatto è consista nella caratterizzazione di tutti i settori coinvolti, identificando le caratteristiche essenziali per procedere alla definizione dei consumi e delle migliorie che potranno essere applicate.

Le informazioni sono state ottenute secondo un procedimento che prevedeva l'utilizzo di dati riferiti al suddetto quartiere quando disponibili, altrimenti se questi mancavano, sono stati esaminati quelli ai livelli più alti, ossia quelli attribuiti al comune di Torino, al livello regionale ed infine a quello nazionale.

I dati dei consumi, emissioni e di tutte le altre informazioni sono espressi su base annuale in quanto l'analisi Costi-Benefici utilizza un orizzonte di tempo espresso in anni e poiché i consumi degli edifici sono espressi in questa modalità, che permette di raggruppare tutte le informazioni all'interno di un periodo chiave.

Prima di tutto si è proceduto ad analizzare il quartiere nella sua interezza, ovvero identificando i suoi confini e il numero di abitanti. Si è data anche molta importanza alla storia della zona, poiché tramite questa è stata possibile scorgere al meglio i caratteri distintivi e la situazione attuale in cui si trova il quartiere, ponendo l'attenzione su eventuali problematiche.

In seguito è illustrata la metodologia con la quale è stata individuata la situazione corrente per ogni settore coinvolto nell'analisi.

4.2.1.1. Edifici

Come specificato nel paragrafo riguardante gli strumenti utilizzati, per il settore degli edifici è stato necessario utilizzare Tabula e MasterClima.

Prima di tutto ciò sono stati analizzati tutti gli edifici presenti nel quartiere tramite l'utilizzo del GIS, uno strumento che raccoglie al suo interno molteplici informazioni sul territorio. Il seguente procedimento è avvenuto tramite l'ausilio del Geoportale del Comune di Torino [4] e tramite il software QGIS. In entrambi gli strumenti è stato possibile interrogare e ottenere le informazioni sugli edifici le quali sono state le seguenti:

- Destinazione d'uso
- Periodo di costruzione
- Area dell'edificio
- Perimetro dell'edificio
- Numero di piani
- Altezza dell'edificio

Da queste informazioni si è in seguito calcolato il volume riscaldato dell'edificio e il rapporto di forma. La prima suddivisione essenziale è stata quella riguardante la destinazione d'uso, poiché si sono suddivisi gli edifici residenziali dalle altre tipologie.

Non sempre erano presenti le informazioni sul periodo di costruzione, ma queste riguardavano più

che altro gli edifici non residenziali, per i quali non è stata necessaria operare una suddivisione in questi termini. I consumi in questi edifici sono infatti attribuiti in base all'attività che vi si svolge. Per gli edifici residenziali è stato opportuno ricavare più informazioni possibili poiché essi dovevano essere identificati attraverso le 32 tipologie edilizie presenti in Tabula. Si sono raffrontate le informazioni ricavate dal GIS, con quelle riguardanti gli edifici di riferimento di Tabula. Innanzitutto è presente una mancata corrispondenza tra le epoche di costruzione, perciò sono state adattate le epoche presenti nel GIS a quelle di Tabula, per avere delle date univoche.

A tutti gli edifici residenziali del quartiere è stata assegnata una delle 32 tipologie edilizie, che ha permesso di raggrupparli in cluster. Per la suddivisione però non è bastato conoscere l'epoca di costruzione, ma essi dovevano essere riferiti alla classe di dimensione edilizia. Questa operazione ha richiesto la conoscenza del rapporto di forma per ogni edificio e tramite [5] sono stati suddivisi in: casa monofamiliare (SFH), casa a schiera (TH), edificio multifamiliare (MFH) e blocchi di appartamenti (AB). Il rapporto di forma è rapporto che sussiste tra la superficie disperdente e il volume dell'edificio. La suddivisione eseguita seguendo i dati riportati in [5] non è stata sempre soddisfacente, perché in alcuni casi edifici con 1 piano erano classificati come MFH o AB, perciò a questi è stata assegnata la categoria case a schiera. Questo problema può essere dovuto al fatto che gli edifici presenti in questo quartiere sono uno addossato all'altro e per cui il rapporto di forma può essere molto basso anche per le case singole.

Per ognuno dei cluster individuato si è ricavata l'area totale, che servirà per associare a questa il valore dei consumi degli edifici di riferimento di Tabula. Per determinare i consumi degli edifici di riferimento è stato necessario modellarli in MasterClima per diversi motivi. Il primo è dovuto al fatto che i consumi presenti in Tabula sono stati calcolati con la normativa precedente, e in quella attuale sono cambiati alcuni valori, come i fattori di emissione di energia primaria. Il secondo è dovuto al fatto che in Tabula non sono presenti edifici teleriscaldati. Il terzo è dovuto al fatto che i modelli dello stato di fatto sono stati in seguito utilizzati per apportare le misure di retrofit e valutare la differenza dei consumi e prestazioni ambientali.

Prendendo più nel dettaglio questi singoli casi si può dire che per il primo, nonostante la modifica dei valori della normativa, il fabbisogno energetico dell'edificio rimane invariato, per cui nei modelli creati con MasterClima si è potuto utilizzare questo valore di Tabula come riferimento per verificare la corretta modellazione. Infatti i modelli richiedono un gran numero di informazioni che in alcuni casi è stato necessario inserirle verificandole man mano.

Il secondo punto è dovuto alla presenza del teleriscaldamento nel quartiere, per cui è stato necessario inserire questa tipologia d'impianto modellando inizialmente gli edifici di riferimento come presenti in Tabula. Verificato che il fabbisogno energetico corrispondeva con quello di Tabula si è proceduto a modificare il sistema d'impianto ed ottenere così i nuovi consumi.

Creati i modelli si sono ricavati i consumi termici legati a riscaldamento e all'acqua calda sanitaria, espressi in kWh/m² e moltiplicati per le aree dei cluster del quartiere.

Oltre ai consumi termici si sono stimati anche quelli elettrici, sia degli usi comuni che delle singole abitazioni. I consumi legati agli usi comuni sono quelli degli ascensori e dell'illuminazione

del vano scale. Anche in questo caso si sono ricavati dei consumi in modo parametrico per piano così da moltiplicarli per il numero di piani totali. Per gli ascensori si sono utilizzati i dati presenti in questo studio [6], mentre per l'illuminazione si è ipotizzato che per ogni piano fossero presenti due lampadine da 40 W accese per 4200 ore l'anno.

Per i consumi elettrici all'interno delle abitazioni sono stati utilizzati i dati ISTAT [7] ed identificati i singoli consumi per apparecchiatura, in quanto nelle misure di trasformazione saranno modificati degli elettrodomestici e l'illuminazione. Per conoscere i consumi medi, innanzitutto è necessario conoscere la percentuale di persone che possiede tale elettrodomestico, per ricavare un consumo medio per famiglia che corrisponde ad una abitazione. Per l'illuminazione interna si sono utilizzati i dati presenti in uno studio ENEA [8]. Non essendo a conoscenza del numero di appartamenti totali si sono utilizzati i dati ISTAT pro capite dei consumi elettrici e sono stati moltiplicati per il numero di abitanti per ricavare i consumi elettrici delle abitazioni su tutto il quartiere.

In questo settore si sono ricavati i consumi termici ed elettrici e le emissioni di CO₂.

4.2.1.2. Acqua

L'utilizzo efficiente di questa risorsa è uno degli obiettivi di sviluppo sostenibile ed è perciò stato incluso nell'analisi. Per determinare i consumi di acqua degli edifici si è applicato un procedimento analogo a quello dei consumi elettrici. Si è quindi ricavato il valore dai dati ISTAT [9] del consumo in m³/anno pro capite ed è stato convertito in litri/giorno. Poiché nelle misure di trasformazione si apporteranno delle modifiche ad alcuni sistemi che utilizzano l'acqua si sono ricavati i singoli consumi per ogni servizio utilizzando dei dati percentuali.

4.2.1.3. Illuminazione pubblica

I consumi dell'illuminazione sono associati al numero di ore di accensione e alla tipologia di lampada utilizzata. Per conoscere i consumi complessivi del quartiere sono quindi stati ricavati il numero totale di punti luce, ricavando tramite google maps la distanza che intercorre tra un lampione e l'altro per le diverse tipologie di strade, ossia nelle strade urbane interquartiere, di quartiere e locali. La distanza totale delle strade è stata divisa per la distanza media dei lampioni e si sono ottenuti i punti luce totali. Per conoscere la tipologia di lampade utilizzate si sono utilizzati i dati del Piano Regolatore dell'Illuminazione Comunale [10]. Tuttavia a Torino è stata avviata la transizione verso l'utilizzo di lampade a LED per questo settore, per cui è stata eseguita un'indagine sul posto per verificare dove fossero già state sostituite le lampade. Il numero di ore di accensione è stato ricavato dal TAPE [11].

In questo settore si sono ricavati i consumi elettrici e le emissioni di CO₂.

4.2.1.4. Trasporti

In questo settore sono stati considerati sia i trasporti pubblici che privati. Si è prima di tutto

analizzato i servizi pubblici presenti, ossia metropolitana, linee del tram, linee del bus, presenza di stazioni di bike sharing e car sharing elettrico. Per i trasporti pubblici ci si è focalizzati solamente sugli autobus. Sono state individuate le linee che passano all'interno del quartiere e ai margini. Conoscendo il percorso effettuato è stato ricavato il numero di chilometri percorsi. Questo dato è stato successivamente moltiplicato per il numero di passaggi, calcolato secondo gli orari di fine e inizio servizio e la frequenza dei passaggi, per determinare i chilometri percorsi giornalmente, ed in seguito annualmente. I consumi di carburante e le emissioni sono state ricavate moltiplicando i chilometri percorsi con il consumo medio di carburante secondo la tipologia di mezzo e l'emissione media di CO₂ e PM₁₀ allo stesso modo. Le informazioni sono state ricavate da [12] e [13].

Il numero di auto private è stato ricavato moltiplicando il dato di possesso dell'auto nel territorio torinese con il numero di abitanti insediati nel quartiere. La tipologia di macchina presente è stata adattata da questo documento [14], che si riferisce a tutto il comune di Torino, al solo quartiere di San Salvario. Anche per il trasporto privato per conoscere consumi ed emissioni si sono stimati i chilometri percorsi annualmente, utilizzando i dati presenti in [13]. I consumi e le emissioni medie sono state ricavate da dati elaborati dall'ISPRA.

4.2.1.5. Rifiuti

Per il seguente settore l'analisi è stata condotta in modo simile al settore dei trasporti. Si è esaminata la tipologia di raccolta presente attualmente nel quartiere e si sono stimati i chilometri percorsi giornalmente. Si sono ricavati il numero di passaggi settimanali dei mezzi di raccolta e si è quindi ottenuto i chilometri percorsi settimanalmente dai mezzi, ed infine sono stati calcolati su base annuale. Ai mezzi è stata associato un determinato consumo di carburante ed emissioni di CO₂ e PM₁₀. Inoltre grazie alla collaborazione dell'Amiat, l'azienda che gestisce la raccolta dei rifiuti nel territorio torinese, è stato possibile conoscere il numero di mezzi impiegati nel quartiere.

4.2.2. Misure di trasformazione

Le misure di trasformazione sono state definite analizzando gli obiettivi definiti dall'Unione Europea per uno sviluppo sostenibile, indagando quelle che la città di Torino si è prefissata di conseguire e attraverso l'analisi di quelle attuate nei casi studio degli eco-quartieri. Per ognuno dei settori sono state proposte diverse misure, ad esclusione dell'illuminazione pubblica in cui se ne è analizzata una soltanto.

4.2.2.1. Edifici

La modifica degli edifici ha riguardato sia l'involucro che il sistema d'impianto. Dai modelli creati per lo stato di fatto, tramite MasterClima, è stato possibile crearne di nuovi in cui fossero inserite le modifiche. La metodologia di come sono stati creati i modelli è già stata spiegata

nello stato di fatto. Questi modelli sono stati duplicati in modo da crearne di nuovi con le stesse caratteristiche e modificando solo i dati necessari. La modifica degli edifici può essere suddivisa in due azioni: gli edifici in cui è stato modificato solamente la parte impiantistica e gli edifici in cui è stato modificato l'involucro e gli impianti.

La modifica dell'involucro non è stata attuata in tutti per due motivi: la modifica dell'involucro negli edifici realizzati precedentemente al 1945 comporta una serie di problemi dal punto di vista estetico, infatti questi hanno dei valori storici artistici che è bene preservare. Il secondo motivo riguarda gli edifici realizzati dopo il 2005 che presentano delle caratteristiche energetiche già elevate, per cui non necessitano degli interventi da questo punto di vista.

Gli interventi sull'involucro previsti riguardano due livelli di retrofit, come è presente in Tabula, uno standard e uno avanzato. Non sono stati utilizzati gli stessi valori poiché sono relativamente vecchi e ne sono stati introdotti di più restrittivi. Sono quindi stati utilizzati quelli del regolamento edilizio della città di Torino [15].

Trasmittanza termica U (W/m ² K)	1° livello	2° livello
Copertura	0,23	0,15
Solai verso sottotetti non abitabili, verso ambienti non riscaldati	0,26	0,17
Pareti esterne	0,25	0,15
Serramenti	1,5	1,2
Pareti verso ambienti riscaldati a temperatura inferiore o non riscaldati	0,3	0,2
Sistema edificio terreno per solai orizzontali sul suolo e solai su pilotis	0,23	0,15

Per la parte impiantistica invece si è ipotizzato che il teleriscaldamento venga esteso a tutto il quartiere, dato che è un intervento già programmato dal Comune ed esso dovrebbe coprire l'intera area di San Salvario entro il 2021. Il teleriscaldamento è quindi applicato sia nei modelli che non subiscono la modifica dell'involucro che in quelli del livello standard e avanzato. Al livello avanzato è stato applicato un ulteriore caso in cui si è ipotizzato l'installazione dei pannelli fotovoltaici su tutte le tipologie di edifici, ma con diverse soluzioni per quelli realizzati prima del 1945.

Le misure di retrofit dell'involucro e l'installazione dei pannelli sono state programmate secondo tre diversi livelli di copertura degli edifici, ossia 50%, 70% e 100%.

Per i consumi elettrici si è deciso di sostituire le lampadine presenti all'interno delle abitazioni, con quelle a LED. L'utilizzo del fotovoltaico non comporterà la copertura dei consumi elettrici interni alle abitazioni, ma soltanto quelli degli usi comuni.

La produzione di elettricità da fotovoltaico è stata determinata sempre da MasterClima identificando una produzione in kWh a seconda dei m² di pannelli installati sul tetto, che

corrispondono negli edifici di riferimento a metà della copertura. Per rapportare tale produzione al quartiere è bastato dividere per due la superficie totale delle coperture.

4.2.2.2. Acqua

Per questo settore sono stati studiati i diversi sistemi che permettono una riduzione dei consumi di questa risorsa. Sono state identificate quattro azioni totali e sono state create tre diverse misure. La prima prevede l'utilizzo di riduttori di flusso per i rubinetti associato all'installazione di vaschette per wc a doppio scarico, la seconda prevede l'ulteriore utilizzo di acqua piovana e la terza l'ulteriore utilizzo di elettrodomestici ad alta efficienza che permettono di risparmiare sia acqua che energia elettrica.

Per ognuno di questi sistemi è stato studiato la riduzione dei consumi, in litri e l'eventuale consumo di energia elettrica.

Sono stati calcolati i litri di acqua necessari a soddisfare la domanda dell'intero quartiere e per determinare la diminuzione è stato effettuato un calcolo per abitante tramite la percentuale di riduzione dei consumi.

Per la misure dell'acqua piovana è bene che si analizzi meglio questo sistema.

La raccolta dell'acqua piovana è una delle strategie, riconosciuta ormai da molti Paesi ed incorporata nelle agende politiche, che permette di raggiungere una maggiore sostenibilità urbana, grazie all'utilizzo di un'alimentazione idrica alternativa rispetto all'acqua potabile. L'acqua potabile infatti è una risorsa naturale limitata e a rischio estinzione, che viene utilizzata per usi domestici anche laddove non è richiesta la sua potabilità. Infatti per lo scarico del wc, i lavaggi in lavatrice e per gli usi irrigui ed esterni non è richiesta acqua potabile, ed è perciò in questi servizi che può essere integrato un sistema di raccolta delle acque meteoriche.

Per dei valori di consumo di 200 litri al giorno per persona il risparmio di acqua potabile potrebbe essere più della metà tramite l'utilizzo di acqua piovana¹. L'utilizzo dell'acqua meteorica riduce l'impatto ambientale delle acque urbane, rendendo più efficiente la gestione delle risorse idriche.

La fattibilità dell'installazione di tale sistema risiede principalmente nella considerazione dei costi e dei benefici, mentre rimangono in secondo piano le questioni relative all'accettabilità pubblica e alla qualità dell'acqua [16].

Sono stati anche analizzati dei casi studio dove la raccolta viene effettuata alla scala del quartiere e non solo nel singolo edificio.

In [16] è stato svolto uno studio per determinare a che scala (edificio o quartiere) e in che tipologia di intervento (nuova costruzione o retrofit) sia più economicamente vantaggioso installare un sistema di raccolta di acqua piovana per coprire la domanda di acqua per le lavatrici. Il beneficio principale considerato è all'interno di questo studio è il risparmio legato alla sostituzione dell'acqua potabile con acqua piovana. In esso viene considerato il prezzo **1 Per i soli servizi in cui è previsto l'utilizzo di acqua non potabile e ipotizzando che l'acqua piovana copra al 100% la domanda di acqua.**

della fornitura di acqua potabile e la quantità di acqua piovana consegnata. Sono presenti due scenari per il prezzo dell'acqua, uno con il prezzo attuale medio (in Spagna il prezzo dell'acqua è inferiore al prezzo medio europeo) e l'altro pari ad un possibile prezzo futuro dell'acqua potabile (4€/m³) a causa della scarsità di acqua e all'aumento dei costi.

Alla scala dell'edificio i costi sono concentrati maggiormente nel sottosistema di stoccaggio, mentre alla scala del quartiere riguardano più che altro il sottosistema di raccolta.

Il confronto alle diverse scale è stato effettuato applicando i casi dei singoli edifici a tutto il quartiere, per permettere un confronto sulla stessa dimensione. I risultati mostrano che nessuna delle strategie è efficiente in termini di costi se si considerano i prezzi nazionali dell'acqua ed inoltre al livello dell'edificio le entrate non compensano mai i costi, indipendentemente dal prezzo dell'acqua. Perciò la scala con la migliore fattibilità economica risulta essere quella del quartiere, quando vengono applicati i costi maggiorati per l'acqua. In tutti i casi però non si hanno dei benefici netti e il periodo di rimborso è nullo o estremamente lungo (minimo 27 anni). Gli autori perciò sottolineano l'importanza di includere anche altri benefici extra monetari, perché l'utilizzo di sistemi di raccolta dell'acqua piovana e la diminuzione dello sfruttamento dell'acqua potabile, deve andare al di là del mero beneficio economico ed iniziare ad essere considerata come un buona pratica ambientale.

L'implementazione di questi sistemi nel territorio italiano potrebbe risultare sfavorevole in termini di costi e benefici, poiché il costo medio dell'acqua potabile in Italia è inferiore a quello di altri paesi, come ad esempio quello della Spagna, visto nell'articolo precedente. Il suo basso costo frena la realizzazione di sistemi per diminuire gli sprechi, ma nel prossimo futuro si stima che i prezzi subiranno un aumento dovuto al sempre più costoso approvvigionamento di acqua, per cui in Italia il prezzo raggiungerà i livelli medi europei.

L'impatto ambientale del ciclo di vita dei sistemi di raccolta potrebbe essere inferiore nelle aree in cui la domanda di acqua è elevata, come quartiere ad alta densità [17].

A livello urbano inoltre è possibile sfruttare le economie di scala, che rende l'implementazione di questa pratica economicamente vantaggiosa nelle aree densamente popolate e la raccolta e la distribuzione potrebbe avvenire tramite un sistema condiviso tra più edifici.

Questa pratica è stata promossa in tutto il mondo e la sua considerazione avviene in termini di costi e benefici, per determinare la fattibilità economica.

La domanda di acqua richiesta è determinata in base al numero di residenti e alla domanda di acqua richiesta dai singoli usi.

Per calcolare i litri di acqua risparmiati grazie alla raccolta di acqua piovana, si è ricavata l'acqua che può essere accumulata dai tetti del quartiere in un anno. È stato inoltre necessario calcolare il volume richiesto per il serbatoio di accumulo. Per il quartiere si è deciso di installarli non per ogni edificio, ma per isolati, in modo che i costi siano più contenuti.

4.2.2.3. Illuminazione pubblica

Per il seguente settore si è ipotizzata una sola modifica, poiché la maggior parte del quartiere è già alimentata da lampade al LED. La misura perciò prevede la sostituzione delle lampade rimanenti con quelle a LED. La modalità di calcolo è stata la stessa utilizzata per lo stato di fatto.

4.2.2.4. Trasporti

In questo settore la volontà è quella di ridurre consumi di carburante ed emissioni. Per fare questo si sono analizzate le misure previste dal Comune di Torino. La città di Torino prosegue l'obiettivo di una modifica nel settore dei trasporti, avvalendosi di Piano Urbano per la Mobilità Sostenibile (PUMS), ovvero uno strumento per la pianificazione della mobilità che deve essere:

- Sostenibile, in termini economici, ambientali e sociali;
- Misurabile;
- Strategico, per definire linee d'indirizzo-obiettivi, azioni e misure operative.

Il suddetto piano è suddiviso al suo interno in 5 obiettivi specifici:

- Garantire e migliorare l'accessibilità al territorio;
- Garantire e migliorare l'accessibilità delle persone;
- Migliorare la qualità dell'aria e dell'ambiente urbano;
- Favorire l'uso del trasporto collettivo;
- Garantire efficienza e sicurezza al sistema di viabilità;

Partendo da quanto detto si è ipotizzato che vengano sostituiti i bus attualmente presenti con mezzi a metano ed elettrici o solamente elettrici. Per le auto private invece è previsto che aumentino le auto a zero emissioni, ossia quelle elettriche e diminuiscano quelle più inquinanti. Dato l'aumento delle auto elettriche deve aumentare anche il numero di stazioni di ricarica presenti nel quartiere. Il numero di auto per postazione di ricarica può variare notevolmente da Stato a Stato e diminuisce man mano che cresce il numero di auto elettriche. Le postazioni possono essere poste in luoghi pubblici come stazioni di servizio e aree di parcheggio, ma anche nei condomini ad uso esclusivo dei condòmini quando poste all'interno della proprietà. La Direttiva dell'Unione Europea stabilisce una postazione pubblica ogni dieci auto elettriche [18]. L'agenzia internazionale sull'energia (IEA) invece stabilisce, a livello mondiale, 8 veicoli per postazione nel 2015, modificata a 15 veicoli per postazione nel 2016, identificati in base alla media globale [19].

Torino, inoltre, è una delle città che ha aderito alla "Carta di Bruxelles", un documento che impegna le città aderenti ad attivare politiche per la promozione dell'uso della bicicletta come mezzo di trasporto abituale [20].

Il PUMS inoltre identifica una ripartizione modale differente rispetto ai trend attuali. Infatti per il futuro, si vogliono raggiungere percentuali maggiori di utilizzo dei mezzi pubblici, rispetto all'auto privata, con un incremento anche degli spostamenti in bicicletta. Nella tabella sono messi a confronto gli obiettivi stabiliti dal PUMS, dalla Regione Piemonte e dalla azienda dei trasporti pubblici operante a Torino (GTT).

Tabella 1: Ripartizione modale spostamenti

	Dati PUMS		Istat	Dati regione Piemonte			GTT	
	2008	Lungo periodo	2011	2020	2030	2050	2005	2025
Mezzi pubblici	33,50%	41,30%	26%	≥ 21%	≥ 27%	≥ 36%	16%	32%
Mezzi privati	66,50%	58,70%	57%	≤ 60%	≤ 51%(auto+moto) ≤ 75%(tradizionali) 25%("0"emissioni)	≤ 31%(auto+moto) → 0%(tradizionali) → 100%("0"emissioni)	47%	31%
Bici	7%	15%	3%	≥ 5%	≥ 8%	≥ 17%	37%	37%
Piedi			13%	≥ 14%	≥ 14%	≥ 16%		

Per questo motivo è stata prevista un'ulteriore misura in cui si prevede che ci sia un incremento del numero di autobus e una diminuzione della presenza di automobili.

4.2.2.5. Rifiuti

In questo settore sono stati ipotizzati due scenari. Uno prevede la sostituzione degli attuali mezzi di raccolta, con dei veicoli meno inquinanti, mentre la seconda modifica la modalità di raccolta, installando delle isole interrate.

Sono stati analizzati i vantaggi e svantaggi della raccolta porta a porta e tramite le isole interrate, per capire se la modifica del sistema potesse in qualche modo apportare vantaggi o meno.

Raccolta porta a porta

Questo tipo di raccolta consiste nel posizionamento, all'esterno dell'abitazione, di determinati cassonetti monomateriali in giorni prestabiliti, che verranno svuotati a domicilio dagli incaricati.

Vantaggi:

- Rapporto diretto con l'utenza che permette di avere un controllo costante sulla qualità e quantità dei rifiuti;
- Raggiungimento di soglie maggiori di raccolta differenziata rispetto alla raccolta tramite i cassonetti posti sulla strada.

Svantaggi:

- Rigidità per i giorni e orari della raccolta. Gli operatori devono rinunciare a turni di lavoro flessibili, mentre gli abitanti sono costretti a tenere il rifiuto in casa qualora non abbiano la possibilità di posizionarlo altrove;
- Maggiore intensità di lavoro manuale con conseguente aumento del rischio di infortuni e dei costi di raccolta;
- Problemi estetici di decoro urbano, dovuto alla presenza dei bidoni e sacchi della spazzatura posti lungo i marciapiedi o sulle strade;
- Maggior lentezza nella raccolta causata da frequenti fermate e lunghi tragitti, dovuto al fatto che i mezzi di raccolta devono percorrere tutte le vie.

Isole interrato

Questo tipo di raccolta permette di dividere i rifiuti in cassonetti monomateriali posti al di sotto della superficie stradale. I rifiuti vengono conferiti attraverso un cestello presente a livello stradale.

Vantaggi:

- L'utente può conferire i rifiuti in qualsiasi momento, evitando problemi di odori ed igiene in casa;
- Minori costi di raccolta dovuti al fatto che i mezzi prelevano i rifiuti solo dai cassonetti posti in determinati luoghi;
- Prelievo dei rifiuti effettuato meccanicamente;
- Controllo del corretto conferimento da parte dei rifiuti;
- Maggiore flessibilità nella pianificazione dei turni di raccolta;
- Raggiungimento di soglie maggiore di raccolta differenziata;
- Se l'utilizzo è consentito solo tramite tessera personale e quindi con riconoscimento, la raccolta differenziata potrebbe aumentare.
- Visibili solo le torrette esterne che assumono il ruolo di arredo urbano
- Maggiore capacità di stoccaggio rispetto ai cassonetti (rifiuti compattati con riduzione del volume 5:1 - 8:1) consentendo una riduzione degli svuotamenti e quindi del passaggio dei mezzi.

Svantaggi:

- Costi per la realizzazione delle isole dovuti agli scavi, al posizionamento della struttura di raccolta e per il conferimento delle tessere magnetiche ai residenti.

Da questa analisi sembra che la modifica del sistema tramite le isole interrato possa apportare dei benefici.

Per determinare il numero delle isole interrato necessarie si sono stimati i quantitativi di rifiuti prodotti, la capacità di raccolta di questi sistemi e i passaggi per la raccolta. Si è quindi deciso di non modificare la raccolta della carta, poiché richiederebbe un elevato numero di isole

interrate.

Sono stati studiati anche dei casi reali per analizzare al meglio questo sistema.

Firenze

Il comune di Firenze ha adottato questa modalità di raccolta nel centro storico. . Ogni isola presenta 6 contenitori, 2 per la raccolta del rifiuto indifferenziato, 2 per l'organico e 2 per plastica metalli e vetro, per un totale di 67 postazioni. La raccolta della carta invece avviene sempre tramite il sistema porta a porta [21]. Inoltre queste postazioni sono dotati di un dispositivo, alimentato con energia solare, capace di analizzare la quantità di immondizia presente. Questo sistema permette di segnalare agli operatori addetti alla raccolta se è necessario il passaggio con i mezzi di raccolta o meno, riducendo così i tempi di passaggio.

Pisa

Altro comune che sta utilizzando il sistema di isole interrato è il comune di Pisa. L'introduzione di questo sistema a Pisa costituisce un caso particolare, poiché tramite gli scavi sono stati effettuati dei ritrovamenti archeologici che vanno dalla tarda epoca etrusca al XIX secolo. A causa di questi ritrovamenti è stato necessario realizzare 27 scavi per poter posizionare 22 isole. Infatti nelle postazioni dove sono stati ritrovati i resti non è stato possibile posizionare i cassonetti e quindi è stato necessario effettuarne di nuovi. Gli scavi sono stati supervisionati da una squadra di archeologi professionisti e dalla soprintendenza [22]. La realizzazione ha richiesto un tempo di 15 mesi, rallentato per l'appunto dai ritrovamenti, mentre il costo per la realizzazione ammonta a 2.5 milioni per i 22 cassonetti e 900€ per i camion.

Bologna

Le isole ecologiche sono delle ottime soluzioni da impiegare nelle aree ad alta densità abitativa e con la presenza di locali commerciali ed uffici, i quali producono un gran quantitativo di rifiuti. Infatti, prendendo come esempio il caso di Bologna, un'isola interrata con compattatore da 7 litri ha permesso la sostituzione di 10 cassonetti, con una riduzione degli svuotamenti settimanali da 150 a 5 [23].

Torino

Anche a Torino è stata avviata una sperimentazione delle isole ecologiche interrato. In totale ne sono state realizzate 9 in 5 aree, dove vengono raccolti il rifiuto indifferenziato e organico. Il conferimento dei rifiuti è limitato alle sole utenze che partecipano al progetto [24].

La raccolta differenziata attraverso l'utilizzo di isole ecologiche, diventa significativa quando i cassonetti sono dotati di un sistema di rilevamento del conferimento dei rifiuti. Infatti questa tecnologia, permette di ricollegare ad ogni utenza il quantitativo di immondizia che produce, consentendo l'applicazione di un sistema di tariffazione in base alla produzione, chiamata tariffa puntuale. Inoltre tramite il riconoscimento è possibile riconoscere e sanzionare eventuali

trasgressori che effettuano la raccolta differenziata in modo non corretto. Questo metodo è un valido alleato per disincentivare i cittadini a differenziare nel modo sbagliato, rendendo raggiungibili elevati standard di raccolta differenziata.

Nella tabella vengono riportati alcuni esempi di comuni che hanno adottato il sistema di identificazione, con la differenza della quota di raccolta differenziata raggiunta [25].

Tabella 2: Percentuale di raccolta differenziata prima e dopo l'utilizzo delle isole interraste.

	% RD	
	<i>Prima</i>	<i>Dopo</i>
Petriolo (MC)	74,7	82,4
Lissone (MB)	64,3	76
Settimo Milanese (MI)	55	65,6
Seveso (MB)	64,9	76

4.2.3. Analisi COSIMA

Conclusa la definizione delle singole misure esse devono essere raggruppate per formare gli scenari di trasformazione complessivi. Questi verranno in seguito valutati attraverso l'analisi COSIMA, per determinare l'alternativa migliore.

4.2.3.1. Scenari selezionati

Gli scenari che verranno valutati non saranno tutti quelli presenti, ma verrà selezionato solo un numero ristretto. Dovranno essere composti da una misura di trasformazione per ogni settore, in modo che si possa valutare la sostenibilità del quartiere a livello globale.

Non tutte le misure sono state previste per essere applicate in tutti i casi come mostrato nella tabella 2

Tabella 2: Numero di misure da applicare per la creazione degli scenari

Edifici	Acqua	Illuminazione pubblica	Trasporti	Rifiuti	Totale
3 Misure retrofit Standard	2 Misure	1 Misura	4 Misure	2 Misure	48
3 Misure retrofit Avanzato	2 Misure	1 Misura	4 Misure	2 Misure	48
3 Misure retrofit Avanzato + FV	3 Misure	1 Misura	4 Misure	2 Misure	72
3 Misure retrofit Avanzato + FV + sostituzione illuminazione interna	1 Misura	1 Misura	4 Misure	2 Misure	24

Il numero totale di scenari è perciò 192. Solo 16 di questi verranno esaminati.

4.2.3.2. Analisi Costi-Benefici

Per proseguire con l'applicazione dell'analisi COSIMA deve essere condotta un'analisi Costi-Benefici. L'orizzonte temporale considerato è di 30 anni, per cui devono essere identificati tutti i costi e tutti i benefici presenti all'interno di questo periodo di tempo.

I costi considerati sono stati i seguenti:

- Costo d'investimento;
- Costi operativi (manutenzione, costi operativi e costi energetici);
- Costi di sostituzione degli elementi secondo la loro durata nel periodo considerato;
- Valore residuo che il bene possiede al termine della sua vita utile.

Essi sono riferiti all'intero quartiere, perciò laddove non è prevista la modifica dello stato di fatto, verranno comunque considerati i costi di esercizio. Ad esempio nel settore dell'illuminazione, dove si modifica solo una parte dei punti luce, oppure per gli elettrodomestici che vengono sostituiti solo in determinati scenari.

Nei costi operativi sono presenti anche i costi ambientali, ovvero le emissioni di CO₂, PM₁₀ e costo esterno.

La sostituzione degli elementi è stata definita secondo gli anni imposti dalla normativa (per gli edifici) o attraverso l'analisi di situazioni reali.

Il valore residuo è invece stato calcolato con la seguente formula:

$$\text{Valore residuo} = \left[1 - \left(\frac{\text{periodo di calcolo}}{\text{vita utile elemento}} \right) \right] \cdot \text{costo investimento elemento}$$

I benefici considerati sono molteplici e alcuni sono riferiti a più settori, mentre altri possono essere utilizzati solo in settori specifici. Nella tabella 3 sono illustrati i benefici considerati e i settori a cui fanno riferimento.

Il risparmio energetico conseguito nei diversi settori riguarda la riduzione dei costi di esercizio che negli edifici sono dovuti alla modifica degli impianti, nel settore dell'acqua alla sostituzione degli elettrodomestici e in quello dell'illuminazione pubblica all'utilizzo di lampade che richiedono meno energia.

Il costo esterno è stato utilizzato solamente in quei settori in cui i consumi possono essere tutti moltiplicati tramite questo valore. Per i trasporti e i rifiuti non si avevano abbastanza dati per utilizzare questo beneficio, per cui sono stati utilizzati i costi associati alle emissioni di Co2 e PM10.

Tabella 3: Benefici e relativi settori

	Edifici	Acqua	Illuminazione pubblica	Trasporti	Rifiuti
Risparmio energetico	•	•	•		
External cost	•	•	•		
Riduzione emissioni CO ₂				•	•
Riduzione emissioni PM ₁₀				•	•
Aumento valore immobiliare	•				
Green jobs	•	•			
Riduzione sussidio disoccupazione	•	•			
Risparmio carburante				•	•
Vendita energia elettrica	•				

L'aumento del valore immobiliare è stato possibile stimarlo solamente riguardo le misure di retrofit dell'involucro e degli impianti, che permettono di aumentare la prestazione energetica dell'edificio. Infatti l'aumento è calcolato per ogni aumento di prestazione tramite un valore riferito al quartiere di San Salvario. Per ottenere il beneficio totale è stato moltiplicato il valore dell'aumento immobiliare per il numero di appartamenti per il numero di salti di classe. Il numero degli appartamenti è stato ricavato prima di tutto ricavando il numero di abitanti presenti nelle categorie SFH e TH, grazie al fatto che si conosceva il numero di abitazioni di questo tipo, le quali sono stati moltiplicati per 2,2, ossia il numero di abitanti per appartamento ricavato dall'ISTAT. Individuati questi sono stati sottratti dal numero di abitanti totali del quartiere, ricavando così il numero per le categorie MFH e AB. In seguito è stata suddivisa la superficie totale di queste categorie per il numero di abitanti, ricavando così la superficie media di appartamento ad abitante, moltiplicata per 2,2 per ottenere la superficie media di appartamento. Tale valore è risultato molto alto, per cui sono stati aggiunti 5.000 appartamenti in più.

I green jobs e la riduzione del sussidio di disoccupazione sono stati calcolati per gli edifici e per l'acqua, in quanto si è ipotizzato che per l'implementazione dei sistemi di raccolta di acqua piovana si possano utilizzare gli stessi valori utilizzati per il settore degli edifici.

In questo beneficio sono stati calcolati il numero di lavori creati e la riduzione dei sussidi di disoccupazione sia per l'investimento, e perciò per la realizzazione delle misure, che per la manutenzione.

Il risparmio di carburante è stato stimato sia per i trasporti che per i rifiuti.

In ultimo è stato valutato il rimborso economico derivante dalla vendita di energia elettrica prodotta dal fotovoltaico installato sulle coperture degli edifici.

Ogni beneficio è stato considerato in base alla differenza di costi che si sono generati rispetto allo stato di fatto.

Definiti costi e benefici questi devono essere disposti lungo l'orizzonte di tempo e vengono calcolati i flussi di cassa per ogni anno ed è valutato l'investimento tramite gli indicatori economici

analizzati nel dettaglio nel capitolo 3. Essi sono il valore attuale netto (NPV), il tasso interno di rendimento (TIR) e il rapporto costi benefici (RCB).

Questa tipologia di analisi permette di identificare l'alternativa migliore considerando unicamente costi e benefici in termini monetari.

4.2.3.3. Analisi Multi-Criteri

È già stato ampiamente spiegato che nei progetti il cui obiettivo riguarda una certa forma di sostenibilità, è bene che essi vengano valutati anche attraverso ulteriori indicatori extra-economici, che possono influenzare le scelte. In seguito è quindi stata condotta l'Analisi Multi-Criteri.

Gli indicatori considerati sono stati i seguenti:

<i>Indicatori</i>	<i>Valutazione</i>	<i>Ottimizzazione</i>
Aumento passeggeri mezzi pubblici	Quantitativa	max
Riduzione utilizzo acqua potabile	Quantitativa	max
Copertura fonti energetiche rinnovabili	Quantitativa	max
Impatto visivo	Qualitativa	max
Maturità della tecnologia	Qualitativa	max
Accettazione	Qualitativa	max

Per i criteri quantitativi sono stati identificati i valori che contraddistinguono i vari scenari. Per quelli qualitativi invece è stata utilizzata una scala che va da 1 a 5, che esprime dei valori per ognuno degli indicatori.

La normalizzazione dei valori è stata eseguita con la metodologia MAVT (Multi-Attribute Value Theory), la quale utilizza delle funzioni di valore per rappresentare i valori degli indicatori, convertiti in seguito in una scala comune che va da 0 a 1. Per ognuno di essi è stata quindi ricavata la propria funzione valore. Per i criteri qualitativi essa è sempre uguale, poiché gli indicatori sono sempre espressi con valori da 1 a 5, mentre per i criteri quantitativi si è ricercato, all'interno di normative e certificazioni di quartieri sostenibili, dei valori che potessero definire quanto un valore è preferibile rispetto ad un altro.

Per l'aumento dei passeggeri dei mezzi pubblici si è attribuito 0 agli scenari in cui non è modificato questo indicatore e 1 in quelli dove aumenta.

Per la riduzione dell'utilizzo di acqua potabile si sono ricercati, in diverse certificazioni (BREEAM, Green Mark, ITACA e LEED), dei punteggi in base alla percentuale di acqua risparmiata.

Per la copertura da fonti energetiche rinnovabili invece si è esaminata la direttiva europea sugli obiettivi di utilizzo di FER.

Per i criteri quantitativi la valutazione è stata eseguita personalmente, cercando di essere il più obiettiva possibile, utilizzando anche informazioni ricavate durante la stesura dei capitoli di questa tesi, che hanno permesso di leggere diversi articoli e di ampliare la conoscenza su come

la popolazione potrebbe reagire alla modifica imposta nel quartiere.

Nell'impatto visivo i settori coinvolti sono stati: edifici, rifiuti e trasporti. La scala di valutazione è stata la seguente:

- 1 - Molto alto
- 2 - Alto
- 3 - Moderato
- 4 - Basso
- 5 - Molto basso
-

Nella maturità della tecnologia i settori coinvolti sono stati: edifici, acqua, trasporti e rifiuti. La scala di valutazione è stata la seguente:

- 1 - La tecnologia in esame è stata testata solo in laboratorio;
- 2 - la tecnologia è stata testata solo in progetti pilota;
- 3 - la tecnologia può essere ancora migliorata;
- 4 - La tecnologia ha una posizione solida nel mercato locale;
- 5 - La tecnologia è matura e hanno un posto solido nel mercato internazionale.

Nell'accettazione i settori coinvolti sono stati: edifici, acqua, trasporti e rifiuti. La scala di valutazione è stata la seguente:

- 1 - Accettazione molto bassa
- 2 - Accettazione bassa
- 3 - Indifferente
- 4 - Accettazione abbastanza alta
- 5 - Accettazione totale

Normalizzati i valori ad ogni criterio deve essere attribuito un peso, che valuta quanto è importante un criterio. È stato condotto un questionario che ha coinvolto esperti di diversi settori, permettendo così di avere una valutazione da più punti di vista. Gli esperti sono stati: energetico, pubblica amministrazione, ambientale, economico e uno del settore dei rifiuti. È stato richiesto di ordinare i criteri in ordine di importanza, da quello più importante a quello meno. Ad essi è stato in seguito attribuito un peso grazie alla tecnica ROC (rank order centroid).

Definiti i pesi e i valori dei criteri, questi sono combinati assieme per ricavare l'alternativa migliore. Prima sono espressi confrontando le alternative rispetto ai pesi attribuiti dai singoli esperti ed in seguito viene individuato il valore medio.

4.2.3.4. Unione dei risultati

Individuata l'alternativa migliore da entrambi le analisi si verifica quale sia l'alternativa migliore

dalla combinazione delle due. In seguito è stata valutata l'alternativa migliore, prima sempre secondo il parere dei diversi esperti e dopo secondo il risultato medio. In questo modo è possibile verificare la robustezza dell'alternativa migliore.

CASO STUDIO

5

Analisi del quartiere

5. Analisi del quartiere

In questo capitolo si procederà ad applicare la metodologia vista fino ad ora in un caso studio reale: il quartiere di San Salvario a Torino. L'obiettivo di questa parte della tesi, verte sull'utilizzo di un sistema di valutazione per il confronto di diversi scenari di trasformazione del quartiere. Essa permetterà di considerare al suo interno, non solo la riduzione dei consumi, ma anche gli impatti che le diverse misure di efficienza energetica, per la creazione di un quartiere più sostenibile, possono generare.

L'ambito di applicazione, come già specificato precedentemente, riguarda l'intero sistema urbano di cui si compone un quartiere, e comprende: edifici, mobilità, illuminazione pubblica, gestione dei rifiuti e dell'acqua.

L'analisi è strutturata secondo diverse fasi. Prima di tutto viene presentata l'area del caso studio, analizzando le sue caratteristiche. In questa parte, gli elementi che concorrono alla trasformazione, vengono descritti secondo il loro stato di fatto, per poter delineare i consumi e le emissioni del quartiere.

Conclusa questa prima fase, è possibile fissare delle misure di intervento, che modifichino i settori interessati, per proseguire l'obiettivo di uno sviluppo più sostenibile che contribuisca al processo di de-carbonizzazione delle città. Questi interventi saranno confrontati successivamente con lo stato di fatto. Con questa operazione è infatti possibile effettuare un raffronto tra lo scenario originario e le modifiche apportate, in termini di consumi energetici ed emissioni. Le misure di efficienza energetica, verranno scelte secondo una visione coerente per la creazione di un quartiere più sostenibile. Esse perciò dovranno essere in linea con gli obiettivi e le azioni fissate dal processo di de-carbonizzazione europea, o quelle che sono state stabilite per la città di Torino, quando presenti. La scelta delle misure è anche passata dall'approfondimento di casi studio reali di eco-quartieri, in cui vengono applicati determinati interventi per la riduzione di consumi ed emissioni.

Una volta conclusa la valutazione energetica si rivolge l'attenzione a quella composta di benefici e criteri. In questa valutazione, le misure di ogni settore dovranno essere raggruppate a formare degli scenari complessivi di trasformazione (una misura di intervento per ogni settore). La seguente analisi però non verrà condotta su tutti i possibili scenari, ma riguarderà solo quelli più significativi. In questa parte verranno perciò valutati i costi di intervento e i benefici connessi agli scenari selezionati. I benefici inclusi nell'analisi saranno espressi in termini monetari, mentre i criteri selezionati saranno espressi in termini extra-monetari. In seguito si procederà alla valutazione e confronto degli scenari tramite l'analisi COSIMA.

5.1. Il quartiere di San Salvario

Il quartiere di San Salvario sorge in prossimità del centro storico di Torino, a sud-est della città, e i suoi confini fisici sono delimitati da:

Corso Vittorio Emanuele II a nord;
Corso Bramante a sud;
Fiume Po ad est;
Tratto ferroviario Torino-Genova, lungo via Nizza, ad ovest.

Il quartiere, sviluppato intorno alla metà dell'800 in seguito alla demolizione della cinta muraria, nasce come zona residenziale dove vi si insediò la borghesia torinese. Al suo interno è presente una rete viaria regolare, che mantiene la pianta ortogonale tipica delle antiche città romane. Torino infatti, sorta nella seconda metà del I secolo a.C., nasce come castrum romano e da qui si deve la sua conformazione che viene estesa anche alle altre parti della città, man mano che essa cresceva. Nel '900 l'immagine di Torino e del quartiere iniziano a mutare in seguito all'implementazione delle industrie e alla nascita della FIAT, che attraeva la popolazione e che causò una crescente domanda abitativa. Nel quartiere iniziano a sorgere fabbriche, come il primo stabilimento Fiat, in corso Dante, e piccole e medie imprese realizzando una mixité funzionale, originata dall'integrazione di diverse attività che convivono tra di loro (residenza, università, commercio, ospedali, il mercato, luoghi di culto e spazio verde per il tempo libero). Intorno agli anni 60' 70', San Salvario subisce una rapida espansione in seguito al boom economico che porta ad un'ondata di immigrazione della popolazione del sud Italia che vi si trasferisce per lavorare nelle industrie della città. La crescente domanda abitativa è associata alla costruzione di nuovi edifici, in contrasto con quelli di pregio dove vi risiedeva la borghesia, che dovevano accogliere una popolazione eterogenea per status socioeconomico. Alla fine degli anni '80 il quartiere - in particolare l'area attigua alla stazione ferroviaria di Porta Nuova - diventa il luogo prescelto per l'insediamento dei migranti extracomunitari. Queste migrazioni hanno cambiato il volto del quartiere, conferendone la caratteristica multi-etnica, presente tutt'ora.

Con il tempo, quindi, il quartiere si è trasformato da una zona borghese, a una di approdo per i migranti, assumendo negli anni 90' l'idea comune di un quartiere degradato, a causa della crisi delle industrie e dalla presenza della popolazione straniera alla quale era associata una mentalità priva delle regole del buon vivere, diventando agli occhi di molti un "ghetto" e zona di microcriminalità [1].

La volontà di riqualificare il quartiere era già stata avviata in passato, nel 1999, sostenuta dalla città, che vede nascere l'Agenzia per lo Sviluppo Locale di San Salvario, volta a modificare l'immagine a cui era associato e valorizzando le risorse presenti [2]. Infatti negli anni 2000 l'immagine è cambiata ancora, per la comparsa di numerosi spazi per la vita notturna che attirarono persone giovani sia per vivere che per lavorare, rendendo il quartiere vivo ed interessante, cercando di scostarsi dalla cattiva reputazione che gli era stata affibbiata [3].

Oggi il quartiere presenta un'elevata densità edilizia e demografica -i terreni furono sfruttati al massimo consentito- e numerose attività commerciali, legate soprattutto alla ristorazione. Gli abitanti residenti sono 39.673 distribuiti su una superficie di 232 ettari, di cui 42 relativi al Parco del Valentino.

Proprio per la sua caratterizzazione antica e per la vicinanza al centro della città, questo

distretto è visto come un'opportunità per delle azioni di efficienza energetica che riguardano più settori, per la creazione di un Post-Carbon District. L'International Energy Agency, l'Energy Center del Politecnico di Torino e la città di Torino hanno espresso un forte interesse per la trasformazione sostenibile del quartiere.

In seguito viene quindi analizzato lo stato di fatto.

5.1.1. Definizione dello stato di fatto

La definizione dello stato di fatto di ciascun elemento è un'operazione necessaria per avere uno scenario di riferimento base da cui poter mettere a punto delle misure di efficienza energetica. In seguito le misure verranno rapportate con lo stato originario per identificare la riduzione dei consumi e delle emissioni alla scala del quartiere e procedere all'identificazione e alla valutazione dei benefici e degli impatti che esse possono apportare.

Come già specificato, le azioni scelte saranno individuate analizzando le strategie proposte dall'Unione Europea in ambito di de-carbonizzazione, casi studio reali e strategie proposte dal Comune di Torino. In questo modo le azioni che verranno predisposte, non saranno utopiche, ma potrebbero essere realmente realizzabili, per un possibile futuro sviluppo del quartiere in esame. Inoltre potranno essere anche replicate all'interno di altri quartieri, in quanto si fa riferimento ad azioni sviluppabili anche in altri contesti.

La definizione dello stato di fatto sarà in seguito suddivisa analizzando settore per settore tramite la raccolta dei dati.

5.1.1.1. Edifici

La definizione dello stato di fatto degli edifici consiste nella valutazione dei loro consumi. Questa operazione è effettuata tramite l'utilizzo di edifici di riferimento a cui verranno attribuiti determinati fabbisogni energetici per calcolare i consumi totali del quartiere. Dato il vasto numero di edifici che la scala del quartiere implica, è necessario raggrupparli in un numero ristretto di classi secondo determinate caratteristiche comuni e a cui saranno attribuite delle performance energetiche. Le classi in cui verranno suddivisi gli edifici residenziali saranno quelle presenti nel progetto Tabula, che rappresentano lo stock edilizio del Paese e a cui sono già stati attribuiti dei consumi energetici.

Per procedere alla suddivisione in classi degli edifici del quartiere e calcolare i consumi totali, è necessario analizzare le loro caratteristiche. Questo procedimento, è avvenuto tramite l'ausilio del Geoportale [4] del Comune di Torino, un'infrastruttura di dati geografici, che permette di reperire, in modo gratuito, e a chiunque ne sia interessato, informazioni territoriali ed ambientali. Dal momento che non era possibile ottenere i disegni tecnici degli edifici, l'utilizzo di questo servizio è stato basilare ed ha reso più efficiente e semplice la raccolta dei dati, poiché erano tutti raggruppati all'interno di questa unica fonte.

Le informazioni che si sono estratte, per ogni singolo edificio, sono state le seguenti:

- Destinazione d'uso
- Periodo di costruzione
- Area dell'edificio
- Perimetro dell'edificio
- Numero di piani
- Altezza dell'edificio
- Volume riscaldato

Tramite queste informazioni è stato quindi possibile apprendere le caratteristiche che vanno a delineare gli edifici del quartiere.

La destinazione d'uso classifica gli edifici in residenziali e non residenziali. Gli edifici non residenziali che si trovano all'interno del quartiere appartengono a queste categorie: commerciale, scuole, università, uffici, servizio pubblico, amministrativo, luoghi di culto, ospedali, case di cura, cliniche, attività ricettive, palestre, piscine, edifici sportivi, industriale e ferroviario e vengono mostrati nella figura 1.

Il quartiere è ricco di esercizi commerciali che si sviluppano non solo in edifici a sé, ma anche al piano terra degli edifici la cui destinazione d'uso principale è quella residenziale.

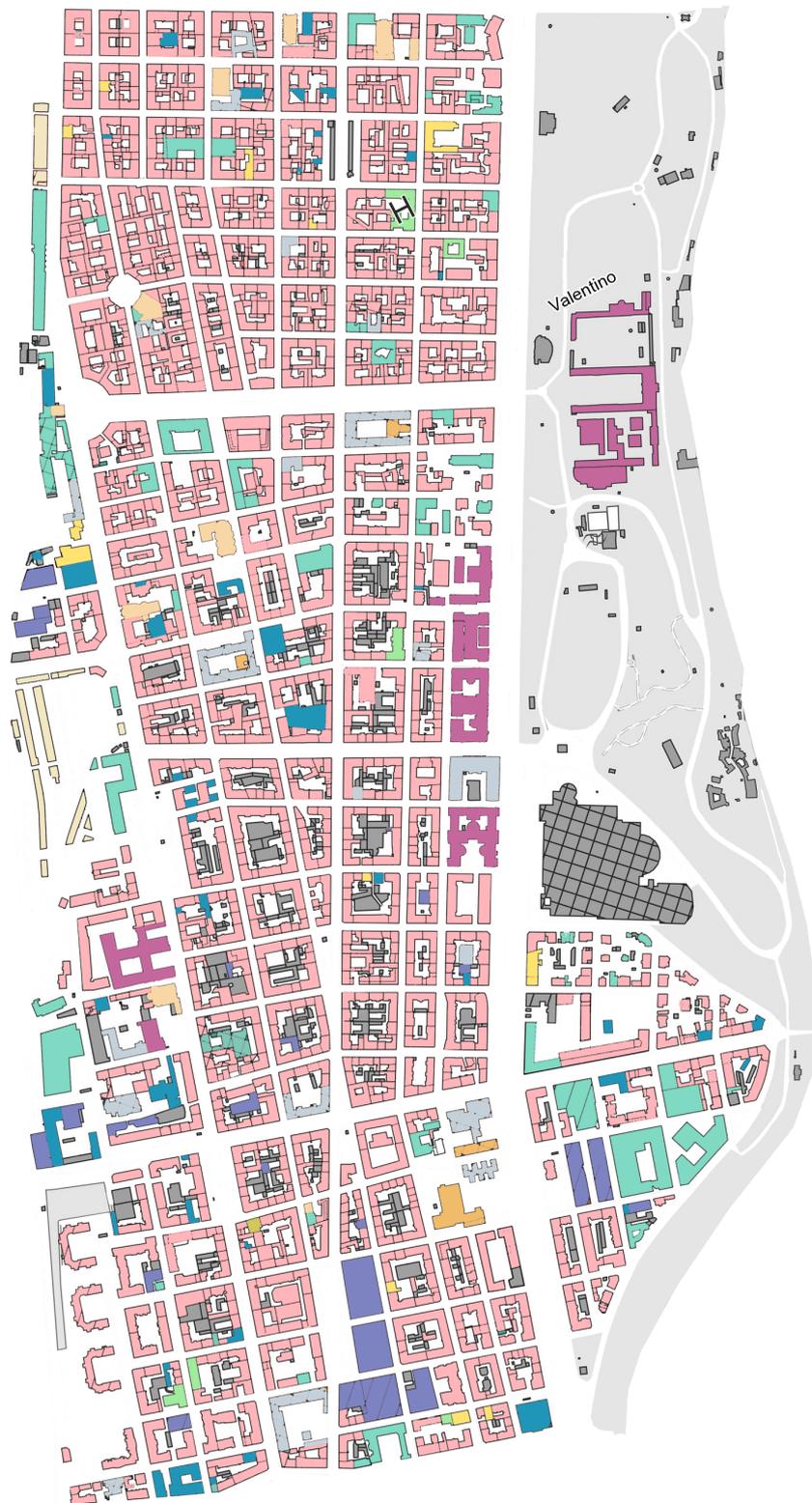
Partendo dall'utilizzo del Geoportale si è potuto conoscere dove risiedevano queste attività, come mostrate nella figura 1 e rappresentate tramite un puntino. Dove è presente questo simbolo viene attribuito a tutto il piano terra la funzione commerciale. La superficie totale dei piani terra degli edifici interessati, è stata sottratta a quella residenziale. Infatti non sarebbe corretto, per il calcolo dei consumi del quartiere, considerare questa parte come abitazione; ed inoltre, come verrà spiegato in seguito, l'eliminazione di un piano negli edifici residenziali, potrebbe influenzare la loro classificazione.

Nella tabella 1, vengono mostrate le superfici totali di ogni destinazione d'uso individuata all'interno di San Salvario.

Tabella 1. Superficie totale degli edifici secondo la destinazione d'uso

	Uffici	Ospedali, cliniche, case di cura	Attività ricettive	Scuole	Università	Commerciale
Superficie [m ²]	218.739	26.154	32.374	67.439	73.248	285.759
	Residenziale	Luoghi di culto	Impianti sportivi	Ferroviano	Industriale	
Superficie [m ²]	2.459.241	17.459	9.124	2.155	67.610	

Figura 1. Destinazione d'uso edifici



- | | | | |
|---|--|--|--|
| ■ Uffici, servizio pubblico, amministrazione | ■ Scuole | ■ Residenziale | ■ Ferroviari |
| ■ Ospedali, case di cura, cliniche | ■ Università | ■ Luoghi di culto | ■ Industriale |
| ■ Attività ricettive | ■ Commerciale | ■ Impianti sportivi | |

Per la classificazione degli edifici non residenziali è superfluo conoscere l'epoca di costruzione, poiché come già detto, i consumi sono attribuiti in base all'attività svolta. Per questi edifici era quindi sufficiente conoscere la superficie, che è stata ricavata estrapolando, per ogni edificio, le informazioni sul Geoportale riferite al numero di piani, altezza dell'edificio e l'area. Da questi dati si è quindi calcolata l'area totale ed il volume riscaldato.

Per gli edifici residenziali la suddivisione invece richiede maggiori dettagli, per poter attribuire a ciascun edificio l'appartenenza ad una delle classi di Tabula. Queste classi sono identificate in base all'epoca di costruzione e alla classe di dimensione edilizia, dove quest'ultima varia a seconda delle caratteristiche geometriche.

A questo punto si procede ad analizzare gli edifici residenziali per reperire le informazioni necessarie, atte ad assegnare ad ogni singolo edificio una delle 32 classi di Tabula.

Come già specificato, le classi hanno come caratteristica principale, la suddivisione secondo l'epoca di costruzione. Questo dato è stato ricavato dal Geoportale e distingue gli edifici secondo le seguenti classi di epoca censuarie:

1900	1900	1919	1946	1961	1971	1981	1991	2001	2006
	1918	1945	1960	1970	1980	1990	2000	2005	

In alcuni casi il Geoportale [4] era privo delle indicazioni relative all'epoca di costruzione. Dunque, si sono ipotizzate prendendo come riferimento gli edifici dove essa era nota e paragonando le caratteristiche estetiche di essi con quelli ignoti. Agli edifici che presentavano caratteristiche simili a quelli noti, è stata attribuita la stessa epoca costruttiva.

Completata questa operazione si è passati ad analizzare gli edifici secondo le altre informazioni mancanti, utilizzate in precedenza anche per gli edifici non residenziali. Esse sono state ricavate come descritto. Il numero di piani e l'altezza dell'edificio erano dei dati già definiti, ottenibili semplicemente selezionando l'edificio interessato, come avveniva anche per la destinazione d'uso e il periodo di costruzione. Per quanto riguarda le voci mancanti, ovvero area e perimetro dell'edificio, si sono acquisite con un metodo indiretto, ovvero tramite gli strumenti "area" e "righello", messi a disposizione nel programma. Il volume riscaldato è stato invece calcolato per mezzo della formula area per altezza.

Nonostante il Geoportale fornisse numerose informazioni, c'è stata l'esigenza di avanzare alcune ipotesi. Infatti, a Torino, sono presenti una grande quantità di portici che percorrono anche alcune parti del quartiere interessato. Perciò, serviva conoscere l'altezza di questi, per poter sottrarre il loro volume da quello totale ed ottenere il volume effettivamente riscaldato. Questo è stato utilizzato per ricavare il rapporto di forma, la cui funzione verrà resa nota in seguito.

Dopo aver concluso questo primo passo di identificazione di tutti gli edifici presenti nell'area di studio, si è proceduto a raggrupparli in cluster, secondo caratteristiche omogenee, per poter

attribuire ad ogni gruppo dei consumi medi unitari.

L'utilizzo di dati medi è dovuto al fatto che non è stato possibile ricavare i consumi reali degli edifici, in quanto non erano disponibili. Inoltre, avendo a che fare con un vasto numero di edifici, sarebbe stato difficile, se non impossibile, andare ad analizzare gli edifici uno per uno, sia per l'elevata quantità di tempo che questa operazione richiedeva, che per la mole di dati necessari.

Per la suddivisione in cluster degli edifici ci si è avvalsi del progetto Tabula, che raccoglie le informazioni riguardanti gli edifici residenziali tipo, riferiti al contesto italiano.

Come descritto precedentemente, essi sono suddivisi in 32 classi, secondo epoca e classe di costruzione, ed ad ognuno di essi sono associati determinati consumi energetici di riscaldamento e acqua calda sanitaria. I periodi di costruzioni che sono stati trovati sul Geoportale e che sono stati utilizzati per definire gli edifici, sono stati dunque rapportati alle epoche di costruzione definite da Tabula e sono le seguenti:

Prima del	1901	1921	1946	1961	1976	1991	dopo
1900	1920	1945	1960	1975	1990	2005	2005

Confrontando queste date, con quelle del Geoportale, si può notare che esse non sono del tutto coincidenti. Pertanto, si è cercato di ridistribuire le date di epoca censuaria secondo quelle di Tabula, come mostrato nella tabella 2.

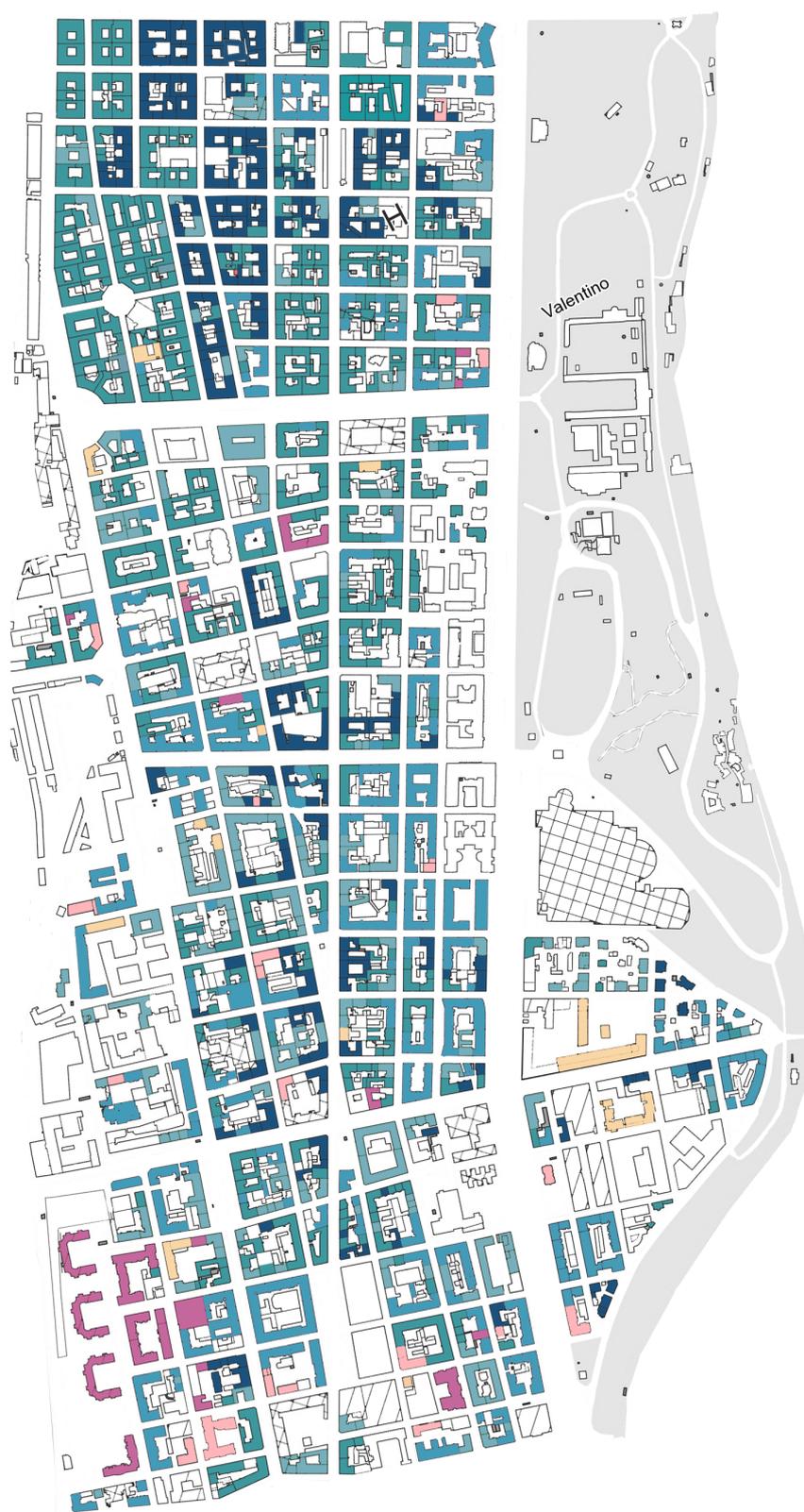
Tabella 2. Raffronto delle classi di epoca di costruzione del Geoportale e di Tabula.

<i>Geoportale</i>	<i>Tabula</i>
1900	Prima del 1900
1900-1918	1901-1920
1919-1945	1921-1945
1946-1960	1946-1960
1961-1970	1961-1975
1971-1980	-----
1981-1990	1976-1990
1991-2000	1991-2005
2001-2005	
2006	dopo 2005

La differenza di questa classificazione è causata dal fatto che Tabula non utilizza le epoche censuarie, come visto sul Geoportale, ma suddivide le epoche secondo le tecniche costruttive dei vari periodi, che coincidono ad esempio con l'attuazione di normative sulle modalità di costruzione o nuove conoscenze tecniche.

Nella Figura 2, vengono identificati gli edifici del quartiere secondo le epoche di costruzione di Tabula. La parte più antica del quartiere, è quella posta a ridosso della stazione ferroviaria

Figura 2. Classificazione edifici secondo l'epoca di costruzione



di Porta Nuova, anche chiamata “quadrilatero”. Il quartiere è mediamente costituito da edifici relativamente datati, per cui è già possibile individuare un grande margine di miglioramento dei consumi e delle emissioni in seguito alle misure di retrofit.

Fino ad adesso si è vista solo una delle classificazioni impiegate da Tabula, la seconda riguarda le categorie dimensionali. Essa è composta da quattro classi : case monofamiliari (SFH), case a schiera (TH), edifici multifamiliari (MFH) e blocchi di appartamenti (AB).

La distribuzione degli edifici del quartiere in queste quattro classi è stata eseguita tramite la seguente struttura, elaborata in [5], dove si sono usate delle statistiche italiane/locali per associare gli edifici alla classe di dimensione edilizia utilizzando il fattore di forma S/V , che esprime il rapporto tra la superficie disperdente e il volume, come quanto segue:

- Casa monofamiliare (SFH): $S/V > 0.8 \text{ m}^{-1}$
- Casa a schiera (TH): $0.6 < S/V \leq 0.8 \text{ m}^{-1}$
- Edificio multifamiliare (MFH): $0.4 < S/V \leq 0.6 \text{ m}^{-1}$
- Blocco di appartamenti (AB): $S/V \leq 0.4 \text{ m}^{-1}$

Poiché nella brochure di Tabula le classi di dimensione edilizia variano anche in base al numero di piani, si è deciso che agli edifici con un solo piano, con qualsiasi valore di fattore di forma inferiore a 0.8 m^{-1} , fossero assegnati alla tipologia di case a schiera. È necessario fare questa precisazione poiché alcuni edifici con un solo piano presentavano un fattore di forma inferiore a 0.6 m^{-1} , ma è impossibile che questi siano degli edifici multifamiliari o dei blocchi di appartamenti, dove le condizioni presenti sulla brochure indicano che questi debbano avere 2 o più piani.

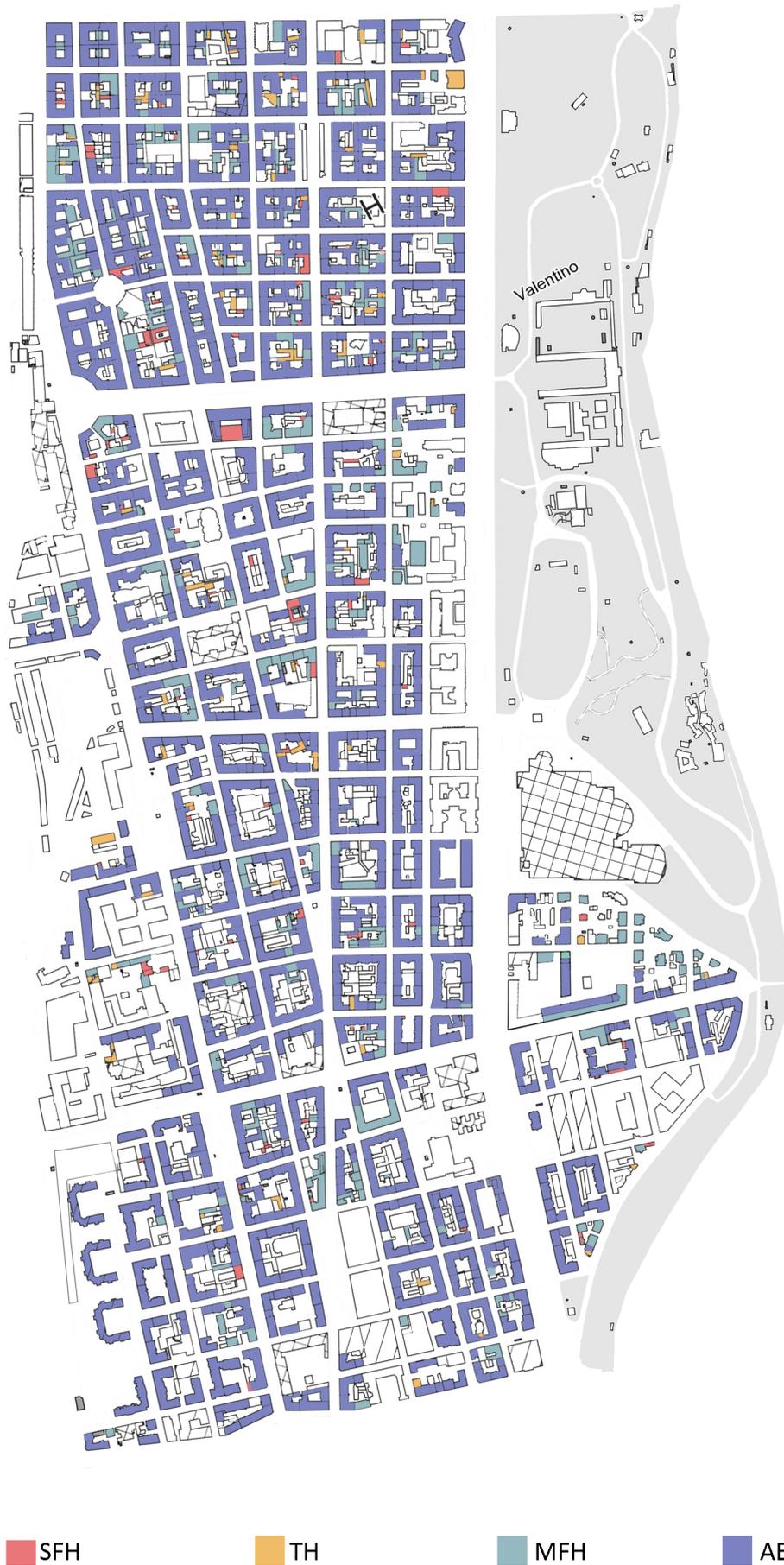
Come detto precedentemente San Salvario è un quartiere ricco di locali, negozi che solitamente occupano il piano terra in edifici la cui destinazione d'uso principale è quella residenziale. La loro presenza influisce sulla classificazione secondo la dimensione edilizia degli edifici ed è perciò stata posta attenzione della presenza o meno al piano terra di attività commerciali.

Nella figura 3, vengono mostrati gli edifici secondo la loro classe di dimensione edilizia. Come si può notare, il quartiere è per lo più occupato da blocchi di appartamento, e lo si poteva immaginare data l'elevata densità abitativa che presenta.

Individuate le singole classi di appartenenza degli edifici si è passati a suddividerli in cluster secondo le 28 classi individuate (4 classi di dimensione edilizia per 7 classi di epoca di costruzione). Da questa suddivisione si è ricavata l'area riscaldata totale per ogni tipologia, che verrà utilizzata per determinare il consumo energetico complessivo del quartiere.

Una prima parte per determinare i consumi degli edifici residenziali consiste nella stima dei consumi per riscaldamento e acqua calda sanitaria. Essi sono presenti all'interno della brochure di Tabula espressi come fabbisogno energetico ed energia primaria ($Q_{h,nd}$, $Q_{h,p}$, $Q_{w,nd}$,

Figura 3. Classe di dimensione edilizia degli edifici



$Q_{w,p}$), in kWh/m² anno per ognuna delle 32 classi. È chiaro come l'utilizzo di questo valore permetta il calcolo dei consumi totali tramite una semplice moltiplicazione tra esso e l'area degli edifici del quartiere computata per ogni classe. Tuttavia il progetto Tabula, terminato nel 2012, presenta la mancanza dei dati di consumo riferiti al teleriscaldamento e che sono fondamentali per il suddetto caso studio. Infatti, a Torino, il teleriscaldamento sta prendendo piede in quasi tutta la città e nell'ultimo periodo è stato installato anche in una parte di San Salvario, con l'obiettivo di coprire successivamente l'intero quartiere. Fino ad ora il teleriscaldamento copre i primi isolati affacciati sul Corso Massimo d'Azeglio, come raffigurato nella figura 4.

Figura 4. Area teleriscaldata. In verde gli isolati allacciati al teleriscaldamento.



Per gli edifici che invece non risultano ancora collegati a questo sistema, si sono utilizzati i dati presenti nella brochure, sia per la tipologia di impianto che per il carburante utilizzato.

Oltre ai consumi, è possibile stimare anche le emissioni di anidride carbonica associate ad essi e fornite dalla brochure in kgCO₂/m²anno.

La mancanza dei dati sul teleriscaldamento ha reso necessario modellare gli edifici di riferimento attraverso il software MasterClima.

Sono state modellate tutte le tipologie edilizie presenti all'interno del quartiere, per due motivazioni: uno riguardava appunto la stima dei consumi dovuti all'implementazione del

teleriscaldamento, mentre l'altro, che verrà visto più dettagliatamente in seguito, per la creazione di modelli ai quali poter applicare delle misure di efficientamento energetico, valutando le migliorie in termini di minori consumi. I modelli che sono stati utilizzati, erano per la maggior parte già stati creati per una precedente tesi [6], agevolando e velocizzando il processo. I modelli mancanti sono stati creati seguendo la procedura spiegata in [7].

Essi riprendevano le caratteristiche geometriche, in tutto per tutto, degli edifici di riferimento presenti in Tabula, nella brochure e nel webTool, ma con una modifica per quanto riguarda i fattori di energia primaria che dovevano adattarsi alla normativa attualmente vigente.

Nelle tabelle sottostanti vengono mostrati i dati presenti nella brochure e quelli ricavati dai modelli di MasterClima (MC) per i fabbisogni energetici e l'energia primaria (riscaldamento e ACS).

Tabelle 3: Consumi edifici di riferimento di Tabula e modellati con MasterClima

1901-1920 AB			1921-1945 AB		
	Tabula	MC		Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	194	196,4	Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	162	166,6
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	18,1	19,3	Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	18,1	19
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	284	307,4	Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	226,8	295,3
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	25	27,9	Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	49,5	57,3
1946-1960 AB			1961-1975 AB		
	Tabula	MC		Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	157	146,5	Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	134	128,6
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	17,9	19,1	Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	18,2	19,3
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	234	222,4	Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	226,8	219,1
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	61,3	65,6	Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	49,5	53

1976-1990 AB

	Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	67,6	66,9
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	17,4	18,2
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	94,5	92,8
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	23,4	24,9

1991-2005 AB

	Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	62,9	55,6
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	17,1	17,8
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	77,7	68,2
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	23,9	25,3

dopo 2005 AB

	Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	36	25,5
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	17,7	18,5
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	43,1	31,7
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	16,2	14

1901-1920 MFH

	Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	199	193,5
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	17,9	20,8
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	349	297
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	55,1	52,7

1921-1945 MFH

	Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	200	207
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	19,1	18,4
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	293	380
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	46,7	63,3

1946-1960 MFH

	Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	170	173,9
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	17,7	18,6
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	240,6	264,8
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	60,3	97

1976-1990 MFH

	Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	105	96,8
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	16,6	17,3
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	132,3	128,4
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	23,3	24,6

dopo 2005 MFH

	Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	40,5	30,5
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	18	19
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	48,1	36,9
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	16,4	14,4

1961-1975 MFH

	Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	153	157,7
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	16,9	17,7
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	200,2	207,4
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	26,2	27,8

1991-2005 MFH

	Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	70,3	68
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	17,9	19
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	104,3	101
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	24	26

1901-1920 TH			1921-1945 TH		
	Tabula	MC		Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	253	251,7	Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	250	249,1
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	15,7	16,1	Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	15,7	16,1
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	377	402,8	Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	356	367,4
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	55,2	61,3	Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	21,7	23,3
1946-1960 TH			1961-1975 TH		
	Tabula	MC		Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	173	171,8	Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	241	232,6
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	15,8	16,2	Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	16,6	17,1
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	258,8	257,4	Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	341,7	330,6
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	46,6	37,2	Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	36,9	36,8
1976-1990 TH			1991-2005 TH		
	Tabula	MC		Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	113	116,6	Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	85,1	92,4
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	15,3	15,7	Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	15,8	16,2
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	158,9	160,9	Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	125,5	135,3
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	51,4	52,9	Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	31,1	32,4

dopo 2005 TH

	Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	65,8	58,7
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	15,3	15,6
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	36,1	22,7
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	12,6	9,4

1901-1920 SFH

	Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	357	332,8
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	15,7	16,1
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	505	531
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	48,2	55,1

1946-1960 SFH

	Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	257	264,4
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	14,4	15
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	388	406,1
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	42,5	48,3

1921-1945 SFH

	Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	335	292,4
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	15,6	16,0
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	496	452
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	21,6	23,2

1961-1975 SFH

	Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	344	339,4
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	14,6	15,1
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	486,8	484,3
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	34,3	36

1976-1990 SFH

	Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	136	143
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	13,8	14,5
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	222,3	234,6
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	32,4	34,3

1991-2005 SFH

	Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	92,3	99,2
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	14,2	14,8
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	120,9	131,7
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	19,1	20,3

dopo 2005 SFH

	Tabula	MC
Fabbisogno energetico QH,nd [kWh/m ²]	67	63,9
Fabbisogno energetico QW,nd [kWh/m ²]	14,2	14,8
Fabbisogno energia primaria QH,p [kWh/m ²]	83,1	79,9
Fabbisogno energia primaria QW,p [kWh/m ²]	18,4	14,3

Tuttavia, si può notare che i consumi del fabbisogno energetico e dell'energia primaria ottenuti su MasterClima, non sono del tutto coincidenti con quelli di Tabula. Infatti realizzare dei modelli che rispecchiassero in modo identico gli edifici di riferimento era quasi impossibile (a causa della moltitudine di variabili esistenti per la creazione dei modelli), ma si è cercato di ricrearli in modo che fossero il più possibile paragonabili a quelli di Tabula secondo il fabbisogno energetico. Da qua si evince che il valore dell'energia primaria sarebbe stato in ogni caso diverso da quello rilevato da Tabula, ma questo è anche dovuto dal fatto che i valori di conversione di energia primaria adottati da Tabula e sui modelli di MasterClima sono diversi tra di loro. Il 26 giugno 2015 infatti è stato emanato un nuovo Decreto Ministeriale, che ha modificato i fattori di conversione di energia primaria. Il progetto Tabula è stato concluso nel 2012, ed è chiaro che quelli utilizzati in questo progetto facevano riferimento alla normativa precedente.

Una volta realizzati tutti i modelli necessari si è proceduto a creare i modelli con un impianto di teleriscaldamento. Per ricavare i consumi degli edifici connessi alla rete di teleriscaldamento, si sono copiati i modelli creati degli edifici di riferimento originari e a questi sono stati modificati i dati riguardanti l'impianto. Gli edifici che si allacciano a questo tipo di rete, devono avere un impianto di riscaldamento e di acqua calda sanitaria di tipo centralizzato. Gli edifici di riferimento che non presentavano questa caratteristica sono stati perciò modificati in alcune voci. Con l'introduzione di un sistema centralizzato infatti varia la rete di distribuzione e perciò il

suo rendimento. I nuovi valori sono stati ricavati dalla UNI-TS 11300:2 del 2014 per la parte del riscaldamento, mentre per l'acqua calda sanitaria era già presente una tabella nella brochure di Tabula. Un'altra voce che è stata modificata è quella riguardante la potenza delle pompe di circolazione. I nuovi valori per gli impianti centralizzati sono stati estrapolati dalla brochure di Tabula e si differenziavano in base alla dimensione edilizia come mostrato nella tabella.

Tabella 4. Potenze per le pompe di circolazione per gli impianti di tipo centralizzato.

	Riscaldamento	ACS
	Q_{aux}	Q_{aux}
	$[kWh/m^2]$	$[kWh/m^2]$
AB / MFH	1,6	2
TH / SFH	2,7	3,2

Con queste modifiche i valori di fabbisogno energetico ($Q_{H,nd}$ e $Q_{w,nd}$) sono rimasti invariati - rispetto allo stato originario -, mentre i valori del fabbisogno di energia primaria hanno subito un aggiornamento ($Q_{h,p}$ e $Q_{w,p}$).

Le utenze che si collegano al teleriscaldamento devono dotarsi di una sottostazione di scambio termico che si interfacci alla rete di riscaldamento con l'edificio. MasterClima richiede che si inserisca la potenza di questa sottostazione all'interno della scheda dei generatori. Per conoscere la potenza (kW) è necessario calcolare il carico termico di progetto (ϕ_{HL}), secondo la norma UNI EN ISO 12831:2006 [8], e calcolato come segue:

$$\phi_{HL} = \sum \phi_{T,i} + \sum \phi_{V,i} + \sum \phi_{RH,i} \quad [W]$$

Dove:

$\sum \phi_{T,i}$ = somma delle dispersioni termiche per trasmissione di tutti gli spazi riscaldati

$\sum \phi_{V,i}$ = somma delle dispersioni termiche per ventilazione di tutti gli spazi riscaldati

$\sum \phi_{RH,i}$ = somma delle potenze di ripresa

I quali sono calcolati nel seguente modo:

$$\phi_{T,i} = H_{tr} \cdot \Delta\theta_{progetto}$$

$$\text{con: } H_{tr} = \sum U_i \cdot A_i \cdot e_i + \sum U_i \cdot A_i \cdot b_i$$

$$\phi_{V,i} = HV \cdot \Delta\theta_{progetto}$$

$$\text{con: } HV = V \cdot \rho \cdot c_p = V \cdot 0,34$$

$$\phi_{RH} = S_u \cdot f_{RH}$$

$$\text{con: } S_u \text{ da modello e } f_{RH} \text{ da tabella della normativa}$$

Per tutti gli edifici si sono impostati i seguenti valori

$$\Delta\theta_{progetto} \quad 20 - (-8) = 28^\circ \text{ C}$$

$$f_{RH} \quad 11W/m^2$$

$$\text{ricambi orari } 0.5V/h-1$$

Il carico termico di progetto esprime la massima energia che viene dispersa per ventilazione e trasmissione dall'edificio (secondo precise condizioni), e che deve essere reintegrata dall'impianto per raggiungere una temperatura interna di progetto di 20°C, considerando anche gli effetti del riscaldamento intermittente.

La creazione dei modelli con l'inserimento del teleriscaldamento, non è stata fatta solo per le classi individuate nello stato originario del quartiere, ma su tutte. Infatti nella fase successiva, riguardante le misure di efficienza energetica, l'utilizzo del teleriscaldamento verrà impiegato in tutto il quartiere e perciò, fin da subito, si è proceduto a modificare i modelli base.

Una volta conclusa la creazione dei modelli si sono stimati i consumi dell'intero quartiere sia di fabbisogno energetico che di energia primaria legati al riscaldamento e all'acqua calda sanitaria. Oltre a questa tipologia di consumi è possibile stimare quelli legati all'energia elettrica, dovuti all'utilizzo di apparecchi elettronici negli edifici e nelle abitazioni. I consumi elettrici riferiti agli edifici sono quelli di uso comune, come gli ascensori e l'illuminazione delle scale mentre all'interno delle abitazioni sono dovuti a tutti gli elettrodomestici presenti e all'illuminazione degli ambienti.

In MasterClima non è stato possibile calcolare i consumi elettrici (ad esclusione di quelli associati agli ausiliari) e perciò si è proceduto tramite una ricerca in letteratura alla loro stima. Da una ricerca effettuata in Svizzera [9] sugli ascensori presenti negli edifici residenziali, si è rinvenuto un consumo annuo pari a 950 kWh. Per applicare questo valore al quartiere in esame è necessario ottenere un valore riproducibile su diverse tipologie di edifici. Nella ricerca oltre al consumo sono presenti anche altri dati e tra questi è fornito il numero di fermate dell'ascensore. Si è perciò potuto ricavare un consumo annuo per piano (1 piano = 1 fermata) pari a 158,3 kWh. Questo valore può quindi essere associato facilmente agli edifici di riferimento (MFH e AB), per calcolare successivamente il consumo sull'intero quartiere. Per gli edifici monofamiliari e per le case a schiera si è ipotizzato che non siano presenti ascensori, mentre per le altre due tipologie di edifici, gli ascensori sono presenti nel 78% dei casi. La presenza degli ascensori negli edifici residenziali per il quartiere di San Salvario è stato ottenuto consultando il dataset degli annunci immobiliari raccolti dal 2014 al 2018 per la suddetta zona. Gli annunci immobiliari consultati sono stati 673, e l'ascensore era presente in 530 di essi.

I consumi dell'illuminazione dei vani scala sono stati contabilizzati sempre sugli edifici di riferimento ipotizzando che per ogni piano siano presenti due lampade fluorescenti con una potenza di 40 W ciascuna. In alcuni edifici l'illuminazione delle scale non è controllata dagli utenti, ma rimane accesa per tutto il periodo in cui manca l'illuminazione naturale. Le ore di accensione sono state ipotizzate uguali a quelle per l'illuminazione pubblica, ovvero 4200 ore/anno. Il consumo per piano per illuminazione dei vani scala è stato stimato di 336 kWh.

Per conoscere il consumo dell'intero quartiere si sono ricavati i piani totali di tutti gli edifici di ogni tipologia edilizia, associando al 78% di essi i consumi per piano di ascensori più illuminazione, mentre ai restanti, solamente quelli dell'illuminazione.

Consumi usi comune quartiere: 3.675.786 kWh

I consumi degli usi comuni degli edifici serviranno in seguito per determinare l'energia elettrica non autoconsumata e venduta alla rete, poiché si ipotizzerà in alcune misure, l'installazione dei pannelli fotovoltaici, la cui produzione di energia coprirà proprio questa domanda.

La richiesta di energia elettrica nelle abitazioni è in vasta crescita, dovuta alla presenza sempre maggiore di dispositivi elettrici ed è perciò importante valutarne i consumi. Anche in questo caso non è stato possibile utilizzare i consumi reali degli edifici ed è perciò stata fatta una stima. Dai dati ISTAT, riferiti all'anno 2012, si è reperito il consumo di energia elettrica per uso domestico pro capite e per abitazione [10].

1113 kWh pro capite

2047 kWh per utenza

Dato che negli scenari di trasformazione si apporteranno delle modifiche che riguarderanno gli elementi elettrici, si è cercato di associare al consumo rilevato dall'ISTAT i singoli consumi degli apparecchi elettrici presenti nelle abitazioni, in modo che fosse possibile determinare successivamente la riduzione di energia elettrica, data dall'utilizzo di apparecchiature a più elevata efficienza energetica. Nella tabella 5, vengono mostrati i consumi medi dei singoli elettrodomestici. I consumi dell'illuminazione degli appartamenti sono stati stimati da un'analisi svolta da ENEA [11] in cui sono mostrati i consumi tipici di un appartamento, ipotizzando che la tipologia di lampade presenti sia di quelle fluorescenti.

Tabella 5. Consumi medi dei singoli apparecchi elettrici per famiglia

	% Possesso famiglie [11] [12]	Consumi [kWh/anno]	Consumi medi per famiglia [kWh/anno]
Frigorifero	99,7	300	299,1
Congelatore orizzontale	24,3	343	83,4
Lavastoviglie	50,2	327	170,0
Lavatrice	97,7	226	220,8
PC	96,6	95	91,8
TV	93,7	190	253,84
Phon	97	290	281,3
Forno elettrico	94,4	210	198,2
Ferro da stiro	93,5	160	149,6
Aspirapolvere	88,6	185	163,9
Illuminazione	100	183	183,2
Totale			2072

Il consumo totale ottenuto si avvicina a quello stimato dall'ISTAT.

Dati ISTAT 2012
2047 kWh per utenza

Consumo calcolato
2072 kWh per utenza

Non essendo in possesso dell'informazione nel numero totale di utenze nel quartiere, viene utilizzato il dato pro capite per stimare i consumi totali. Tale dato viene moltiplicato per il numero di abitanti del quartiere.

Consumi totali energia elettrica quartiere: 44.156.049 kWh
18,3 kWh/m²

Da qui è poi possibile ricavare il fabbisogno di energia primaria, moltiplicando il consumo ottenuto per il fattore di energia primaria dell'energia elettrica.

Conoscendo i fabbisogni energetici dei diversi elementi che compongono un edificio è possibile stimare le emissioni di CO₂ totali del quartiere. Ogni vettore energetico ha un proprio fattore di emissione:

Vettore energetico	Kg CO₂/kWh
Gas Naturale	0,1998
GPL	0,2254
Gasolio	0,2642
Olio combustibile	0,2704
Biomasse	0
Energia elettrica	0,4332
Teleriscaldamento	0,1440

I valori sono definiti su base nazionale, tranne per quello relativo al teleriscaldamento che in questo caso è stato ricavato da [14]. Il valore riportato è stato stimato note le emissioni dovute ai diversi generatori che alimentano la rete torinese stimate in un precedente studio, pesate sulle percentuali per le quali tali generatori contribuiscano alla produzione di calore annuo (90% CHP, 10% caldaie a gas).

5.1.1.2. Acqua

Nel settore domestico viene conteggiato anche il consumo di acqua potabile. Esso infatti è notevole ed è possibile rendere la pratica più sostenibile, attraverso delle piccole modifiche all'interno delle abitazioni. Come per il caso dell'elettricità, per stimare i consumi si è utilizzato il dato di uso domestico pro capite. Questo è stato acquisito dall'analisi ISTAT [15] ed espresso in m³/anno. Esso fa riferimento alla provincia di Torino ed è stato convertito in modo da ottenere

un valore in litri/giorno pro capite

Consumo acqua potabile per uso domestico: 212 litri pro capite/giorno

Per determinare, nel passo successivo, la riduzione di utilizzo di acqua è però fondamentale evincere il singolo consumo per ogni servizio, presente all'interno delle abitazioni, che si avvale dell'acqua per il suo funzionamento. Sono perciò stati ripartiti i consumi totali, come mostrato nella tabella 6.

Tabella 6. Consumi medi di acqua potabile per uso domestico

	Ripartizioni consumi	litri/giorno
Wc	31%	65,7
Bagno e doccia	28,50%	60,4
Lavatrice	12%	25,4
Pulizia e giardino	11%	23,3
Piatti	7%	14,8
Igiene al rubinetto	7%	14,8
Bere e cucina	3,50%	7,4
Tot		212,0

5.1.1.3. Illuminazione pubblica

Per determinare i consumi derivati dall'illuminazione pubblica si procede ad identificare il numero totale di lampioni presente nell'area. Tale conteggio è stato effettuato stimando la distanza media tra lampioni e perciò conoscendo la lunghezza delle vie si è ricavato il numero totale di essi. Ciò considerato, ne consegue che sono presenti 2.359 punti luce in San Salvario (ad esclusione del Parco del Valentino).

Ad ogni tipologia di lampada è collegato un diverso consumo, perciò il passo successivo è consistito nel determinare la tipologia di lampade presenti nei quartiere. Nell'ultimo periodo, a Torino, è stato avviato un processo di ammodernamento dell'illuminazione stradale verso lampade a minor consumo energetico, perciò si è deciso di effettuare un sopralluogo (Giugno 2018) per valutare la situazione reale, che viene mostrata nella figura 5.

Il quartiere per la maggior parte presenta un'illuminazione a LED. Nella parte del quadrilatero invece non è stata ancora avviata la sostituzione e la tipologia di lampade è stata determinata dalle tavole del Piano Regolatore dell'Illuminazione Comunale [16].

Una stessa tipologia di lampada può avere potenze diverse, perciò per avere dei consumi che sia avvicinano il più possibile a quelli reali, si sono impiegati i dati riportati nel TAPE [17] in cui vengono assegnate le potenze per le lampade tradizionali e le ore di accensione. Per le

lampade a LED si sono utilizzati a dati riportati sul sito "Torino a LED" [18]. Conoscendo tutti i dati necessari sono stati calcolati i consumi di energia elettrica e le relative emissioni di CO₂, raffigurate nella tabella 7.

Figura 5. Tipologia di lampade nel quartiere

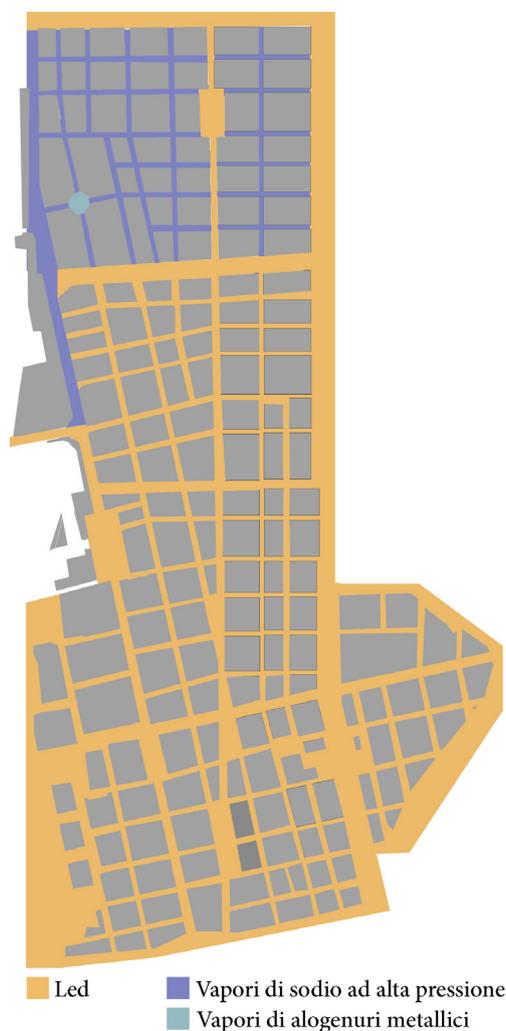
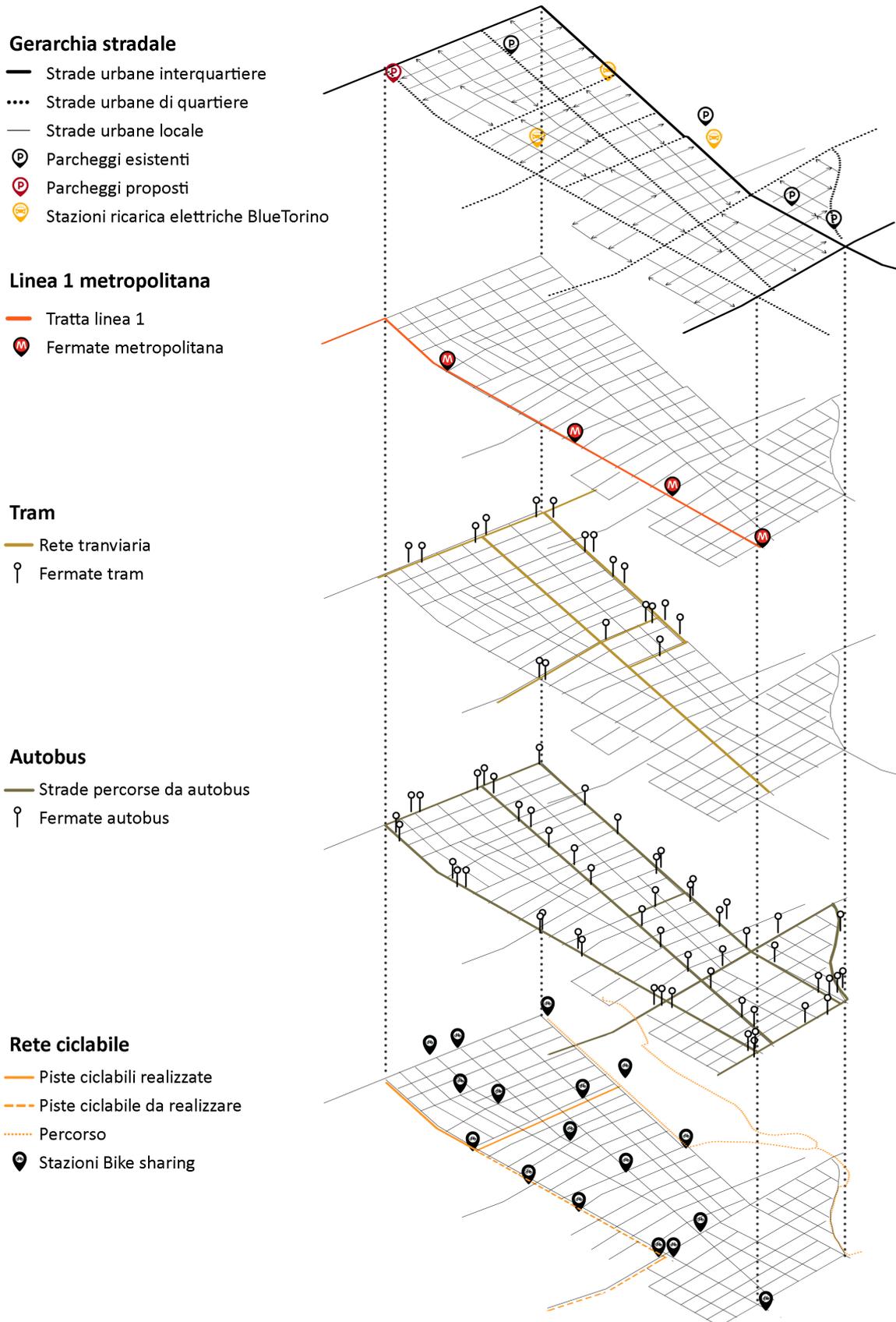


Tabella 7. Consumi ed emissioni relativi all'illuminazione pubblica

	n°	Potenza [W]	n° ore di accensione annuali [h]	Potenza totale [kW]	Consumi annui totali [kW]
Lampade ai vapori di sodio ad alta pressione	358	150	4180	54	224.466
Lampade ai vapori di alogenuri metallici	36	164	4180	6	24.679
Lampade a LED	1929	75	4180	145	604.742
TOT	2323				829.208

5.1.1.4. Trasporti

Figura 6. Analisi rete dei trasporti del quartiere



Per il settore dei trasporti sono state prese in considerazione sia i trasporti privati che quelli pubblici. La città di Torino prosegue l'obiettivo di una modifica di tale settore, che viene identificato nel Piano Urbano per la Mobilità Sostenibile (PUMS), ovvero uno strumento per la pianificazione della mobilità. Questo strumento è stato preso come riferimento sia per l'identificazione dello stato attuale che per ipotizzare le azioni per gli scenari di trasformazione.

Prima di tutto è stata esaminata l'area, figura 6. Sono stati studiate le gerarchie delle strade, la presenza dei mezzi di trasporto ed infrastrutture che permettono di creare una mobilità intermodale.

Per i trasporti privati ci si deve focalizzare sulle autovetture presenti all'interno del distretto. Le informazioni sono state reperite all'interno dei documenti del PUMS [19], dove è presente una banca dati del parco veicolare del comune di Torino per l'anno 2008 e anche sul sito dell'osservatorio PUMS dove sono presenti alcuni dati aggiornati [20]. Entrambe le fonti fanno riferimento all'intero territorio del comune di Torino ed è perciò necessario adattare le informazioni al quartiere di San Salvario.

Il primo passo perciò è consistito nella computazione del numero di autovetture circolanti nel quartiere. Essendo fornita l'informazione sul numero di autovetture presenti in città e il numero di abitanti totali è stato effettuato un semplice rapporto con gli abitanti insediati nel quartiere in esame per conoscere tale dato. Una volta trovato il numero totale di auto circolanti nel distretto, queste sono state suddivise secondo la tipologia di carburante utilizzato. Infatti questa diversificazione permetterà l'attribuzione di emissioni e consumi di carburante in modo più preciso. All'interno dell'osservatorio sono elencate le percentuali riferite a queste due classificazioni. Le diverse percentuali sono state rapportate con il numero di auto del quartiere, come mostrato nella tabella 8.

Tabella 8. Numero di auto presenti nel quartiere secondo la tipologia di carburante.

Numero autovetture San Salvario		25.316
Tipologia Carburante	%	N° auto quartiere
Benzina	51,73%	13.097
Diesel	37,72%	9.550
GPL	8,47%	2.144
Metano	1,69%	427
Ibrido - Elettrico	0,37%	95
Elettrico	0,02%	4

La suddivisione secondo la tipologia di carburante permetterà di stimarne il suo consumo, e le relative emissioni di CO₂ e di PM₁₀, in quanto nell'analisi economica si procederà a valutare economicamente tali effetti ambientali.

Il consumo di carburante e le emissioni sono strettamente collegate ai chilometri percorsi dalle

autovetture. Questi ultimi sono stati calcolati partendo dai dati forniti nel PUMS [21] relativi al numero di spostamenti in città (855.000) e ai chilometri percorsi di media giornalmente (3,47 km). Ovviamente il dato è stato adattato al quartiere, per ottenere gli spostamenti all'interno di esso, relazionando il numero di autovetture circolanti in città, con quello dell'area in esame. Il risultato che si è ottenuto è di 38.214 spostamenti quotidiani che è stato successivamente moltiplicato per 3,47 km, ottenendo così i km totali percorsi giornalmente dalle auto private 132.603 km/giorno.

Quest'ultimo dato è stato distribuito sull'intero parco circolante del quartiere in relazione alle percentuali individuate nel [20] e riportate nella tabella 6. Per procedere alla stima del consumo di carburante si sono moltiplicati i km relativi ad ogni sottocategoria (benzina, diesel, GPL, metano, ibrido-elettrico) per i consumi di carburante per chilometro, che sono stati identificati all'interno di [6] per tutte le tipologie ad esclusione delle auto elettriche, il cui consumo è stato stimato a partire dalla media dei consumi delle auto elettriche.

Per conoscere le emissioni di CO₂ e PM₁₀ è stata utilizzata la suddivisione secondo la tipologia di carburante impiegato. Si è deciso di avvalersi di questa metodologia e non della suddivisione secondo la classificazione Euro, per tre motivi di seguito esposti.

All'interno del PUMS [21] sono presenti i dati attinenti alle emissioni giornaliere di CO₂ e PM₁₀ a seconda della categoria Euro, in cui sono anche identificati i chilometri percorsi da ognuna di esse. Per ricavare le emissioni che una determinata categoria produce al chilometro si potrebbe quindi effettuare una semplice proporzione, ma all'interno del documento sono presenti solo i dati riguardanti le auto alimentate a benzina e a diesel, e perciò risultano escluse le auto alimentate da altri carburanti. La seconda motivazione, sempre correlata a questo documento, è che i dati sono riferiti all'anno 2008 quando non erano ancora presenti tutte le classificazioni Euro che ci sono ad oggi ¹. In questo caso perciò, non sarebbe possibile attribuire a tutte le categorie le relative emissioni. L'ultima motivazione riguarda il fatto che l'utilizzo delle emissioni connesse al carburante permetterà un confronto equo con le misure di trasformazione nel settore dei trasporti. Detto ciò nella tabella 9 sono esposti i dati relativi alle emissioni appena citate, ricavate da elaborazioni ISPRA sui dati MSE, MIT e ACI.

Tabella 9. Consumo carburante ed emissioni relative alla tipologia di carburante delle automobili

	Consumo carburante		Emissioni CO ₂		Emissioni PM ₁₀	
Benzina	0,08	l/km	177,9	g/km	23	mg/km
GPL	0,07	l/km	188,2	g/km	22,7	mg/km
Metano	0,04	kg/km	156,8	g/km	22,6	mg/km
Diesel	0,08	l/km	151,7	g/km	64,5	mg/km
Ibrido-Elettrico	0,03	l/km	106,4	g/km	0	mg/km
Elettrico	0,137	kWh/km	0,4332	kg/KWh	0	mg/km

¹ Dopo il 2008 sono state introdotte le autovetture Euro 5 (2009) ed Euro 6 (2014).

I risultati giornalieri del trasporto privati dell'analisi dello stato di fatto sono mostrati nella tabella 9.

Tabella 9. Analisi giornaliera auto private

Tipologia	km percorsi	Consumi	u.m.	Emissioni CO₂ [g]	Emissioni PM₁₀ [mg]
Benzina	68.598	5487,86	l	12203638,68	1574742,718
GPL	11.228	785,99	l	2113185,592	254727,5682
Metano	2.236	89,43	kg	350558,9925	50629,84021
Diesel	50.023	4001,82	l	7588448,797	3228517,296
Ibrido - Elettrico	495	14,86	l	52707,08203	0
Elettrico	22	3,05	kWh	9,63	0
	132.603			22308548,77	5108617,42

Per proseguire con l'analisi tali risultati devono essere convertiti in dati annuali.

Diesel, benzina, GPL, ibrido	3756,0 m³/anno
Metano	32,6 t/anno
Elettricità	1,1 MWh/anno
Co2	8142,6 t/anno
Pm10	1,9 t/anno

Conclusa l'analisi del trasporto privato, si procede ad esaminare gli autobus, in merito al trasporto pubblico.

I mezzi pubblici presenti a Torino, e che passano all'interno del quartiere di San Salvario, sono tram, metropolitana ed autobus. Tuttavia si esamineranno solo questi ultimi, in quanto non è prevista alcuna modifica per la metropolitana, mentre per i tram sarebbe previsto solo l'ammodernamento della flotta, ma la cui modifica non comporterebbe dei benefici in termini di minori consumi ed emissioni.

Dal momento che l'analisi viene effettuata alla scala del quartiere, è importante fare una precisazione. Le linee degli autobus che sono state prese in considerazione sono le sole passanti per l'area in esame e che si riferiscono per la sola tratta percorsa all'interno del quartiere. Sono perciò esclusi i chilometri percorsi al di fuori di esso. Le linee che passano nel quartiere sono molteplici, alcune lo attraversano completamente, mentre altre lo percorrono solo marginalmente lungo le vie che delimitano a nord e sud San Salvario, ossia Corso Vittorio Emanuele e Corso Bramante, come illustrato nella figura 7. Le linee che passano lungo questi due assi, poiché riguardano zone che delimitano i confini del quartiere, sono state considerate solo per un senso di marcia.

Una volta individuate, si è proceduto a definirle in modo più dettagliato, raccogliendo informazioni sul passaggio degli autobus.

Figura 7: Linee bus passanti per il quartiere



La prima fase è consistita nella computazione dei chilometri percorsi da ogni tratta nel quartiere e in seguito i chilometri totali, sempre all'interno di esso, durante una giornata tipo. I dati ricavati sono mostrati nella tabella 10. Per poter procedere a quanto detto, è stato calcolato, per ogni linea, il numero di volte che viene percorsa la tratta. Questa informazione è stata ricavata grazie alla conoscenza degli orari riguardanti l'inizio e la fine del servizio, e l'intervallo medio, calcolato al capolinea, tra il passaggio di un autobus e l'altro. I dati, diversi a seconda della linea considerata, si sono ottenuti dal sito del trasporto pubblico del comune di Torino, GTT (Gruppo Torinese Trasporti) [22]. Le tratte che presentano un maggior afflusso di persone e che quindi sono direzionate verso aree con servizi ed attività, presentano, di conseguenza, una maggiore frequenza del passaggio, che può variare durante tutta la giornata, anche a seconda degli orari di punta. Inoltre per il conteggio dei chilometri giornalieri si è posta attenzione a calcolare entrambe le circolari di una linea, ovvero quella di andata e quella di ritorno.

Tabella 10. Chilometri percorsi al giorno dalle diverse linee passanti nel quartiere.

	Linea 1	Linea 18	Linea 35	Linea 42	Linea 61	Linea 67	Linea 33
km quartiere	2,25	2,2	2,25	1,3	0,43	2,4	0,7
km giorno	9	376,2	9	209,3	34,4	374,4	109,2
	Linea 52	Linea 68	Linea 17	Linea 34	Linea 47	Linea 66	
km quartiere	0,7	0,43	0,34	0,37	0,45	0,8	
km giorno	59,5	35,7	20	22,6	27,5	41,6	

A questo punto si è proceduto a quantificare il consumo di carburante e le relative emissioni. Come già specificato per i trasporti privati, anche gli autobus presentano una flotta eterogenea per la categoria Euro e la tipologia di alimentazione. Il numero di autobus circolanti in città, suddivisi secondo la categoria Euro, è stato reperito sia all'interno del documento del PUMS sia all'interno del documento del bilancio di sostenibilità della GTT [23]. Si è deciso di utilizzare i dati presenti sul secondo documento in quanto sono riferiti all'anno 2015 e perciò più attuali rispetto a quelli del PUMS. Infatti nel PUMS non sono presenti informazioni riguardanti i nuovi veicoli basso emissivi, ma solo di bus alimentati a diesel e metano. Per poter catalogare la flotta di autobus circolanti nel quartiere secondo la classificazione Euro, innanzitutto occorre conoscere il numero di autobus che passano nell'arco di una giornata tipo, mostrati nella tabella 11.

Tabella 11. Numero di passaggi degli autobus per una giornata tipo.

	Linea 1	Linea 18	Linea 35	Linea 42	Linea 61	Linea 67	Linea 33
Passaggi	4	171	4	161	80	156	156
	Linea 52	Linea 68	Linea 17	Linea 34	Linea 47	Linea 66	Tot
Passaggi	85	83	59	61	61	52	1133

Conclusa questa fase, ora è possibile attribuire la categoria Euro e la tipologia di alimentazione ad ogni autobus in base alla percentuale presente nel documento di bilancio. I veicoli elettrici sono stati esclusi all'interno dell'analisi dello stato di fatto, in quanto si è a conoscenza che questa tipologia di autobus non opera nelle linee che interessano San Salvario. Si sono quindi ridistribuiti gli autobus elettrici nel caso peggiore, ovvero la categoria Euro 1. Nella tabella 12 vengono quantificati gli autobus secondo le diverse tipologie.

Note le caratteristiche della flotta si può procedere a stimare i consumi di carburante e le emissioni di inquinanti in atmosfera. Sul sito del Gruppo Torinese Trasporti è presente una scheda tecnica riguardante le caratteristiche di tutti gli autobus circolanti nel territorio torinese,

in riferimento all'anno 2017 [24]. All'interno di questa si sono estrapolati i dati sui consumi delle varie tipologie di autobus urbani. Essi sono stati suddivisi secondo il carburante metano o diesel e questi ultimi vengono a loro volta frazionati secondo la classificazione Euro. Inoltre sono presenti più tipologie di autobus, con diversi consumi, perciò è stata fatta una media, ricavando i valori riportati nella tabella 13.

Tabella 12. Numero di autobus per categoria Euro e alimentazione circolanti nel quartiere.

Categoria	%	n° bus
Diesel Euro 0	0,0%	0
Diesel Euro 1	3,3%	3
Diesel Euro 2	6,5%	6
Diesel Euro 2 FAP	17,8%	16
Diesel Euro 3	6,5%	6
Diesel Euro 4	2,1%	2
Metano	32%	30
EEV	31,8%	29
		92

Tabella 13. Consumo carburante ed emissioni relative alla tipologia di carburante degli autobus

Categoria	Consumi medi		Emissioni CO₂		Emissioni PM₁₀	
Diesel Euro 1	0,51	l/km	1224	g/km	309,75	mg/km
Diesel Euro 2	0,46	l/km	1224	g/km	309,75	mg/km
Diesel Euro 3	0,36	l/km	1224	g/km	309,75	mg/km
Diesel Euro 4	0,36	l/km	1224	g/km	309,75	mg/km
Metano	0,58	kg/km	1308	g/km	82,93	mg/km
EEV	0,26	l/km	1077	g/km	36	mg/km
Elettrico	1,04	kWh/km	0,4332	kg/kWh	0	mg/km

In seguito sono stati computati i chilometri percorsi con le diverse tipologie di autobus presenti, per tutte le linee esaminate. Tramite la conoscenza di questo dato si sono stimati i consumi di carburante, moltiplicando i chilometri per i relativi valori di consumo.

Consumi diesel: 322,5 litri/giorno → 117,72 m³/anno

Consumi metano: 246,4 kg/giorno → 89,94 t/anno

Oltre al consumi di carburante sono state stimate le emissioni, con la stessa modalità, sostituendo al dato del consumo di carburante, i dati delle emissioni di CO₂ e PM₁₀ per le diverse tipologie di autobus. Nella tabella 14 sono mostrate le emissioni giornaliere per ogni tratta.

Tabella 14. Emissioni CO₂ e PM₁₀ delle linee passanti per San Salvario

	Linea 1	Linea 18	Linea 35	Linea 42	Linea 61	Linea 67	Linea 33
Emissioni CO₂ [kg/giorno]	11,02	460,5	11,02	256,2	42,1	458,3	133,7
Emissioni PM₁₀ [mg/giorno]	105,93	4427,80	105,93	2463,42	820,36	4406,61	1285,26
	Linea 52	Linea 68	Linea 17	Linea 34	Linea 47	Linea 66	
Emissioni CO₂ [kg/giorno]	72,8	43,7	24,6	27,6	33,6	50,9	
Emissioni PM₁₀ [mg/giorno]	1400,61	835,66	476,68	266,00	646,16	998,08	

Le emissioni totali per il trasporto pubblico sono le seguenti:

Emissioni CO₂: 1,63 tCO₂/ giorno → 593,46 t/anno

Emissioni PM₁₀: 0,2 tPM₁₀/ giorno → 0,073 t/anno

5.1.1.5 Rifiuti

Attualmente nel quartiere di San Salvario si sta avviando la transizione da un sistema di raccolta stradale, cioè con cassonetti permanentemente posti sulla strada, a uno domiciliare porta a porta attraverso i cassonetti di plastica, carta, vetro, organico e rifiuti non riciclabili, mentre altri tipi di rifiuti vengono raccolti in appositi centri comunali. A Torino la raccolta porta a porta è stata avviata già nel 2004, con l'obiettivo per il futuro di coprire tutto il territorio comunale. Precedentemente nel quartiere veniva già effettuata la raccolta differenziata, tramite i cassonetti posti sulla strada, ma la raccolta domiciliare risulta più efficace ed efficiente per ottenere una qualità e quantità di raccolta maggiore.

Esaminando i dati della città di Torino e mettendo a confronto i quartieri dove è presente la raccolta porta a porta, rispetto a quella stradale, si possono vedere risultati più elevati per i primi, come mostrato nella figura 8.

In questo settore, alla scala del quartiere, si può operare modificando il sistema di raccolta, con ad esempio l'utilizzo di mezzi alternativi più ecologici rispetto a quelli attuali. Un'altra possibile soluzione, che verrà esaminata nelle misure di trasformazione, riguarda la modifica del conferimento dei rifiuti, che verrà ipotizzata con dei sistemi interrati. Essi permetteranno così di diminuire i chilometri percorsi dai mezzi per la raccolta dei rifiuti. Sulla base di quanto detto verrà eseguita un'analisi per determinare i chilometri percorsi dai mezzi per la raccolta e il numero di mezzi necessari, per poter in seguito paragonare lo scenario attuale con quelli di trasformazione, in termini di costi e benefici.

La lunghezza delle strade di San Salvario è stata computata di 37 chilometri. Dal sito dell'AMIAT, l'azienda che si occupa della raccolta dei rifiuti a Torino, è stato possibile trovare i giorni in cui viene effettuata la raccolta, ovvero ogni giorno, ad esclusione del martedì e della domenica; e con un doppio passaggio il sabato, per la raccolta della plastica e del vetro. Il numero di passaggi a settimana sono perciò 6 e si ipotizza che i mezzi non percorrano più volte la stessa strada.

Chilometri percorsi dai mezzi: 222 km/settimana

I consumi di carburante dei mezzi per la raccolta sono pari a 0,6 litri per chilometri [26]. Poiché non è stato possibile reperire i dati sulle emissioni per i mezzi di raccolta, si sono ipotizzate uguali a quelle degli autobus a diesel Euro 3. Conseguentemente si sono stimati:

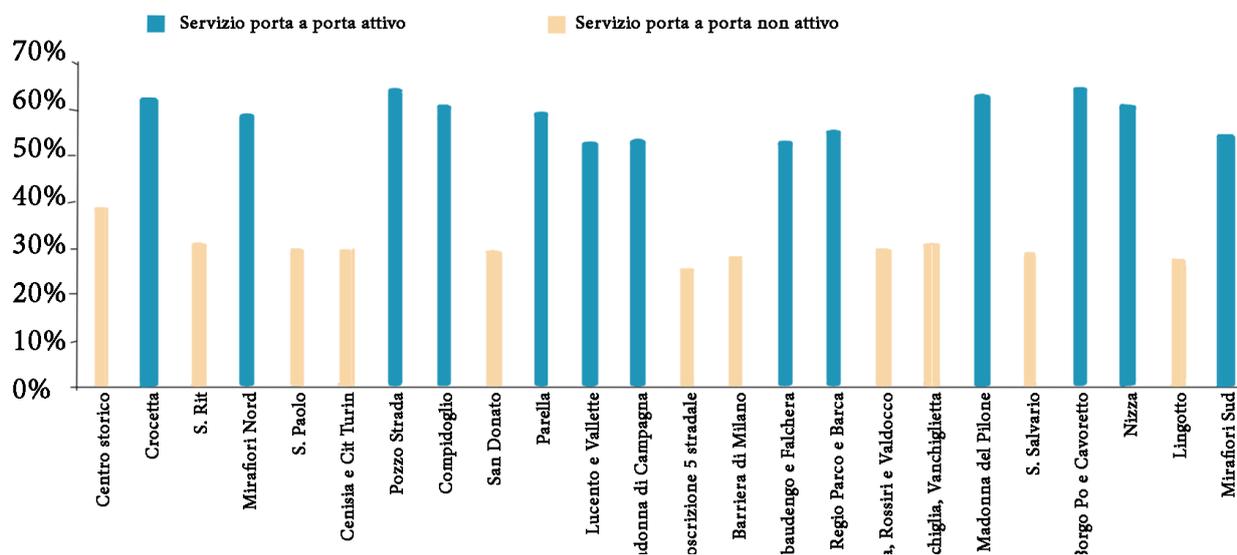
Consumo di carburante: 133,2 litri/settimana

Emissioni di CO2: 271,7 kgCO₂/settimana

Emissioni di PM10: 68.765 mgPM₁₀/settimana

Il numero di mezzi che percorrono attualmente il quartiere di San Salvario per la raccolta dei rifiuti sono 7. Tale dato è stato fornito direttamente dall'Amiat e sarà necessario per determinare i costi per le misure di trasformazione.

Figura 8. Percentuale raccolta differenziata per quartiere a Torino [25].



6

Misure di efficienza energetica

6. Misure di efficienza energetica

Definito lo stato di fatto di tutti i settori, che creano il sistema urbano del quartiere, è possibile definire delle misure di intervento volte a renderlo più sostenibile, tramite la riduzione dei consumi e delle emissioni. Come già specificato, le azioni proposte sono state individuate dalle politiche esistenti emanate a livello europeo, nazionale, locale e tramite l'analisi di casi studio reali. Prima di tutto le misure di trasformazione verranno analizzate per i singoli settori e successivamente verranno unite a creare diversi scenari di trasformazione dell'intero sistema, valutandone i costi complessivi e gli impatti che possono creare.

6.1. Edifici

Le misure di trasformazione generiche identificate per questo settore sono state 4 e sono state pensate in modo da diminuire i consumi energetici, tramite:

- Miglioramento dell'isolamento termico degli edifici;
- Applicazione del teleriscaldamento su tutto il quartiere;
- Eventuale applicazione di pannelli fotovoltaici;
- Riduzione consumi elettrici delle abitazioni.

Il miglioramento dell'isolamento termico dell'involucro degli edifici è stato ipotizzato su due livelli di retrofit, uno standard e uno avanzato. Sono stati perciò definiti, seguendo le indicazioni per il territorio torinese [1], dei diversi valori di trasmittanza termica da applicare ai due casi, e che consentono di diminuire le dispersioni termiche. Le trasmittanze imposte seguono le indicazioni del regolamento edilizio della città di Torino che risultano più stringenti rispetto alla normativa nazionale [2]. Nel regolamento edilizio sono presenti due livelli di retrofit, il livello 1, che verrà identificato come livello standard (RS) e il livello 2, che verrà identificato come livello avanzato (RA). Le trasmittanze imposte sono le seguenti:

Trasmittanza termica (W/m²K)	1° livello	2° livello
Copertura	0,23	0,15
Solai verso sottotetti non abitabili, verso ambienti non riscaldati	0,26	0,17
Pareti esterne	0,25	0,15
Serramenti	1,5	1,2
Pareti verso ambienti riscaldati a temperatura inferiore o non riscaldati	0,3	0,2
Sistema edificio terreno per solai orizzontali sul suolo e solai su pilotis	0,23	0,15

Visto quanto sopra, è necessario fare una precisazione. L'applicazione delle misure di retrofit sull'involucro dell'edificio è stata esclusa per gli edifici risalenti a prima del 1945 e dopo il 2005. Gli edifici realizzati prima del 1945 presentano una valenza storica ed estetica, con vincoli architettonici che non consentono di intraprendere delle azioni di isolamento delle pareti esterne. Infatti l'isolamento a cappotto, conveniente per contenere i consumi energetici, non è ammesso negli edifici storici, poiché comporterebbe la modifica dell'immagine delle facciate e delle finiture presenti. Anche l'isolamento interno è un'operazione da escludere per diversi motivi, in quanto ridurrebbe la superficie lorda di pavimento (Slp), con uno svantaggio per i proprietari degli immobili ed anche perché questa tipologia di intervento necessiterebbe di lavori all'interno dell'abitazione, recando ulteriori disagi durante l'esecuzione. Come per le pareti esterne, anche quelle interne potrebbe avere delle finiture, decorazioni che escluderebbero ulteriormente l'utilizzo di questa tecnica. Inoltre questi tipo di isolamento risulta essere meno efficiente rispetto al cappotto esterno, perché non elimina i ponti termici e non sfrutta l'inerzia delle pareti. Anche i serramenti presenti in questa tipologia di edifici sono oggetti che rivestono un'importanza storica artistica, quindi la sostituzione di esse dovrebbe avvenire secondo determinate regole. Per quanto riguarda gli edifici costruiti dopo il 2005, sono stati esclusi in quanto presentano già elevate prestazioni energetiche che non necessitano miglioramenti.

Per la parte impiantistica degli edifici si è deciso di estendere la rete di teleriscaldamento in tutto il quartiere, andando a sostituire gli impianti attualmente presenti negli edifici. Questa scelta è stata proposta in quanto a Torino il teleriscaldamento raggiunge buona parte della città ed è in via di applicazione nel quartiere di San Salvario, come visto nello stato di fatto. L'utilizzo della rete di teleriscaldamento permetterà di eliminare le caldaie condominiali e di conseguenza porterà una riduzione delle emissioni.

Un'altra misura impiantistica di intervento riguarda l'utilizzo di sistemi che sfruttano energia rinnovabile. In questo caso è stato quindi pensato di utilizzare dei pannelli fotovoltaici per diminuire i consumi di energia elettrica da fonti fossili. L'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili è una delle azioni richieste per migliorare l'efficienza energetica degli edifici. L'utilizzo dei pannelli fotovoltaici normalmente impiegati risulta però una scelta non adeguata quando ci si trova in centri storici ed urbani, poiché l'impatto estetico che essi comportano è notevole. Una possibile soluzione, per sfruttare le fonti energetiche rinnovabili anche nei contesti storici, consisterebbe nell'utilizzo di tecnologie solari ad integrazione architettonica. Attualmente ci sono diverse possibilità per installare sistemi "invisibili", come ad esempio i coppi fotovoltaici, ma tali tecnologie risultano molto onerose e con poca resa. Una possibile soluzione la si è riscontrata nel fotovoltaico in film sottili, che riduce al minimo l'impatto visivo. Questa tecnologia è stata sviluppata da Solibian [3], un'azienda torinese che produce moduli fotovoltaici flessibili con celle fotovoltaiche di silicio monocristallino. I pannelli in film sottile sono molto costosi se paragonati ai pannelli fotovoltaici tradizionali, ma la loro elevata capacità di assorbimento della luce solare compensa l'elevato costo. La tipologia scelta è stata la "Serie SP", ossia il top di gamma, con un rendimento di oltre il 24%.

Immagine 1: Installazione Solbian sulla copertura di una villa sul lago di Como [4]



Per il quartiere si è quindi pensato di installare negli edifici con carattere storico, ossia realizzati prima del 1945, il fotovoltaico in film sottili, mentre nei restanti edifici i pannelli fotovoltaici tradizionali.

In MasterClima si è proceduto quindi a inserire i dati sul fotovoltaico, per determinare l'energia elettrica prodotta. I dati richiesti sono stati i seguenti:

- Azimut: le coperture degli edifici del quartiere sono per la maggior parte esposti a sud-ovest sud-est, perciò si è impostato un'angolazione di 45°;
- Inclinazione: l'inclinazione tipica delle falde per gli edifici della regione Piemonte varia da 17° a 24°, e si è scelto perciò un valore intermedio, ossia 20° [5]
- Superficie Apv: è stata computata prendendo la metà della dimensione della superficie di un singolo piano, poiché essi verranno posti solo su una falda.
- Potenza di picco Wpv: sono stati utilizzati i dati forniti in automatico da MC per le celle in silicio monocristallino per i pannelli fotovoltaici tradizionali. Per i film sottili si è ricavato un valore Wpicco/m² che è stato moltiplicato per l'area in cui è applicato il fotovoltaico per ricavare la potenza di picco installata. Tale dato è stato in seguito inserito manualmente nel programma.
- Fattore di efficienza del sistema fpv: moduli molto ventilati.

L'ultima misura riguarda la diminuzione dei consumi di energia elettrica all'interno delle abitazioni. Per questa misura verranno utilizzati elettrodomestici ad alta efficienza (A+++), per gli apparecchi che utilizzano l'acqua (lavatrice e lavastoviglie) in quanto la loro sostituzione apporterà benefici anche al settore dell'acqua. Oltre a questo si è pensato di sostituire la tipologia di lampade presenti all'interno delle abitazioni, utilizzando lampade a LED. Tali accorgimenti consentiranno di raggiungere un consumo di 1.844 kWh/anno a famiglia.

Tabella 1: Consumi elettrici medi per famiglia

	% Possesso famiglie	Consumi elettrici [kWh/anno]	Consumi medi per famiglia [kWh/anno]
Frigorifero	99,7	300	299,1
Congelatore orizzontale	24,3	343	83,3
Lavastoviglie	50,2	231	104,0
Lavatrice	97,7	154	150,5
PC	96,6	95	91,8
TV	93,7	190	253,84
Phon	97	290	281,3
Forno elettrico	94,4	210	198,2
Ferro da stiro	93,5	160	149,6
Aspirapolvere	88,6	185	163,9
Illuminazione	100	68,14	68,1

Fino ad ora sono state elencate le singole misure di intervento degli edifici (involucro, impianti e fonti energetiche rinnovabili), che verranno unite a formare le misure complessive per la trasformazione energetica degli edifici. Il miglioramento dell'involucro degli edifici è stato ipotizzato secondo tre diverse coperture, ovvero il 50% della superficie degli edifici del quartiere, il 70% e il 100%, sia per il livello standard che avanzato. Il teleriscaldamento coprirà l'intera area del quartiere, mentre l'utilizzo del fotovoltaico verrà impiegato come opzione aggiuntiva solo per il caso del retrofit avanzato. In conclusione le misure che sono state create sono 12 e sono le seguenti:

- BS1: teleriscaldamento quartiere + retrofit standard del involucro nel 50% degli edifici;
- BS2: teleriscaldamento quartiere + retrofit standard del involucro nel 70% degli edifici;
- BS3: teleriscaldamento quartiere + retrofit standard del involucro nel 100% degli edifici;
- BA1: teleriscaldamento quartiere + retrofit avanzato del involucro nel 50% degli edifici;
- BA2: teleriscaldamento quartiere + retrofit avanzato del involucro nel 70% degli edifici;
- BA3: teleriscaldamento quartiere + retrofit avanzato del involucro nel 100% degli edifici;
- BAF1: teleriscaldamento quartiere + retrofit avanzato del involucro nel 50% degli edifici + fotovoltaico;
- BAF2: teleriscaldamento quartiere + retrofit avanzato del involucro nel 70% degli edifici + fotovoltaico;
- BAF3: teleriscaldamento quartiere + retrofit avanzato del involucro nel 100% degli edifici + fotovoltaico;
- BAFE1: teleriscaldamento quartiere + retrofit avanzato del involucro nel 50% degli edifici + fotovoltaico + riduzione consumi elettrici alloggi;

- BAFE2: teleriscaldamento quartiere + retrofit avanzato del involucro nel 70% degli edifici + fotovoltaico + riduzione consumi elettrici alloggi;
- BAFE3: teleriscaldamento quartiere + retrofit avanzato del involucro nel 100% degli edifici + fotovoltaico + riduzione consumi elettrici alloggi.

I codici assegnati si riferiscono a:

B: Building	S: Retrofit Standard	A: Retrofit Avanzato
1: 50%	2: 70%	3: 100%
F: fotovoltaico	E: elettricità	

Per calcolare i consumi derivati dagli interventi energetici sugli edifici, sono stati utilizzati e modificati i modelli creati in MasterClima, realizzati precedentemente per lo stato di fatto. Si sono utilizzati i modelli in cui era già stata apportata l'introduzione del teleriscaldamento. A questi sono state inserite le nuove trasmittanze, creando due modelli per ogni tipologia edilizia, uno per ricreare i retrofit standard e uno per quelli avanzati. I modelli a cui sono stati applicati i retrofit avanzati sono stati copiati e modificati ulteriormente, aggiungendo i dati riguardanti il fotovoltaico.

Il fotovoltaico, a differenza del teleriscaldamento non verrà applicato sempre su tutto il quartiere, ma seguirà la percentuale di copertura del retrofit dell'involucro. Anche per gli edifici realizzati prima del 1945 e dopo il 2005 seguiranno le stesse percentuali di copertura, ossia 50%, 70% e 100%. L'energia esportata nelle diverse misure è la seguente:

	50%	70%	100%
[kWh/anno]	15.162.206	22.697.001	33.999.193

I dati della produzione di energia da fotovoltaico sono già al netto dei consumi degli usi comuni degli edifici. Nella tabella 2 sono mostrate le percentuali di energia elettrica che l'impianto fotovoltaico installato nel quartiere sarebbe capace di coprire, considerando tutti i consumi elettrici all'interno delle abitazioni. Sono mostrate le percentuali in relazione alla quantità di fotovoltaico installato nei tetti.

Tabella 2: Copertura consumi elettrici da produzione di energia da fotovoltaico

Retrofit Standard e Avanzato		Copertura da produzione fotovoltaico	
Ausiliari	8.716.929,84	50% edifici	45%
Usi comuni	3.675.876,50	70% edifici	63%
Illuminazione interna	3.297.077,73	100% edifici	90%
Elettrodomestici	34.034.868,57		
	49.724.752,64		

Retrofit Avanzato + Elettrodomestici

Ausiliari	8.717.036,20
Usi comuni	3.675.876,50
Illuminazione interna	1.227.846,16
Elettrodomestici	31.989.166,97
	45.609.925,83

Copertura da produzione fotovoltaico

50% edifici	49%
70% edifici	69%
100% edifici	98%

6.2. Acqua

Le azioni intraprese per la riduzione dei consumi di acqua potabile all'interno degli edifici, sono consistite nell'utilizzo di tecnologie quali:

- Riduttori di flusso, da applicare a tutti i rubinetti di casa;
- Vaschette con doppio scarico per il wc;
- Utilizzo dell'acqua piovana;
- Utilizzo di elettrodomestici ad alta efficienza.

I rubinetti hanno un consumo medio di 10 litri al minuto. L'utilizzo di un sistema con frangi getto o aeratore permette di ridurre il flusso a 6 litri al minuto, grazie all'aumento dell'aria all'interno del getto. L'installazione di una cassetta per il wc a doppio scarico permette invece di ridurre notevolmente la quantità di acqua, passando da 3/6 litri per ogni scarico rispetto i 10/12 che richiedono i sistemi con singola cassetta. Lo scarico del wc rappresenta il maggior dispendio di acqua potabile all'interno dell'abitazione, quando vengono utilizzati i sistemi che richiedono più acqua, ricoprendo oltre il 30% dei consumi. L'utilizzo del doppio scarico consente di raggiungere un risparmio tra il 40% e il 50% dei consumi. Inoltre, nel caso dei wc, l'utilizzo dell'acqua potabile risulta un enorme spreco. Infatti per tale servizio non sarebbe necessario la potabilità dell'acqua e perciò esso si presta efficacemente all'utilizzo di acqua potabile.

L'ultima misura che riguarda l'utilizzo di elettrodomestici ad alta efficienza consente sia una riduzione dell'utilizzo di acqua che di consumi elettrici.

Queste quattro azioni sono state combinate tra loro a formare 3 misure complessive:

- W1: Aeratori rubinetti + utilizzo di cassetta wc con doppio scarico
- W2: Aeratori rubinetti + utilizzo di cassetta wc con doppio scarico + recupero acqua piovana per wc
- W3: Aeratori rubinetti + utilizzo di cassetta wc con doppio scarico + recupero acqua piovana per wc + elettrodomestici ad alta efficienza

La misura W3 verrà applicata nella creazione degli scenari solamente associato agli edifici in cui si impiegherà il livello avanzato di retrofit (BAF e BAFE).

Per poter procedere alla stima dei consumi è necessario approfondire la raccolta dell'acqua piovana, che influenzerà i consumi di acqua potabile per gli scenari W2 e W3. Il sistema di raccolta dai tetti funziona tramite tre azioni: la raccolta, lo stoccaggio e l'utilizzo. Per stimare l'utilizzo di acqua piovana è stata utilizzata la specifica tecnica nazionale UN/TS 11445 del 2012. "Impianti per la raccolta di e l'utilizzo dell'acqua piovana per usi domestici diversi dai consumi umano. Progettazione, installazione e manutenzione" [6].

Poiché l'analisi riguarda la scala del quartiere, utilizzare dei singoli sistemi di accumulo per ogni edificio comporterebbe un costo elevato, che difficilmente potrebbe essere coperto dai benefici, perciò essi verranno posti in comune tra più edifici. Per fare questo verrà sfruttata la disposizione delle abitazioni a Torino, che sono riunite in isolati (170 isolati residenziali). Ogni isolato avrà quindi il proprio sistema di accumulo e distribuzione e anche i calcoli dovranno seguire lo stesso ragionamento.

Prima di tutto è necessario stimare il quantitativo di acqua piovana che può essere raccolta dalle coperture degli edifici residenziali del quartiere, tramite la seguente formula

$$Q = \varphi \cdot P \cdot A$$

Dove:

Q: afflusso meteorico annuo [l]

φ : coefficiente di afflusso, che per le coperture a falda in tegole corrisponde a 0,8

P: precipitazione piovosa annua [mm]

A: proiezione orizzontale di superficie di captazione [m²]

Le precipitazioni annue per il comune di Torino sono pari a 981 mm, come riportato nei dati dell'atlante climatico d'Italia del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare 1971-2000 e mostrate nella Tabella

Tabella 3. Precipitazioni mensili nel comune di Torino

Periodo	Precipitazioni [mm]	Giorni di pioggia	Periodo di giorni secchi
Gennaio	47,8	5	26
Febbraio	47,1	4	24
Marzo	72,5	6	25
Aprile	113,3	9	21
Maggio	145,3	11	20
Giugno	104,3	9	21
Luglio	70,5	6	25
Agosto	76,1	8	23
Settembre	83,8	6	24
Ottobre	106,1	7	24
Novembre	69,1	6	24
Dicembre	45,1	4	27
Tot	981		

Il secondo passo è consistito nella determinazione della richiesta di acqua del servizio che si vuole coprire dall'acqua piovana. Le acque meteoriche in questo caso studio verranno utilizzate solamente per lo scarico del wc, perciò saranno esclusi gli altri possibili usi come per l'irrigazione o l'utilizzo di acqua per le lavatrici.

La stima del volume di acqua richiesta per il wc è stata calcolata tramite la seguente formula

$$R=n \cdot r \cdot 365$$

Dove:

R: richiesta idrica annua [l]

n: abitanti serviti dall'impianto

r: richiesta giornaliera pro capite [l/ab giorno]

365: arco temporale annuo [giorni]

Sia l'afflusso meteorico annuo che la richiesta idrica annua dovranno essere calcolate per tutti gli isolati del quartiere. Infatti per ogni isolato è stata calcolata la superficie di captazione, mentre per stabilire il volume di acqua richiesto si sono stimati gli abitanti per ogni isolato dividendo la superficie dei vari isolati per la superficie media di un'abitazione ad abitante. La superficie media per abitante è stata ricavata dividendo la superficie totale degli edifici residenziali per gli abitanti del quartiere.

A questo punto, conoscendo i dati della disponibilità di acqua piovana e della domanda si è stimato il volume degli accumuli. Per effettuare il calcolo si è utilizzata la procedura semplificata, che può essere impiegata solo nei casi in cui sono verificate le seguenti condizioni [7]:

- La richiesta di acqua piovana per uso domestico deve avere una domanda pressoché uniforme nel corso dell'anno. Infatti la richiesta di acqua per lo scarico del wc è regolare durante tutto l'anno, mentre ad esempio la domanda di acqua per irrigazione si concentra nei periodi secchi;
- La tipologia prevalente, delle superfici di captazione, deve essere la copertura;
- Il sistema di accumulo deve essere chiuso e/o coperto, in modo da evitare sensibili perdite di acqua per evaporazione.

Sono stati necessari due calcoli, il primo per il volume utile del sistema di accumulo e il secondo per il volume ottimale.

$$V_u = \text{minimo fra i valori di } [Q \text{ o } R] \cdot F_p$$

Dove:

V_u: volume utile [l]

Q: afflusso meteorico [l]

R: richiesta annua per usi wc [l]

F_p : fattore adimensionale [-], pari al rapporto fra il periodo massimo annuo di giorni consecutivi, con assenza di precipitazioni, ed i giorni dell'anno. ($27/365 = 0,07$)

$$V_o = V_u \cdot C_s$$

Dove:

V_o : volume ottimale del sistema di accumulo [l]

V_u : volume utile del sistema di accumulo [l]

C_s : coefficiente di sicurezza pari a 1,5 [-]

Conoscere il volume di accumulo non è solo importante per stimare la copertura dei servizi dall'acqua piovana, ma anche per poter stimare successivamente i costi di installazione.

Il potenziale risparmio mensile di acqua potabile è determinato dalla seguente equazione:

$$PPWS = (100 VR) / PWD$$

Dove:

PPWS: potenziale di risparmio di acqua potabile nel quartiere [%]

VR: volume mensile di acqua piovana che può essere raccolta nel quartiere [m^3 /mese]

PWD: domanda mensile di acqua potabile nel quartiere [m^3 /mese]

L'utilizzo dell'acqua piovana permette una riduzione di $371.981 m^3$ di acqua potabile. Alla luce di tale dato i consumi delle diverse misure sono mostrati nella tabella 4.

Tabella 4: Consumi di acqua potabile per le diverse misure.

	Stato di fatto	W1	W2	W3
litri acqua potabile anno	3.067.111.060	2.505.323.373	1.926.362.709	1475451934
litri acqua potabile giorno	8.403.044	6.863.900	5.277.706	4.042.334
litri/abitanti giorno	212,0	173,2	133,2	102,0
m^3 abitante/anno	84	69	53	41

Per la raccolta dell'acqua piovana sarà necessario stimare i costi per l'installazione del sistema. Poiché sono presenti 170 isolati con proprie caratteristiche il calcolo diventerebbe molto laborioso se effettuato per ognuno di essi, perciò si applicherà una procedura semplificata. Questa consiste nell'individuare un "isolato tipo" in cui si calcoleranno tutte le installazioni necessarie e si ricaverà un valore al m^2 . In questo modo esso verrà applicato in tutti gli isolati moltiplicato per la loro superficie. Per gli accumuli invece non potrà essere utilizzato questo metodo, ma verranno raggruppati gli accumuli di dimensioni simili, in modo da diminuire le tipologie di cui si dovrà valutare il costo.

6.3. Illuminazione pubblica

Per diminuire i consumi legati all'illuminazione pubblica si è ipotizzato di sostituire le lampade tradizionali con quelle a LED. Poiché buona parte del quartiere ha già subito questa trasformazione, si è creato un unico scenario in cui vengono applicate le lampade a LED anche nella parte mancante.

- L1: sostituzione lampade tradizionali con lampade a LED (100% del quartiere)

Per la stima dei consumi e delle emissioni di CO₂ è stata eseguita la stessa metodologia richiesta per i calcoli nello stato di fatto. Nella tabella 5 sono mostrati i consumi associati all'applicazione delle lampade a LED.

Tabella 5. Consumi ed emissioni illuminazione pubblica dovuti all'applicazione della misura L1.

	n°	Potenza [W]	n° ore di accensione annuali [h]	Potenza totale [kW]	Consumi annui totali [kW]	CO ₂ emessa [kg]
Lampade a LED	2359	75	4180	177	739.547	319.632

Paragonandolo allo stato di fatto si ottiene:

	Stato di fatto	Misura L1
Consumi elettrici [MWh/anno]	829,2	728,3

6.4. Trasporti

Per quanto riguarda il settore dei trasporti, come visto nello stato di fatto si è analizzato sia quello pubblico che privato. La scelta delle misure di intervento è stata indirizzata verso la riduzione dei consumi di carburante e delle emissioni. Le azioni ipotizzate sono le seguenti:

- Modifica alimentazione autobus / automobili
- Incremento autobus
- Diminuzione utilizzo auto privata

Le modifiche dell'alimentazione dei mezzi di trasporto ha seguito le indicazioni fornite dal PUMS [8] e dalla Regione Piemonte [9] che fissano degli obiettivi su un orizzonte temporale di lungo periodo. Si è scelto di creare due diverse misure sia per il trasporto pubblico che per quello privato, di cui una risulta essere più invasiva dell'altra. A queste due misure verrà aggiunta la diminuzione delle auto e l'incremento degli autobus.

In conclusione le misure complessive sono 4:

- T1: Trasporto pubblico
Bus metano 50%, Bus elettrici 50%
Trasporto privato
Auto zero emissioni 25%
- T2: Trasporto pubblico
Bus elettrici 100%
Trasporto privato
Auto zero emissioni 50%
- T1A: Trasporto pubblico
Bus metano 50%, Bus elettrici 50%, incremento autobus
Trasporto privato
Auto zero emissioni 25%, riduzione numero automobili
- T2A: Trasporto pubblico
Bus elettrici 100%, incremento autobus
Trasporto privato
Auto zero emissioni 50%, riduzione numero automobili

Tutte le misure comportano una modifica della tipologia di alimentazione degli autobus presenti, perciò è richiesto conoscere il numero di autobus necessari per lo svolgimento del servizio di trasporto. Il quantitativo è stato calcolato per ogni linea analizzata nello stato di fatto ed è mostrato nella tabella 6. Per apprendere tale dato è stata effettuata una stima a partire dalla durata della tratta (da capolinea a capolinea) e dal tempo di intervallo di passaggio tra un autobus e l'altro nelle ore di punta, considerando entrambi i sensi di marcia ad esclusione delle linee passanti lungo Via Vittorio Emanuele e Corso Bramante¹.

Tabella 6. Numero massimo di autobus necessari per ogni linea.

	Linea 1	Linea 18	Linea 35	Linea 42	Linea 61	Linea 67	Linea 33
N° autobus	2	20	2	8	7	11	7
	Linea 52	Linea 68	Linea 17	Linea 34	Linea 47	Linea 66	Tot
N° autobus	7	9	11	4	1	3	92

Tale dato sarà necessario per determinare i costi della sostituzione degli autobus.

Per calcolare i consumi di carburante, elettricità e delle emissioni, si è proceduto come per lo stato di fatto. Poiché nello stato di fatto non erano presenti autobus elettrici, se ne parlerà più dettagliatamente in questa fase. Questi veicoli sono considerati a zero emissioni di CO₂, ma sono da valutare le emissioni generate dalla produzione di elettricità [10]. Sulla base di quanto detto le emissioni di CO₂ dei veicoli elettrici sono pari a 0,4332 kg/kWh. Il consumo di elettricità

¹ Gli autobus passanti lungo queste due vie sono state considerati per un solo senso di marcia (quello adiacente al quartiere), poiché le suddette vie rappresentano i confini tra un quartiere e l'altro. L'altro senso di marcia non influenzerà il caso studio.

invece è pari a 1,04 kWh/km [11].

L'incremento di autobus è stato imposto come un aumento del 20% della frequenza dei passaggi delle linee. Il numero totale di autobus necessari per tale intervento è mostrato nella tabella 7.

Tabella 7. Numero massimo di autobus necessari per ogni linea dato l'aumento dei passaggi.

	Linea 1	Linea 18	Linea 35	Linea 42	Linea 61	Linea 67	Linea 33
N° autobus	3	24	3	10	9	14	9
	Linea 52	Linea 68	Linea 17	Linea 34	Linea 47	Linea 66	Tot
N° autobus	9	11	13	5	1	4	115

Con l'aumento dei passaggi degli autobus aumenteranno di conseguenza anche i chilometri percorsi da essi, i consumi e le emissioni. I calcoli hanno seguito la stessa procedura dello stato di fatto.

Effettuato il calcolo per i trasporti pubblici, sono state analizzate le automobili.

Nella misura di intervento in cui si parla di auto a zero emissioni, si fa riferimento alle automobili elettriche. La loro quota di presenza all'interno del quartiere sarà recuperata eliminando in parte quelle a benzina e in parte quelle a diesel che sono la tipologia più presente. Alle auto elettriche è stato assegnato un consumo di 0,137² kWh/km ed un'emissione di CO₂ di 0,4332 kg/kWh. Le emissioni di CO₂ dei veicoli elettrici, come per gli autobus, sono nulle se si valutano solo quelle prodotte dallo scarico, ma nella seguente analisi sono state valutate le emissioni dovute alla produzione e alla distribuzione dell'elettricità per l'alimentazione del veicolo. Per quanto riguarda le emissioni di particolato, i veicoli elettrici non emettono alcuna emissione dallo scarico.

Nella misura di intervento in cui si prevede l'aumento dell'efficienza del trasporto pubblico, dovuto all'aumento della frequenza dei passaggi, è possibile che alcuni abitanti del quartiere scelgano di non possedere più l'automobile. Si è perciò ipotizzato di raggiungere la media europea di possesso dell'auto che si assesta a 0,5 auto per abitante, rispetto a 0,63 di Torino. La diminuzione del possesso dell'automobile può essere vista come la conseguenza dell'aumento del trasporto pubblico, per cui gli abitanti prediligono spostarsi con questi mezzi piuttosto che con l'auto privata, o ad esempio tramite una mobilità lenta (bici e piedi) e l'aumento dell'utilizzo di sistemi di car-sharing.

Automobili quartiere dopo riduzione possesso: 19.819

² Media dei consumi di alcune tipologie di auto elettriche.

La riduzione delle automobili implicherà una riduzione degli spostamenti e perciò dei chilometri percorsi, del consumo di carburante e delle relative emissioni.

Dall'unione delle misure si sono ricavati i consumi mostrati nella tabella 8.

Tabella 8. Consumi carburante ed elettricità dello stato di fatto e delle misure di trasformazione.

Stato di fatto							
<i>Bus</i>	Diesel	117,7	m³/anno	<i>Auto</i>	Diesel, benzina, GPL	3750,6	m³/anno
	Metano	89,9	t/anno		Metano	32,6	t/anno
					Elettricità	1,1	MWh/anno
T1							
<i>Bus</i>	Metano	140,6	t/anno	<i>Auto</i>	Diesel, benzina, GPL	2783,4	m³/anno
	Elettricità	252,1	MWh/anno		Metano	32,6	t/anno
					Elettricità	1657,7	MWh/anno
T1A							
<i>Bus</i>	Metano	168,7	t/anno	<i>Auto</i>	Diesel, benzina, GPL	1705,8	m³/anno
	Elettricità	302,5	MWh/anno		Metano	20,0	t/anno
					Elettricità	1297,7	MWh/anno
T2							
<i>Bus</i>	Elettricità	504,2	MWh/anno	<i>Auto</i>	Diesel, benzina, GPL	1814,8	m³/anno
					Metano	32,7	t/anno
					Elettricità	3315,5	MWh/anno
T2A							
<i>Bus</i>	Elettricità	605,1	MWh/anno	<i>Auto</i>	Diesel, benzina, GPL	1112,3	m³/anno
					Metano	20,1	t/anno
					Elettricità	2595,4	MWh/anno

Le emissioni di CO₂ e PM₁₀ sono mostrate nella tabella 9.

Tabella 9. Emissioni CO₂ e PM₁₀ dello stato di fatto e delle diverse misure di trasformazione.

Stato di fatto							
<i>Bus</i>	CO ₂	593,5	t/anno	<i>Auto</i>	CO ₂	8142,6	t/anno
	PM ₁₀	72,9	t/anno		PM ₁₀	1,9	t/anno

		T1					
Bus	CO ₂	426,3	t/anno	Auto	CO ₂	6155,3	t/anno
	PM ₁₀	20,1	t/anno		PM ₁₀	1,3	t/anno
		T1A					
Bus	CO ₂	511,6	t/anno	Auto	CO ₂	3773,2	t/anno
	PM ₁₀	24,1	t/anno		PM ₁₀	0,8	t/anno
		T2					
Bus	CO ₂	218,4	t/anno	Auto	CO ₂	4166,1	t/anno
	PM ₁₀	0,0	t/anno		PM ₁₀	0,8	t/anno
		T2A					
Bus	CO ₂	262,1	t/anno	Auto	CO ₂	2555,2	t/anno
	PM ₁₀	0,0	t/anno		PM ₁₀	0,5	t/anno

L'aumento della presenza delle macchine elettriche comporterà anche l'introduzione di nuove stazioni di ricarica per le autovetture. Il numero di stazioni è stato ipotizzato di 1 ogni 10 auto elettriche, come suggerito dalla Commissione Europea [12].

6.5. Rifiuti

Per il settore dei rifiuti si sono ipotizzati due scenari volti a ridurre il consumo di carburante per l'utilizzo dei mezzi di raccolta e delle emissioni. Le misure sono le seguenti:

- R1: raccolta porta a porta con mezzi a metano;
- R2: raccolta rifiuti nelle isole interrato (organico, plastica, vetro e rifiuto indifferenziato), raccolta porta a porta con mezzi a metano (carta).

La prima misura è stata scelta seguendo le linee di trasformazione prefissate dall'Amiat, per rendere la raccolta dei rifiuti meno inquinante.

Per la creazione della seconda misura sono state stimate il numero e la configurazione delle isole interrato. Il calcolo è stato effettuato a partire dai dati relativi alla raccolta dei rifiuti nel territorio torinese [13] e sono stati rapportati al quartiere di San Salvario tramite il numero di abitanti. Dalla stessa fonte è stato possibile ricavare la percentuale di materiale riciclato per ogni tipologia di rifiuto. In questo modo si sono stimati i quantitativi di rifiuti per ciascun conferimento. In base a tale dato si è proceduto a dimensionare le isole interrato.

La capacità dei contenitori interrati varia da 3 a 5 m³. Quelli da 3 m³ sono di norma utilizzate per il conferimento del vetro, poiché volumi maggiori causerebbero pesi eccessivi per il sollevamento. Per il conferimento dell'umido è sconsigliato l'utilizzo di grandi volumi, poiché necessitano di maggiori svuotamenti a causa della possibile diffusione di cattivi odori. Per conoscere il numero di contenitori necessari è fondamentale conoscere il quantitativo di rifiuti prodotti tra un passaggio di raccolta e l'altro. Sulla base di quanto detto sono state computate 83 isole interrato, come mostrato nella tabella 10.

Tabella 10. Conformazione isole interraste.

Isola interrata tipo 1	40
1 Contenitore organico 3mc	40
1 Contenitore vetro 3 mc	40
4 Contenitori plastica 5 mc	160
4 Contenitori indifferenziato 5 mc	160
Isola interrata tipo 2	30
2 Contenitori plastica 5 mc	60
3 Contenitori indifferenziato 5 mc	90
Isola interrata tipo 3	13
1 Contenitore organico 3mc	13
1 Contenitore vetro 3 mc	13
1 Contenitori plastica 5 mc	13
4 Contenitori indifferenziato 5 mc	52

Nelle isole si è deciso di non predisporre i contenitori della carta poiché il loro numero sarebbe stato troppo elevato. Per il conferimento della carta si manterrà perciò la raccolta porta a porta. Come per lo stato di fatto si è proceduto a stimare i chilometri percorsi nelle misure di trasformazione. Le isole potranno essere poste sulla strada, poiché la loro larghezza è minore di quella di un parcheggio. Per diminuire il percorso di raccolta le isole sono state posizionate lungo vie parallele, riducendo il percorso a 17,6 chilometri. Il numero di passaggi saranno 5 a settimana. La raccolta della carta manterrà lo stesso percorso del porta a porta, ossia 37 chilometri e verrà raccolta 1 volta a settimana.

Chilometri percorsi dai mezzi: 125 km/settimana

Non si sono riuscite a reperire informazioni sul consumo di carburante e sulle emissioni dei mezzi a metano, perciò si sono ipotizzate uguali a quelle di un autobus a metano, date le dimensioni simili. I risultati sono mostrati nella tabella

Tabella . Consumi carburante, emissioni CO₂ e PM₁₀ dello stato di fatto e delle misure di trasformazione

	Stato di fatto		R1		R2	
Consumi	Diesel	6926,4 l/anno	Metano	6695,5 kg/anno	Metano	3770 kg/anno
Emissioni	CO ₂	14,1 t/anno	CO ₂	15,1 t/anno	CO ₂	8,5 t/anno
	PM ₁₀	0,0036 t/anno	PM ₁₀	0,0010 t/anno	PM ₁₀	0,00054 t/anno



Valutazione degli scenari tramite l'analisi COSIMA

7. Valutazione degli scenari tramite l'analisi COSIMA

L'obiettivo dell'analisi consiste nella determinazione della migliore alternativa di trasformazione verso un quartiere sostenibile, considerando i benefici prodotti dalle misure di trasformazione ma anche i loro impatti.

Dopo aver definito lo situazione attuale del quartiere e le diverse misure che concorrono a creare un ambiente con più bassi consumi energetici ed emissioni, è possibile analizzare più a fondo quello che realmente potrebbero produrre su tutta la comunità interessata. La trasformazione del quartiere coinvolge diversi aspetti, come quello economico, ambientale e sociale. La sola analisi Costi-Benefici risulta incompleta per questo obiettivo, poiché non riesce a considerare al suo interno diverse sfumature che possono essere essenziali per la corretta valutazione. Per questo motivo l'analisi scelta per la valutazione è stata COSIMA, una metodologia composta formata dall'analisi Costi-Benefici e Multi-Criteri.

Prima di poter procedere all'analisi è necessario definire gli scenari che verranno valutati tramite essa. Essi saranno composti da una misura di trasformazione per ogni settore, perciò ogni scenario sarà composto da 5 diverse singole misure. Gli scenari totali che possono essere generati sono 192, ma ne sono stati selezionati solamente 12, in quanto risulta quasi impossibile riuscire a valutare ognuno di essi. Quelli scelti sono stati selezionati precedentemente alla valutazione di costi, benefici ed impatti e perciò scelti secondo una decisione arbitraria.

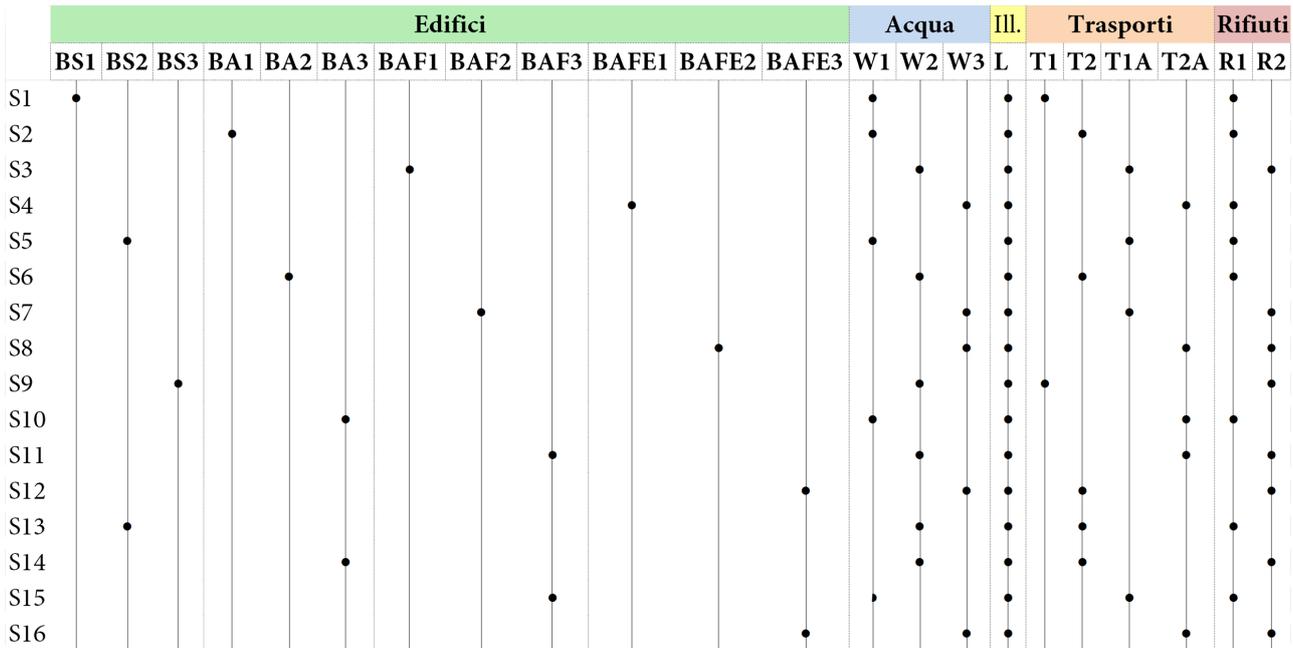
7.1. Scenari

La selezione innanzitutto è partita dall'identificazione di quello meno invasivo e di quello più invasivo che sono rispettivamente:

- S1: BS1 W1 L T1 R1 (meno invasivo)
- S16: BAFE3 W3 L T2A R2 (più invasivo)

Dopodiché sono stati selezionati gli altri 14 rimanenti in cui sono state inserite le misure che non erano presenti nei due principali, in modo che tutte fossero in qualche modo valutate e si è cercato di creare degli scenari che fossero comparabili tra di loro, modificando solo alcune voci.

- S2: BA1 W1 L T2 R1
- S3: BAF1 W2 L T1A R2
- S4: BAFE1 W3 L T2A R1
- S5: BS2 W1 L T1A R1
- S6: BA2 W2 L T2 R1
- S7: BAF2 W3 L T1A R2
- S8: BAFE2 W3 L T2A R2
- S9: BS3 W2 L T1 R2
- S10: BA3 W1 L T2A R1
- S11: BAF3 W2 L T2A R2
- S12: BAFE3 W3 L T2 R2
- S13: BS2 W2 L T2 R1
- S14: BA1 W2 L T2 R2
- S15: BAF3 W2 L T1A R1



In seguito dovranno essere calcolati costi, benefici in termini monetari e i criteri, in modo da verificare quale di questi risulta l'alternativa migliore per una trasformazione sostenibile del quartiere di San Salvario. Essi sono stati considerati in un primo momento per ogni singola misura e successivamente sono stati uniti per creare gli scenari selezionati.

Prima di procedere con la valutazione, è stata analizzata la riduzione del fabbisogno di energia primaria e delle emissioni di CO₂ per ogni scenario rispetto allo stato di fatto.

Figura 1: Riduzione fabbisogno energia primaria [MWh] rispetto allo stato di fatto.

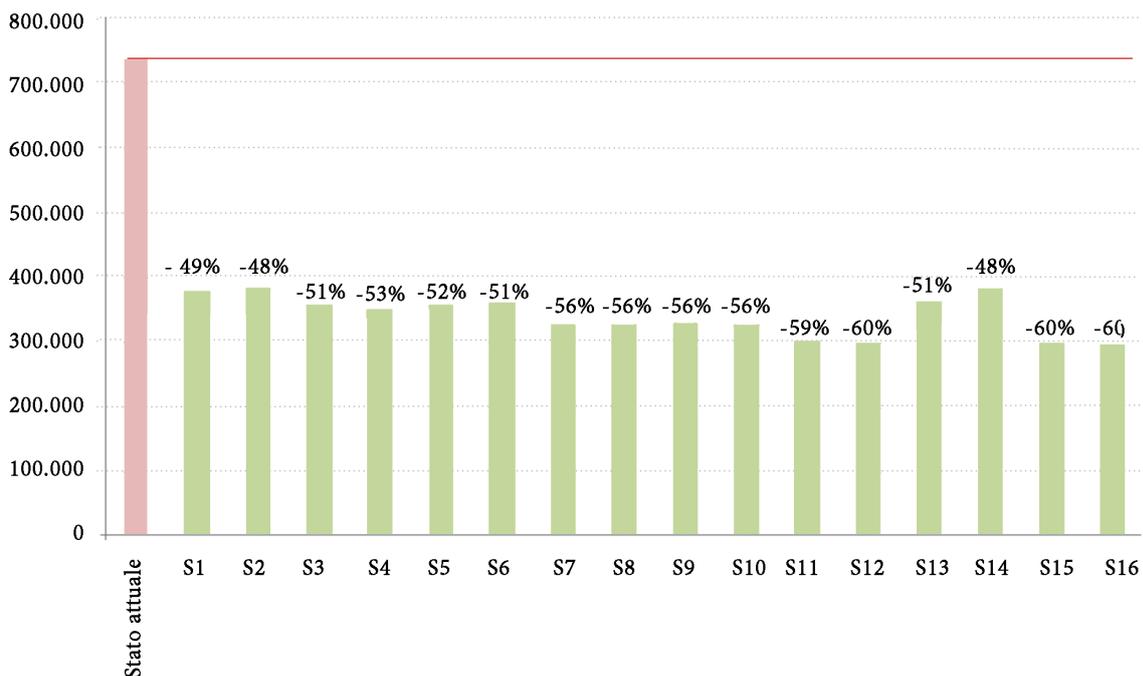
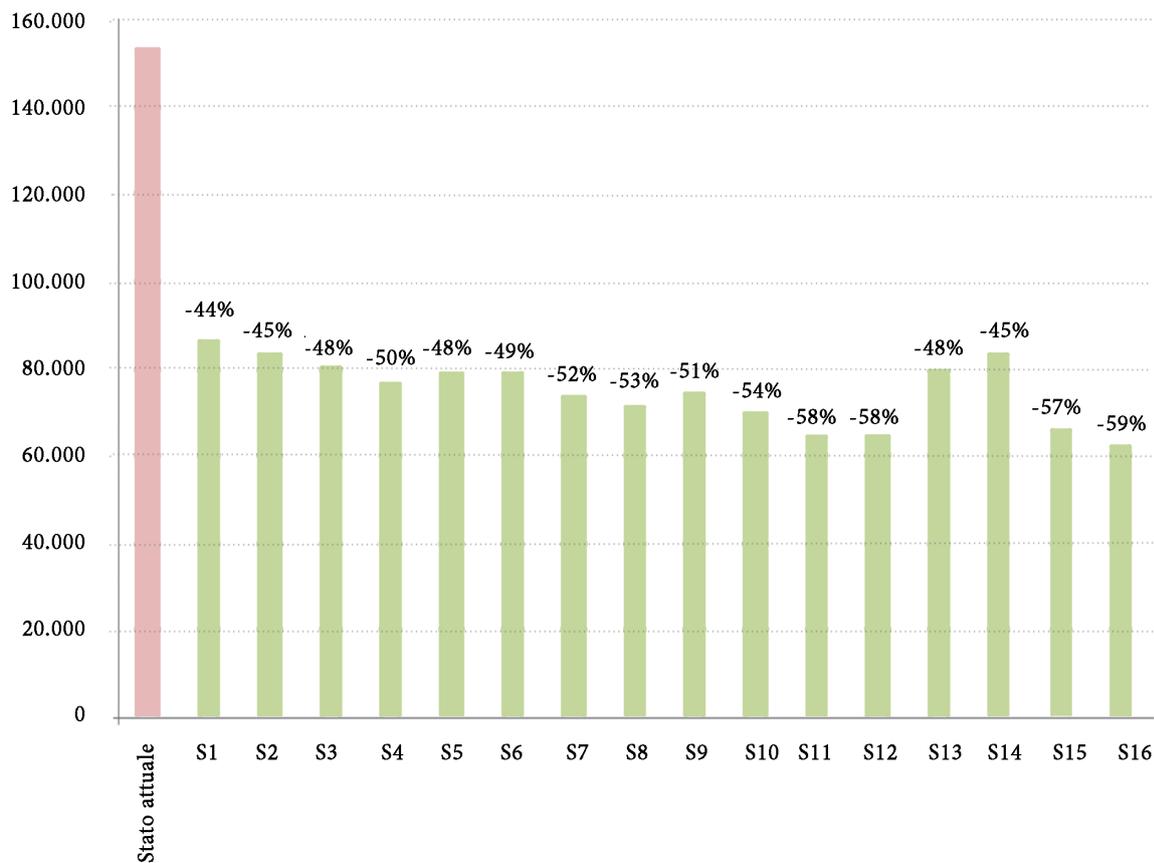


Figura 2: Riduzione emissioni di CO₂ [tonnellate] rispetto allo stato di fatto.

Dall'analisi di questi dati si può riscontrare nello scenario 16 si ottiene la maggior riduzione sia di energia primaria che di emissioni di CO₂. Con l'analisi seguente si valuterà se questo scenario risulta il migliore anche in termini di benefici e di impatti.

7.2. Analisi Costi-Benefici

Le misure di trasformazione del quartiere possono portare con sé diversi benefici che possono rendere più favorevole la scelta di un'alternativa rispetto ad un'altra. Come già detto, questi benefici possono essere monetizzati e consentono la valutazione tramite un ritorno economico, degli scenari di trasformazione rispetto allo stato di fatto.

La prima parte di questa analisi verte sulla monetizzazione dei costi delle diverse misure ed in seguito dei benefici.

7.2.1. Costi

Per la valutazione economica sono stati stimati i costi necessari alla realizzazione delle diverse misure di efficientamento energetico nei diversi settori coinvolti, calcolati tramite la formula del Costo Globale (CG), secondo la norma EN 15459-2017 [1]. Questa formula include all'interno di essa diverse tipologie di costi che intercorrono durante l'intero ciclo di vita dell'edificio e sono:

- Costo d'investimento;
- Costi operativi (manutenzione, costi operativi e costi energetici);
- Costi di sostituzione degli elementi secondo la loro durata nel periodo considerato;
- Valore residuo che il bene possiede al termine della sua vita utile.

L'arco temporale entro cui questi costi devono essere stimati è di 30 anni.

C1 - Costo d'investimento

Il primo passo ha richiesto la valutazione del costo d'investimento iniziale per ogni singola misura. Questo costo è la spesa connessa alla realizzazione degli interventi. Nel nostro caso il costo d'investimento viene considerato fino ad un massimo di 10 anni dall'inizio del periodo di calcolo, dopodiché si assume che gli interventi per la messa in opera delle misure di efficientamento energetico siano concluse. Il tempo d'investimento per ogni settore è mostrato nella tabella 1.

Tabella 1. Tempo d'investimento delle diverse misure di trasformazione

Settore	Misura	Tempo d'investimento
Edifici	50% retrofit	5 anni
	70% retrofit	7 anni
	100% retrofit	10 anni
illuminazione appartamenti		1 anno
Acqua	Aeratori e Wc	1 anno
	Acqua piovana	5 anni
	Elettrodomestici	1 anno
illuminazione pubblica		1 anno
Trasporti	Bus	2 anni
	Colonnine elettriche	2 anni
Rifiuti	Mezzi e isole interrati	1 anno

Ogni settore avrà diversi costi iniziali da considerare.

Edifici

Per il settore edilizio sono stati stimati i costi per la modifica dell'involucro degli edifici, tramite un miglior isolamento, e dei loro impianti, per l'implementazione del teleriscaldamento e dei sistemi fotovoltaici. I costi che sono stati utilizzati provenivano dal prezzario della Regione Piemonte (2019) [2] poiché il caso studio fa riferimento proprio a questa regione e i prezzi presenti in questo documento sono riferiti per quest'area. Tuttavia è stato necessario, per alcune voci, utilizzare degli altri riferimenti, in quanto mancanti nel suddetto prezzario. I riferimenti alternativi sono stati: il prezzario della Provincia Autonoma di Bolzano - Alto Adige (2019) [3],

il listino prezzi del Comune di Milano (2019) [4] e in alcuni casi si sono ottenuti i prezzi da informazioni commerciali.

Per ricavare il costo totale per gli edifici del quartiere si sono stimati gli interventi sugli edifici di riferimento. Conoscendo le trasmittanze da raggiungere dei diversi componenti dell'edificio, per le diverse misure di efficienza energetica, si sono stimati gli spessori di isolante necessari. I costi che sono stati inclusi per gli edifici sono i seguenti: sostituzione porte e finestre, realizzazione cappotto sulle pareti esterne, isolamento solaio superiore, inferiore ed inferiore controterra, realizzazione di copertura ventilata.

Tutti i costi presenti nel prezzario, per questi elementi, sono forniti con un valore di €/m², è bastato perciò moltiplicarli per le relative superfici degli elementi degli edifici di riferimento.

Dopo la stima dei costi per l'involucro edilizio si sono stimati quelli degli impianti. La loro trasformazione è consistita nell'installazione del teleriscaldamento e per lo scenario avanzato anche l'installazione dei pannelli fotovoltaici. Per l'implementazione del teleriscaldamento è necessario rimuovere le vecchie caldaie, installare delle sottostazioni e delle nuove pompe di circolazione. Anche la connessione alla rete di teleriscaldamento ha un costo che si verifica una tantum e che varia in base alla volumetria degli edifici [5].

I costi per il fotovoltaico sono stati suddivisi nelle due tipologie, ovvero i pannelli tradizionali e il fotovoltaico Solbian. Per entrambe le tipologie, i prezzi facevano riferimento alla potenza installata. Per i primi si sono utilizzati i costi da prezzario mentre per i secondi, data la loro unicità, sono state richieste informazioni direttamente all'azienda che li realizza. .

Acqua

I calcoli dei costi di investimento per il settore dell'acqua hanno riguardato i costi per aeratori e cassette del wc a doppio flusso. Per i primi si sono rintracciati i prezzi nel prezzario del Piemonte [2] mentre per le cassette dei wc si è utilizzato il prezzo commerciale. Per ottenere il calcolo sull'intero quartiere si è ipotizzato che gli edifici SFH e TH avessero al loro interno 2 bagni per cui conseguentemente sono presenti 2 lavandini in cui applicare gli aeratori e 2 wc in cui applicare le cassette. Per gli edifici MFH e AB si è ipotizzato che la metà degli appartamenti abbia 2 bagni e la restante metà ne abbia solo uno.

Il calcolo dei costi di investimento per il sistema di recupero delle acque meteoriche è stato effettuato partendo dal calcolo dei costi di investimento per un isolato tipo. Le voci di costo che sono state incluse nel calcolo sono state individuate nell'articolo di Farreny R. et al. [6] e sono state suddivise nei tre sistemi che compongono l'impianto: raccolta, accumulo e distribuzione. I costi sono stati in seguito attribuiti al quartiere nei seguenti modi:

- Per il sistema di raccolta si è calcolato il costo totale e lo si è diviso per la somma delle superfici al piano terra degli edifici residenziali dell'isolato tipo, ricavando così un valore €/m². Tale valore è stato moltiplicato per le superfici totali al piano terra del quartiere per ottenere il costo totale per il sistema di raccolta. I filtri, che fanno parte sempre di questo sistema, sono stati calcolati moltiplicando il prezzo di essi per il

numero di edifici, in quanto essi devono essere installati su ogni grondaia.

- Per il sistema di accumulo sono stati ricavati i costi totali per l'installazione dell'accumulo dell'isolato tipo. In seguito questo valore è stato suddiviso per il volume del suddetto serbatoio, ricavando così un valore €/m³. Tale valore è stato moltiplicato per il volume totale di tutti gli accumuli da installare nel quartiere.
- Per il sistema di distribuzione si è ricavato un valore €/isolato che è stato in seguito moltiplicato per il numero di isolati del quartiere.

Sommando i costi ottenuti per i diversi sistemi si è ricavato il costo totale di investimento per il recupero dell'acqua piovana nel quartiere.

L'ultimo costo d'investimento ha riguardato gli elettrodomestici che utilizzano l'acqua, ossia lavatrice e lavastoviglie. Si è effettuata una media dei costi commerciali, detratti dall'IVA. Tali costi sono stati applicati agli appartamenti del quartiere. La presenza degli elettrodomestici negli appartamenti la si è dedotta dai dati dell'ISTAT sul possesso delle famiglie degli elettrodomestici. In questo modo si sono ricavati i numeri di elettrodomestici e i costi totali.

Illuminazione pubblica

I costi d'investimento dell'illuminazione pubblica riguardavano la sostituzione degli attuali corpi illuminanti con quelli a LED. Nella parte più antica di San Salvario, che corrisponde alla zona del quadrilatero, i corpi illuminanti sono degli apparecchi di illuminazione storici della città di Torino, mentre nelle zone restanti gli apparecchi sono dei semplici lampioni. I primi sono del tipo "Santa Teresa con gonnella" installati a sospensione su testata con ottica stradale e "Ex gas quadrangolare". Per determinare il costo degli apparecchi storici si è utilizzato il prezzo della regione Piemonte e i dati ricavati da un documento di IREN [7], ottenendo un valore di 359,87 € ad apparecchio a sospensione e 310,87 € per i lampioni tradizionali.

Trasporti

I costi d'investimento nel settore dei trasporti coinvolgevano sia la parte pubblica che privata. Effettuando una ricerca sugli investimenti per l'acquisto di autobus a metano in diverse città italiane, è stato stimato un costo di 240.000 € per autobus [8] [9]. Per gli autobus elettrici invece si sono reperite delle informazioni sull'acquisto di questi per la città di Torino e si è stimato un valore di circa 370.000 € per autobus [10]. Nel calcolo dell'investimento è stato considerato il numero di autobus a metano già circolanti nel quartiere. Poiché l'investimento per la sostituzione della flotta è stata distribuita su due anni, gli autobus che verranno sostituiti per primi saranno quelli alimentati a diesel e la modifica dei consumi di carburante e delle emissioni dovranno seguire questa indicazione.

Una nota importante riguardo a questo settore è che i costi sono stati riferiti in base ai chilometri percorsi nel quartiere, in quanto vengono considerati i benefici apportati solo all'interno di questa area circoscritta. Per determinare il costo al chilometro sono stati prima di tutto ricavati

i chilometri percorsi mediamente da un autobus all'anno a Torino, rapportando il numero dei chilometri totali percorsi all'anno dall'intera flotta, per il numero di autobus circolanti, ricavati dal bilancio della sostenibilità del 2015. In seguito è stato diviso il costo dell'autobus per i chilometri percorsi all'anno da un singolo autobus, ricavando così il costo al chilometro. Conoscendo i chilometri percorsi da ogni linea è stato semplice determinare il costo totale d'investimento.

Per i trasporti privati, dato l'aumento delle macchine elettriche negli scenari di trasformazione sarà necessario installare delle stazioni di ricarica. Il costo per una stazione di ricarica è stato estratto da un documento di appalto per un comune della provincia di Trento [11]. Il costo comprende la fornitura e l'installazione della colonnina da 22 kW e i cavi di alimentazione, per un totale di 2.300 € a postazione.

Rifiuti

Infine si sono ricavati i costi di investimento per il settore dei rifiuti. Le misure di trasformazione prevedevano l'utilizzo di mezzi di raccolta a metano. Il costo per un mezzo a metano è pari a 176.000 € [12]. I costi delle isole interraste sono stati ricavati da [13] ed è pari a 7.450 € per contenitore. Tali valori sono stati perciò moltiplicati per le quantità delle relative voci.

Nella tabella 2 sono mostrati i costi totali d'investimento.

Tabella 2: Costi totali d'investimento delle misure di trasformazione.

BS1: 177.458.944,08	BAF1: 265.338.699,37
BS2: 226.458.292,44	BAF2: 349.592.798,84
BS3: 298.464.275,62	BAF3: 474.148.386,18
BA1: 204.651.594,49	BAFE1: 269.871.370,49
BA2: 264.619.878,53	BAFE2: 354.125.469,95
BA3: 352.886.278,91	BAFE3: 478.681.057,29
W1: 1.032.663,43	
W2: 10.093.156,23	W3: 24.016.565,63
L: 123.130,45	
T1: 4.599.286,45	T2: 8.590.062,54
T1A: 5.276.987,46	T2A: 9.093.537,04
R1: 1.232.000,00	R2: 6.007.450,00

C2 - Costi di gestione

I costi di gestione comprendono i costi di manutenzione e i costi di esercizio e avvengono durante "l'utilizzo" dei diversi elementi. Tutti i beni, nel corso della propria vita utile, necessitano di operazioni di manutenzione per il loro corretto funzionamento.

C2.1 - Costi di manutenzione

Edifici

Il costo di manutenzione per gli elementi degli edifici è stato determinato dalla BS EN 15459-1 del 2017 [14], che si focalizza sulla manutenzione dei componenti tecnici. In questa normativa i costi di manutenzione sono identificati con una percentuale annua sul costo dell'investimento iniziale. I dati utilizzati per questo studio hanno riguardato le pompe di circolazione e i pannelli fotovoltaici. Per la sottostazione di scambio termico invece non è presente alcuna voce in questa normativa e perciò la percentuale di manutenzione si è ricavata dal seguente studio [15].

Acqua

Per il sistema di raccolta dell'acqua piovana si sono reperiti gli intervalli di tempo per la manutenzione e l'ispezione nella UNI/TS 11445 del 2012 [16]. In questa normativa viene specificato che l'ispezione può essere effettuata anche dal proprietario stesso, mentre la manutenzione deve essere effettuata da un operaio specializzato, perciò i costi computati sono riferiti solo a quest'ultima parte. In questa normativa, a differenza di quella degli edifici, non sono presenti dei valori per identificare i costi della manutenzione, perciò sono state analizzate fonti alternative. Una di queste, che ha studiato i sistemi di raccolta di acqua piovana in comunità, fornisce un valore di manutenzione pari a 10% del costo di investimento iniziale [17] e comprende la pulizia del serbatoio di accumulo, la pulizia delle grondaie, la manutenzione delle pompe elettriche e dei filtri. Per le altre misure di trasformazione del settore dell'acqua invece non sono stati previsti costi di manutenzione.

Illuminazione pubblica

Per l'illuminazione pubblica si sono ricavati i costi di manutenzione per punto luce [18] e sono stati moltiplicati per il numero di lampioni del quartiere.

Trasporti

Passando al settore dei trasporti, i dati sulla manutenzione degli autobus urbani sono stati ricavati dal bilancio del Gruppo Torinese Trasporti in cui sono accorpate sia i costi di manutenzione che di ricambio [19]. Anche in questo caso si è ricavato un costo di manutenzione al chilometro, dividendo il costo totale per i chilometri percorsi. I costi di manutenzione per i trasporti non concernono quelli privati, in quanto la manutenzione delle colonnine di ricarica elettriche è già

compresa all'interno del costo del servizio di queste e perciò saranno visti in seguito.

Rifiuti

Per il settore dei rifiuti si sono ricavati i costi di manutenzione sono stati ricavati dal seguente documento [12], in cui veniva indicato un costo di manutenzione riferito su un periodo di 7 anni per 14 mezzi. Partendo da questi dati si è perciò ricavato il costo di manutenzione annuale per un singolo mezzo di raccolta, pari a 9897,14 €. La manutenzione delle isole interraste invece è stata ipotizzata pari all'1% del costo d'investimento, poiché non si sono riuscite ad ottenere informazioni più dettagliate.

Nella tabella 3 sono mostrati i costi di manutenzione annuali.

Tabella 3: Costi di manutenzione annuali delle misure di trasformazione.

BS1: 594.693,72	BAF1: 1.621.250,23
BS2: 555.853,77	BAF2: 1.997.213,76
BS3: 505.207,18	BAF3: 2.564.214,36
BA1: 589.606,64	BAFE1: 1.624.250,23
BA2: 548.73,82	BAFE2: 1.997.213,76
BA3: 494.984,89	BAFE3: 2.564.214,36
W1: 0	
W2: 906.049,28	W3: 906.049,28
L: 276.073,77	
T1: 50.172,96	T2: 50.172,96
T1A: 60.207,55	T2A: 60.207,55
R1: 69.280,00	R2: 117.034,50

C2.2 - Costi di esercizio

Determinati i costi di manutenzione si è passati a quelli di esercizio, ossia i costi di funzionamento che sono costanti per tutta la durata della vita economica utile.

Edifici

Negli edifici i costi di esercizio riguardano i costi connessi al consumo di energia per riscaldamento, acqua calda sanitaria e i consumi degli ausiliari per il sistema di distribuzione e generazione [20]. Questi costi sono dovuti perciò a differenti vettori energetici, come gas naturale, gasolio,

elettricità, teleriscaldamento ecc. Il foglio di calcolo utilizzato era stato sviluppato per l'articolo [20] e considera i prezzi italiani e del territorio di Torino, dei vari vettori energetici. In questo foglio di calcolo sono stati inseriti i dati dei consumi dei diversi vettori energetici per gli edifici di riferimento, per lo stato attuale e per tutte le misure di trasformazione. In questo modo sono stati individuati dei valori parametrici in €/m² per ogni edificio di riferimento e che sono stati moltiplicati per i m² per ogni tipologia edilizia del quartiere.

I consumi energetici elettrici negli edifici riguardano anche gli usi comuni e quelli dei singoli alloggi. Entrambi sono stati moltiplicati per il costo dell'energia elettrica [21]. Il calcolo è stato effettuato sia per lo stato di fatto, in quanto è da considerare in quegli scenari dove non si apportano modifiche, sia per la misura di trasformazione. Per gli usi comuni lo scenario di trasformazione riguarderà l'installazione del fotovoltaico e questi consumi saranno totalmente coperti dalla produzione di elettricità derivante dall'energia solare. I consumi all'interno delle abitazioni invece fanno riferimento agli elettrodomestici più efficienti e all'illuminazione a LED.

Acqua

I costi di esercizio per il settore dell'acqua riguardano esclusivamente i costi elettrici. Per il caso dell'acqua piovana, essi includono i costi relativi alle pompe elettriche.

Potenza pompe di circolazione [kW]

0,37

Ore giornaliere di funzionamento[h]

10

Per il caso in cui vengono utilizzati elettrodomestici più efficienti si sono moltiplicati i consumi per il numero di appartamenti in cui è presente tale elettrodomestico.

Infine entrambi i consumi sono stati moltiplicati per il costo dell'elettricità, assunto pari a 0,234 € [22]. Nel caso degli elettrodomestici si sono calcolati anche i costi con gli elettrodomestici attuali, in modo da inserirli nelle misure in cui non è prevista la loro modifica.

Illuminazione pubblica

Il costo dell'elettricità per l'illuminazione pubblica ha una tariffa diversa rispetto a quella privata ed è pari a 0,06847 €/kWh per il 2019 [23].

Trasporti

Nel settore della mobilità, per i bus i costi di esercizio, come già detto, erano inclusi in quelli di manutenzione. Per le auto private invece si è ipotizzato che esse vengano ricaricate tutte in stazioni di ricarica pubbliche. I prezzi considerati sono perciò quelli forniti dal servizio BlueTorino per le auto private [24] e comportano 15€ di abbonamento annuale e una tariffa di 4 €/ora. Le colonnine installate sono tutte da 22 kW per cui il costo a kWh per la ricarica corrisponde a 0,18 cent/kWh.

I costi di esercizio per il settore dei trasporti includono anche i costi correlati al consumo di carburante. I prezzi dei diversi carburanti sono stati ricavati da [25] in data 09/04/2019 e sono mostrati nella tabella 4.

Tabella 4: Costo carburante al 09/04/2019

Benzina	1,616	€/l
Diesel	1,499	€/l
GPL	0,637	€/l
Metano	1,025	€/kg
Elettricità	0,02	€/kWh

Per il trasporto privato sarà escluso il calcolo dell'elettricità, poiché i costi sono già stati determinati e sono pari alla ricarica del veicolo.

Rifiuti

I costi di esercizio per la raccolta dei rifiuti sono stati reperiti sempre nel Bilancio d'esercizio [26] ed anche per questo settore è stato calcolato il costo del carburante per le due misure di trasformazione.

Nella tabella 5 sono mostrati i costi di esercizio annuali, mentre nella tabella 6 i costi associati al consumo di carburante

Tabella 5: Costi di esercizio annuali delle misure di trasformazione.

BS1: 32.092.391,39	BAF1: 31.128.700,49
BS2: 29.718.309,60	BAF2: 28.423.849,60
BS3: 26.203.234,73	BAF3: 24.413.320,55
BA1: 31.877.892,73	BAFE1: 30.644.500,30
BA2: 29.418.212,52	BAFE2: 27.939.649,41
BA3: 25.773.878,07	BAFE3: 23.929.120,37
W1: 7.964.159,25	
W2: 8.017.882,14	W3: 7.539.187,96
L: 50.636,75	
T1: 413.331,08	T2: 813.023,22
T1A: 310.261,15	T2A: 636.465,60
R1: 7.761.200,49	R2: 7.761.200,49

Tabella 6: Costi del carburante per trasporti e rifiuti.

T1: 4.283.009,14	T2: 2.704.096,20
T1A: 2.739.522,86	T2A: 1.674.550,45
R1: 6.862,91	R2: 3.864,25

C2.3 - Costi ambientali

Gli ultimi costi di gestione che dovranno essere presi in considerazione sono i costi ambientali. Tali costi riguardano i danni provocati dagli inquinanti nell'ambiente e corrispondono all'external cost e all'emissione di CO₂ e PM₁₀. Essi verranno approfonditi in seguito nella determinazione dei benefici.

Nella tabella 7 sono determinati i costi associati all'external cost per edifici, acqua ed illuminazione, mentre per i trasporti e rifiuti sono determinati i costi di CO₂ e PM₁₀

Tabella 7: Costi ambientali delle misure di trasformazione

External Cost	
BS1: 1.297.550,06	BAF1: 1.220.905,30
BS2: 1.206.776,91	BAF2: 1.103.254,50
BS3: 1.072.376,60	BAF3: 1.046.304,23
BA1: 1.289.341,45	BAFE1: 1.187.176,83
BA2: 1.195.293,98	BAFE2: 1.069.526,83
BA3: 1.055.947,67	BAFE3: 1.012.575,76
W1: 554.768,36	
W2: 554.790,37	W3: 521.445,43
L: 12.054,61	
CO ₂	
T1: 131.632,20	T2: 87.690,49
T1A: 85.695,95	T2A: 56.346,02
R1: 19,15	R2: 10,78
PM ₁₀	
T1: 14.649,60	T2: 8.708,43
T1A: 9.105,56	T2A: 5.337,22
R1: 10,34	R2: 5,82

C3 - Costi di sostituzione

I costi di sostituzione sono associati alla sostituzione dei componenti alla fine della loro vita utile, per garantire la corretta funzione dell'elemento. Essi sono compresi all'interno dell'analisi quando la loro vita utile è inferiore al periodo di calcolo considerato, che nel nostro caso è di 30 anni. I costi di sostituzione saranno quelli utilizzati per determinare il costo di investimento iniziale. Nella tabella 8 sono mostrati gli anni di vita utile degli elementi.

Tabella 8: Vita utile degli elementi

Settore	Sottocategoria	Elemento	Durata ciclo di vita
Edifici	Involucro	Isolamento	50 anni
		Intonaco	50 anni
	Impianto	Pompe di circolazione	15 anni
		Sottostazione teleriscaldamento	20 anni
		Fotovoltaico	25 anni
	Illuminazione alloggi	Lampadine fluorescenti	10.000 ore
		Lampadine LED	20.000 ore
Illuminazione vano scala	Lampade fluorescenti	10.000 ore	
Acqua	Raccolta acqua piovana	Aeratori	20 anni
		Filtri	15 anni (metà filtri)
		Serbatoio	30 anni
		Pompa	15 anni
Illuminazione pubblica		Lampadine LED	50.000 ore
Trasporto	Trasporto privato	Bus	17 anni
	Trasporto pubblico	Colonnine ricarica	10 anni
Rifiuti		Mezzi	20 anni
		Isole interrato	50 anni

Per gli edifici la durata degli elementi è presente all'interno della normativa EN15459 del 2017 [14]. La sostituzione degli elementi del settore dell'acqua riguarda gli aeratori e il sistema di raccolta dell'acqua piovana. La sostituzione degli aeratori è prevista dopo 20 anni. Tale dato è stato ricavato dalla vita media di un rubinetto [27]. Per il sistema dell'acqua piovana la durata della vita utile degli elementi è stata determinata dalla 11445 [16].

Per l'illuminazione, sia quella all'intero degli edifici, ossia negli appartamenti e nei vani scala, e quella pubblica, la sostituzione delle lampadine ha seguito le ore di durata per le diverse tipologie di lampade. Le lampade fluorescenti hanno una durata di 10.000 ore, quelle a LED 20.000 e quelle a LED per l'illuminazione pubblica 50.000.

La sostituzione dei bus è stata prevista ogni 17 anni [28]. Per le colonnine di ricarica elettrica per le automobili, la vita utile è stata considerata di 10 anni [29].

Per il settore dei rifiuti la vita utile delle isole interrato è di 50 anni [30], quella per i mezzi di raccolta dopo 20 anni.

Quando la vita utile dell'elemento supera la durata del periodo di calcolo considerato, l'elemento

non subirà la sostituzione, ma bisognerà considerarlo nel valore residuo.

C4 - Valore residuo

Il valore residuo esprime il valore di mercato che un bene ha alla fine del periodo di calcolo considerato nell'operazione finanziaria. Se la vita utile del bene è uguale all'orizzonte di tempo scelto il suo valore residuo è nullo. Nella tabella 3 sono mostrati gli anni della vita utile degli elementi. Alcuni di essi hanno una vita utile superiore a 30 anni, perciò è stato valutato il valore di mercato alla fine dei 30 anni per questi elementi. Inoltre anche gli elementi che subiscono la sostituzione avranno alla fine dei 30 anni un valore residuo.

La formula per calcolare il valore residuo è la seguente:

$$\text{Valore residuo} = \left[1 - \left(\frac{\text{periodo di calcolo}}{\text{vita utile elemento}} \right) \right] \cdot \text{costo investimento elemento}$$

Il valore residuo esprime perciò un ritorno economico e può quindi essere considerato come un beneficio al 30esimo anno. Nella tabella 9 sono mostrati i valori residui.

Tabella 9: Valori residui delle misure di trasformazione.

BS1: 41.138.043,17	BAF1: 92.301.210,32
BS2: 47.309.297,84	BAF2: 118.967.396,61
BS3: 56.697.678,31	BAF3: 159.047.041,12
BA1: 50.697.678,31	BAFE1: 92.370.371,08
BA2: 61.028.575,69	BAFE2: 119.036.854,08
BA3: 76.277.862,36	BAFE3: 159.116.201,88
W1: 67.382,90	
W2: 2.578.504,45	W3: 2.578.504,45
L: 287.890,00	
T1: 6.244.310,22	T2: 8.149.577,27
T1A: 10.455.670,00	T2A: 12.487.361,09
R1: 616.000,00	R2: 2.526.180,00

7.2.2. Benefici

Dopo aver definito i costi d'intervento delle diverse alternative, si è proceduto a selezionare e valutare i benefici che verranno monetizzati. I benefici sono stati selezionati in modo che facciano riferimento a tutte le misure di trasformazioni che concorrono all'interno degli scenari. Per procedere alla loro valutazione sono state ricavate formule e valori in termini economici.

I benefici considerati sono mostrati nella tabella 10.

Tabella 10. Benefici monetizzati.

Risparmio energetico	Edifici Acqua Illuminazione pubblica
External cost	Edifici Illuminazione pubblica
Riduzione emissioni CO ₂	Trasporti Rifiuti
Riduzione emissioni PM ₁₀	Trasporti Rifiuti
Aumento valore immobiliare	Edifici
Green jobs	Edifici Acqua
Riduzione sussidio disoccupazione	Edifici Acqua
Risparmio carburante	Trasporti Rifiuti
Vendita energia elettrica	Edifici

Di seguito verranno analizzati nel dettaglio, per determinare le modalità con cui sono stati considerati.

B1 - Risparmio energetico

Le misure di retrofit che coinvolgono gli edifici e l'illuminazione pubblica, consentono una diminuzione dei consumi di energia rispetto allo stato di fatto. Tale riduzione può essere valutata economicamente in termini di energia primaria. Per quanto riguarda gli edifici si è perciò stimato il risparmio economico dei costi di esercizio calcolati già precedentemente, a cui si è aggiunto anche il calcolo per lo stato di fatto. Questi costi comprendono perciò i costi relativi al riscaldamento, acqua calda sanitaria, ausiliari elettrici, elettrodomestici, illuminazione degli alloggi, illuminazione vano scala ed ascensori.

Oltre agli edifici si è calcolato anche il risparmio energetico per l'illuminazione pubblica.

Nella tabella 11 sono mostrati i risparmi energetici.

Tabella 11: Valore beneficio risparmio energetico:

BS1: 1.865.225,69	BAF1: 2.828.916,59
BS2: 4.239.307,48	BAF2: 5.533.767,48
BS3: 7.754.382,35	BAF3: 9.544.296,53
BA1: 2.079.725,06	BAFE1: 3.313.116,78
BA2: 4.539.404,56	BA2: 4.539.404,56

BA3: 8.183.739,01	BA3: 8.183.739,01
W1: 0	
W2: 0	W3: 478.378,16
L: 6.911,84	

B2 - External cost

Il costo esterno traduce in termini economici i costi sulla salute dovuti alla presenza di inquinanti nell'aria. Non è stato possibile applicare questo beneficio su tutti i settori per mancanza di dati relativi al settore dei trasporti e dei rifiuti. Tale costo è stato perciò applicato solo nei settori che comprendevano il sistema di riscaldamento e acqua calda sanitaria e il sistema elettrico, ossia edifici ed illuminazione pubblica. I costi sono associati alle diverse tecnologie per la produzione di energia termica o elettrica e sono espressi con un valore centesimi di € per kWh. Tali valori sono stati reperiti nel seguente documento [31]. Per ottenere il valore di costo dell'elettricità si sono rapportati i costi delle diverse fonti in base alla composizione dell'elettricità in Italia per l'anno 2017 dai dati ARERA [32]. I costi dei vari vettori sono mostrati nella tabella 12.

Tabella 12. Costo esterno sistema di riscaldamento, ACS ed elettricità

Sistema di riscaldamento e ACS	
Boiler gas	0,6 c€/kWh
Boiler gasolio	0,94 c€/kWh
Boiler legna	0,8 c€/kWh
Pompe di calore	0,9 c€/kWh
Centrale cogenerazione gasolio	0,36 c€/kWh
Centrale cogenerazione gas naturale	0,27 c€/kWh
Energia elettrica Italia	
In base alle fonti energetiche	1,63 c€/kWh
FV sud Europa	0,28 c€/kWh

Come per il risparmio energetico devono essere presi in considerazione i consumi di energia primaria di riscaldamento, acqua calda sanitaria, ausiliari elettrici, elettrodomestici, illuminazione degli alloggi, illuminazione vano scala ed ascensori, a cui si aggiunge anche l'illuminazione pubblica. Nella tabella 13 sono mostrati i risparmi sul costo esterno in confronto allo stato di fatto.

Tabella 13: Valore beneficio costo esterno.

BS1: 2.577.027,07	BAF1: 2.771.322,63
BS2: 2.667.800,22	BAF2: 2.828.272,90

BS3: 2.802.200,54	BAF3: 2.828.72,90
BA1: 2.585.234,68	BAFE1: 2.687.400,31
BA2: 2.679.283,16	BAFE2: 2.805.051,11
BA3: 2.818.629,46	BAFE3: 2.861.001,38
W1: 0	
W2: 0	W3: 33.322,92
L: 1.645,44	

B3 - Riduzione emissioni CO₂ e PM₁₀

Per i trasporti e i rifiuti dato che non è stato possibile calcolare i costi ambientali tramite l'external cost, si è utilizzato il calcolo della riduzione delle emissioni di CO₂ e PM₁₀. Entrambi i benefici possono essere spiegati allo stesso modo. Essi presentano un costo per tonnellata di emissione. I valori di €/tonnellata sono stati ottenuti da [33] per la CO₂ e da [34] per il PM₁₀, e sono pari a :

CO₂	PM₁₀
20 €	10.805 €

Tali costi sono stati moltiplicati per le relative emissioni per le diverse misure e lo stato di fatto. Nella tabella 14 sono mostrati i risparmi derivanti dalle riduzioni delle emissioni.

Tabella 14. Valore beneficio riduzione CO₂ e PM₁₀

CO ₂	
T1: 6.244.310,22	T2: 8.149.577,27
T1A: 10.455.670,00	T2A: 12.487.361,09
R1: 616.000,00	R2: 2.526.180,00
PM ₁₀	
T1: 6.244.310,22	T2: 8.149.577,27
T1A: 10.455.670,00	T2A: 12.487.361,09
R1: 616.000,00	R2: 2.526.180,00

B4 - Aumento valore immobiliare

L'aumento del valore immobiliare è causato dal miglioramento delle performance energetiche negli appartamenti. Da MasteClima è stato possibile reperire la classe energetica per ogni

edificio creato, sia dello stato originario che in quelli modificati attraverso il miglioramento dell'involucro e della modifica degli impianti.

Il valore monetario per ogni salto di classe energetica, per il quartiere di San Salvario, è pari a 8363 €. Per calcolare il valore sul quartiere è stato perciò necessario determinare la classe energetica degli edifici dello stato di fatto e dei retrofit, ed anche conoscere il numero di appartamenti per ogni tipologia edilizia. Nella tabella 15 sono mostrati i risultati derivanti dall'aumento del valore immobiliare.

Tabella 15. Valore beneficio aumento valore immobiliare.

BS1: 576.264.489,83	BAF1: 546.955.598,87
BS2: 680.694.403,17	BAF2: 639.995.501,42
BS3: 833.500.098,37	BAF3: 946.088.152,31
BA1: 576.856.195,03	BAFE1: 546.955.598,87
BA2: 681.514.819,40	BAFE2: 639.995.501,42
BA3: 834.668.977,46	BAFE3: 946.088.152,31

B5 - Green jobs

Gli interventi di efficienza energetica supportano la creazione di nuovi posti di lavoro.

Per ogni milione di investimento nell'efficienza energetica per gli edifici, in Europa si creano 20,58 nuovi posti di lavoro per ogni milione investito. Tale dato è stato ricavato da [35] in cui è stato effettuato uno studio sulla letteratura esistente.

La monetizzazione del beneficio avviene attraverso la moltiplicazione dei nuovi posti di lavoro per il costo opportunità per il lavoro, dove quest'ultimo viene espresso tramite un salario ombra. Questo salario ombra è così determinato [36]:

$$SW=W \cdot (1-t) \cdot (1-u)$$

Dove:

W: salario medio nel settore delle costruzioni (25.043 € in Italia)

t: aliquota dell'imposta sul reddito (20% in Italia)

u: tasso di disoccupazione dell'area considerata (10,6% regione Piemonte)

Il salario ombra è perciò di 17.910,75 €. Tale beneficio è considerato solo gli anni in cui si applicano i lavori di retrofit agli edifici, dopodiché può essere applicato ai lavori di manutenzione, rapportando il numero di lavori creati grazie al costo di investimento con i costi di manutenzione. L'aumento dei posti di lavoro è stato stimato anche per la realizzazione dei sistemi di raccolta di acqua piovana. I dati inseriti sono stati gli stessi considerati per gli interventi di retrofit degli edifici per quanto riguarda il salario, l'imposta e il tasso di disoccupazione. L'unica differenza ha riguardato i posti che si creano in seguito all'investimento di 1 milione di € in questo settore. Il

numero infatti è stato considerato pari a 15 [37].

La creazione di nuovi posti di lavoro porta con sé anche altre conseguenze positive, come la riduzione del sussidio di disoccupazione. Il sussidio mensile per il settore delle costruzioni corrisponde a 2.106,25 € [35]. Nella tabella 16 sono mostrati i risultati derivanti dalla creazione di nuovi posti di lavoro e dalla riduzione del sussidio di disoccupazione.

Tabella 16. Valore beneficio aumento valore immobiliare.

Creazione di nuovi posti di lavoro (investimento)	
BS1: 65.411.954,01	BAF1: 92.301.210,32
BS2: 83.473.275,96	BAF2: 118.967.396,61
BS3: 110.014.919,64	BAF3: 159.047.041,12
BA1: 75.435.254,94	BAFE1: 92.370.371,08
BA2: 97.539.762,88	BAFE2: 119.036.854,08
BA3: 130.075.050,14	BAFE3: 159.116.201,88
W2: 2.434.203,82	W3: 2.434.203,82
Creazione di nuovi posti di lavoro (manutenzione)	
BS1: 219.206,07	BAF1: 598.704,01
BS2: 204.889,54	BAF2: 736.179,60
BS3: 186.221,04	BAF3: 945.177,90
BA1: 217.330,96	BAFE1: 598.704,01
BA2: 202.265,84	BAFE2: 736.179,60
BA3: 182.453,07	BAFE3: 945.177,90
W2: 243.420,38	W3: 243.420,38
Riduzione sussidi di disoccupazione (investimento)	
BS1: 92.306.955,62	BAF1: 138.018.445,19
BS2: 117.794.432,17	BAF2: 181.844.015,45
BS3: 155.249.028,37	BAF3: 246.632.787,48
BA1: 106.451.471,06	BAFE1: 138.018.445,19
BA2: 137.664.543,71	BAFE2: 181.844.015,45
BA3: 183.557.150,40	BAFE3: 246.632.787,48
W2: 3.435.059,34	W3: 3.435.059,34
Riduzione sussidi di disoccupazione (manutenzione)	
BS1: 309.335,59	BAF1: 844.869,19
BS2: 289.132,62	BAF2: 1.038.869,71

BS3: 262.788,31	BAF3: 1.333.800,46
BA1: 306.689,50	BAFE1: 844.869,19
BA2: 285.430,15	BAFE2: 1.038.869,71
BA3: 844.869,19	BAFE3: 1.333.800,46
W2: 343.505,93	W3: 343.505,93

B6 - Risparmio carburante

Il risparmio di carburante concerne sia il settore dei trasporti che quello dei rifiuti. Grazie alla sostituzione dei mezzi, della tipologia di automobili e dell'eventuale diminuzione dell'uso dell'auto, il costo del carburante viene differenziato verso fonti più economiche che permettono di ottenere un risparmio rispetto allo stato di fatto. Anche per il settore dei rifiuti, grazie alla sostituzione dei mezzi e del percorso è possibile ottenere un risparmio sul carburante e sul costo. Nella tabella 17 sono mostrati i risparmi derivanti dalle riduzioni di utilizzo del carburante.

Tabella 17. Valore beneficio risparmio carburante.

T1: 1.592.877,51	T2: 3.207.282,66
T1A: 3.171.523,00	T2A: 4.236.828,41
R1: 3.519,77	R2: 6.518,42

B7 - Vendita energia elettrica

L'energia eccedente prodotta dal fotovoltaico, installato sui tetti degli edifici, non viene immagazzinata in un accumulo, ma viene venduta alla rete elettrica nazionale. La sua vendita comporta una retribuzione grazie al sistema chiamato "Scambio sul Posto" o detto anche "contributo in conto scambio", gestito da GSE (Gestione Servizi Energetici). Il prezzo di vendita si basa su un prezzo medio mensile che corrisponde all'importo totale ricavato dal GSE e varia in funzione di tre fasce orarie e della zona di mercato. Per il seguente lavoro si è ricavato un prezzo medio annuale in €/MWh, poiché l'energia eccedente nel quartiere è stata ottenuta su base annuale. Il valore ottenuto è stato di 58,38 €/MWh. Nella tabella 87 sono mostrati i guadagni derivanti dalla vendita di energia elettrica.

Tabella 18. Valore beneficio vendita energia elettrica.

BAF1: 885.169,58	BAFE1: 885.169,58
BAF2: 1.325.050,91	BAFE2: 1.325.050,91
BAF3: 1.984.872,89	BAFE3: 1.984.872,89

7.3. Analisi Multi-Criteri

Il raggiungimento della sostenibilità del quartiere è un aspetto molto importante. Perciò in questa analisi sono stati considerati i criteri che possono essere rilevanti per questo obiettivo. In questo lavoro di tesi si è deciso di utilizzare la MAVT (Multi Attribute Value Theory), una tecnica AMC spiegata nel capitolo 3.

7.3.1. Impatti extra-monetari

Oltre ai benefici monetizzabili l'analisi COSIMA comprende anche la valutazione di criteri extra-monetari, che permettono di includere aspetti non considerati all'interno dei benefici e che non possono essere facilmente monetizzati a causa della mancanza di dati. I criteri analizzati per il seguente caso studio sono mostrati nella tabella 19. Ognuno di esso è valutato tramite un indicatore quantitativo o qualitativo. Gli impatti valutati quantitativamente saranno identificati attraverso un'unità di misura, mentre quelli qualitativi attraverso una scala qualitativa che varierà a seconda del criterio considerato. Inoltre a seconda degli obiettivi che si vogliono perseguire, il valore degli indicatori dovrà essere minimizzato o massimizzato.

Tabella 19: Criteri considerati nell'analisi.

	<i>Indicatori</i>	<i>Valutazione</i>	<i>Ottimizzazione</i>
S1	Aumento passeggeri mezzi pubblici	Quantitativa	max
Env1	Riduzione utilizzo acqua potabile	Quantitativa	max
En1	Copertura fonti energetiche rinnovabili	Quantitativa	max
En2	Impatto visivo	Qualitativa	max
En3	Maturità della tecnologia	Qualitativa	max
S2	Accettazione	Qualitativa	max

Per ognuno di essi dovrà essere definita una funzione di valore che attribuisce, ai valori trovati, un punteggio di merito/ preferenza. Per la definizione delle funzioni riguardanti i criteri quantitativi, sono state utilizzate normative di riferimento. Tramite queste si sono infatti ottenuti dei valori di riferimento che hanno permesso una valutazione oggettiva di quanto un'alternativa sia migliore se paragonata ad un'altra.

S1 - Passeggeri mezzi pubblici

Grazie all'aumento degli autobus presenti e alla diminuzione delle automobili nel quartiere, è previsto un aumento delle persone che utilizzano i mezzi pubblici per spostarsi. Questo criterio si basa su una valutazione quantitativa definita dal numero di passeggeri per chilometro percorso dai mezzi pubblici [38]. L'obiettivo è di massimizzare il valore poiché per rendere il quartiere più sostenibile è necessario che ci sia un cambiamento nella modalità di spostamento, privilegiando

mezzi alternativi all'automobile privata.

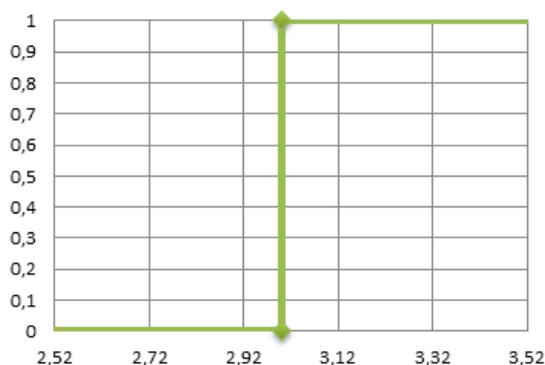
Per conoscere i valori delle diverse misure si è rapportato il dato dei passeggeri per chilometro fornito dal PUMS, pari a 2,52 con il numero di chilometri percorsi nelle misure in cui si è ipotizzato l'aumento del passaggio di autobus (misura T1A e T2A). I risultati sono mostrati nella tabella 20.

Tabella 20. Numero di passeggeri per km per il trasporto pubblico.

Misura	Passeggeri/km
T1	2,52
T1A	3,02
T2	2,52
T2A	3,02

I valori di merito applicati a questo criterio sono stati 0 per gli scenari in cui non era previsto nessun aumento di passeggeri e 1 per gli altri scenari. Nella figura 4 è riportato il disegno della funzione.

Figura 4. Funzione di valore per il criterio: passeggeri mezzi pubblici



EnV1 - Riduzione utilizzo acqua potabile

Data l'importanza che la riduzione dell'utilizzo di acqua potabile riveste nelle politiche sostenibili, si è deciso di utilizzare questo criterio per fornire un'indicazione sull'utilizzo medio di acqua potabile pro capite al giorno [39]. L'obiettivo è quello di minimizzare i consumi. Questo criterio esprime in percentuale la riduzione dell'utilizzo di acqua pro capite e i valori sono riportati nella tabella 21.

Tabella 21. Percentuale di riduzione utilizzo acqua potabile rispetto allo stato di fatto.

Misura	l/ab giorno	Risparmio %
Stato di fatto	212	

W1	173	18%
W2	133	37%
W3	102	52%

Per determinare il punteggio di merito della riduzione di acqua potabile sono stati consultati gli indicatori di diversi protocolli sulla sostenibilità (BREEAM [40], Green Mark, ITACA e LEED). Ognuno di essi dava dei punteggi a seconda del risparmio di acqua.

BREEAM

0	0%
1	13%
2	25%
3	40%
4	50%
5	55%

GREEN MARK

0	0%
2	10%
5	35%
7	50%

ITACA

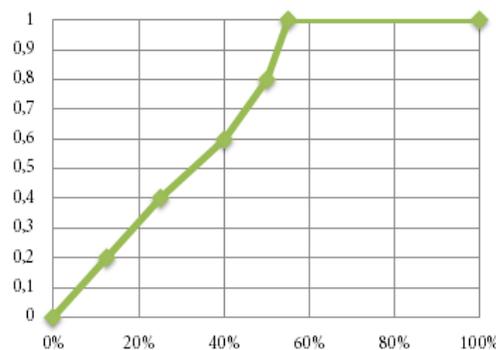
0	0%
3	30%
5	50%

LEED

0	0%
1	10%
2	20%

Si è deciso di utilizzare i valori di BREEAM in quanto hanno una scala più differenziata e completa. La funzione ricavata è mostrata nella figura 5.

Figura 5. Funzione di valore per il criterio: riduzione utilizzo acqua potabile.



En1 - Copertura fonti energetiche rinnovabili

Come già ampiamente detto, l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili è una parte fondamentale del processo di de-carbonizzazione dei sistemi energetici, perciò è importante che questo criterio sia massimizzato all'interno del quartiere. Esso è espresso in percentuale e misura il rapporto tra l'energia prodotta da fonti energetiche rinnovabili e il consumo totale di energia elettrica del quartiere. In questo caso è necessario utilizzare questo parametro sull'intero scenario, poiché in base alla combinazione delle misure scelte cambiano anche i consumi totali [38].

$$DE_E = \frac{LPE_T}{EE_C}$$

Dove:

DEE: Grado di auto-provvigionamento di energia elettrica basato sulle FER [%]

LPEE: Energia prodotta localmente [kWh/anno]

EEC: Consumi energia elettrica [kWh/anno]

I consumi di energia elettrica considerati sono stati quelli dei diversi settori, ossia per gli edifici sono stati conteggiati i consumi degli ausiliari, usi comuni (vano scala), illuminazione alloggi ed elettrodomestici, per il settore dell'acqua i consumi di energia elettrica richiesti dalle pompe di circolazione per il sistema di raccolta acqua piovana, illuminazione pubblica e per il settore dei trasporti i consumi di energia elettrica per autobus e auto.

Nella tabella 22 sono mostrate le percentuali di copertura di energia elettrica da fonti energetiche rinnovabili (FER).

Tabella 22. Percentuale di copertura energia elettrica da FER.

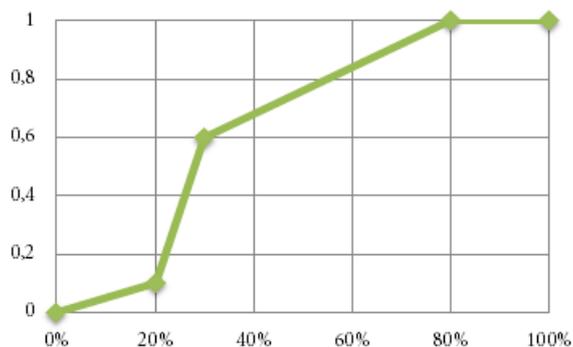
n° scenario	% Copertura FER
1	0%
2	0%
3	41%
4	45%
5	0%
6	0%
7	60%
8	63%
9	0%
10	0%
11	83%
12	93%
13	0%
14	0%
15	82%
16	90%

Per determinare i valori della funzione si sono presi come riferimento le percentuali di copertura da fonti energetiche rinnovabili per l'elettricità imposti dall'Unione Europea nell'ambito del progetto della de-carbonizzazione.

0	0%
0,1	20%
0,6	30%
1	80%
1	100%

Al 20% di copertura da FER si è attribuito un punteggio basso poiché questo target dovrebbe essere raggiunto già per il 2020. La funzione ricavata è mostrata nella figura 6

Figura 6. Funzione di valore per il criterio: copertura da fonti energetiche rinnovabili.



En2 - Impatto visivo

Questo criterio misura l'impatto visivo totale sul quartiere delle misure di trasformazione.

Questo criterio viene valutato tramite una scala qualitativa dove 1 esprime l'impatto peggiore mentre 5 la soluzione con impatto visivo migliore con la minima influenza sulla vista, perciò il criterio deve essere massimizzato. Richiede all'utente di attribuire i valori in base alla propria percezione.

- 1 - Molto alto
- 2 - Alto
- 3 - Moderato
- 4 - Basso
- 5 - Molto basso

Esso è stato valutato per il settore degli edifici dei rifiuti e dei trasporti come spiegato in seguito. Per il settore degli edifici è stato valutato l'impatto visivo che comporta l'installazione dei pannelli fotovoltaici sulle coperture degli edifici del quartiere. L'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili può infatti avere un impatto elevato nell'ambiente locale, soprattutto quando installate in contesti storici. Il loro utilizzo però riveste un'elevata importanza nel processo di de-carbonizzazione del distretto ed è quindi importante valutare la loro integrazione rispetto alle modifiche visive che potrebbero comportare. L'impatto visivo delle alternative in questo settore è dipeso dalla quantità di fonti di energia rinnovabile impiegate. Quando i sistemi fotovoltaici non sono visibili dai luoghi frequentati dalle persone, il suo impatto visivo sarà trascurabile.

In questa tesi l'impatto visivo è stato applicato per capire la preferenza delle persone tra l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili di diversa dimensione e per valutare quanto le persone sono propense all'utilizzo di FER anche se esse possono modificare l'aspetto dell'edificio e dell'immagine complessiva del quartiere.

Nel caso studio sono presenti 4 ipotesi di diffusione dei pannelli fotovoltaici a cui sono stati

associati i valori mostrati nella tabella 23.

Tabella 23. Valori impatto visivo edifici.

Misura	Superficie pannelli [m²]	Valutazione
No FER	0	5
50% edifici	115.700	3
70% edifici	161.977	2
100% edifici	231.392	1

Il settore dei rifiuti presenta due misure con due sistemi di raccolta diversa: quello porta a porta e quello tramite le isole interrato. Le isole interrato essendo un sistema permanentemente esposto sulla strada hanno un impatto visivo più elevato rispetto alla raccolta porta a porta mentre i cui cassonetti sono esposti solamente in determinati orari. Anche la presenza dei cassonetti per la raccolta porta a porta ha un impatto visivo abbastanza importante, per cui la valutazione non ha valori alti in entrambi i casi, come mostrato nella tabella 24.

Tabella 24. Valori impatto visivo rifiuti.

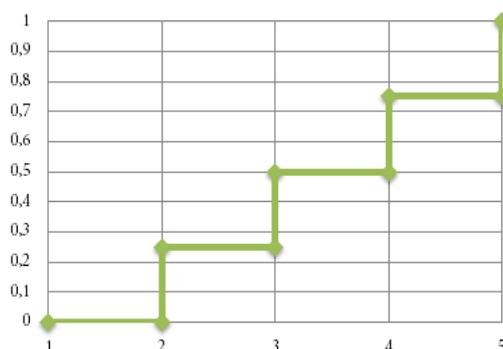
Misura	Valutazione
Raccolta porta a porta	3
Isole interrato	2

Nel settore dei trasporti la maggior presenza di automobili elettriche comporta l'installazione di nuove colonnine per la loro ricarica. Maggiore è la presenza di auto maggiore sarà la presenza di stazioni di ricarica e di conseguenza anche l'impatto visivo. I valori sono mostrati nella tabella 25.

Tabella 25. Valori impatto visivo trasporti.

Misura	Valutazione
Auto elettriche 25%	3
Auto elettriche 50%	2

Figura 7. Funzione di valore per il criterio: impatto visivo



En3 - Maturità della tecnologia

Misura l'affidabilità della tecnologia considerando i rischi associati all'installazione, alla gestione e ai guasti futuri del sistema. Una tecnologia matura è una tecnologia che è stata testata e utilizzata per un tempo sufficientemente lungo da ridurre al minimo la maggior parte dei problemi. La sua valutazione ha seguito una scala valutativa che si basa sulla diffusione della tecnologia a livello locale/ nazionale / internazionale. È un criterio qualitativo espresso su una scala da 1 a 5.

- 1 - La tecnologia in esame è stata testata solo in laboratorio;
- 2 - la tecnologia è stata testata solo in progetti pilota; 3 - la tecnologia può essere ancora migliorata;
- 4 - La tecnologia ha una posizione solida nel mercato locale;
- 5 - La tecnologia è matura e hanno un posto solido nel mercato internazionale.

Questo criterio è stato utilizzato per il settore degli edifici, dell'acqua dei trasporti e dei rifiuti. Per il settore dei trasporti si è considerato la tipologia di impianti per la produzione di energia. Si sono valutati gli scenari in cui è applicato il solo teleriscaldamento e il teleriscaldamento più i pannelli fotovoltaici. Il teleriscaldamento è oramai una tecnologia ben sviluppata a livello internazionale. Si è deciso di attribuire un valore alto poiché esso è ampiamente installato anche nella città di Torino. Per gli scenari che invece prevedono l'utilizzo del fotovoltaico si è attribuito un valore più basso dato l'impiego del sistema fotovoltaico Solbian. Tale sistema è infatti un'innovazione in questo campo e perciò è una tecnologia che potrebbe presentare diverse problematiche. Inoltre questo sistema è installato nella metà della superficie totale di tetti considerati, perciò la loro presenza è molto rilevante. I valori assegnati sono mostrati nella tabella 26.

Tabella 26. Valori maturità della tecnologia edifici.

Misura	Valutazione
Teleriscaldamento a gas naturale	5
Fotovoltaico	3

Per il settore dell'acqua si sono valutate le misure in cui sono presenti gli aeratori insieme il doppio flusso per i wc e quella in cui è presente il sistema per la raccolta dell'acqua piovana. Quest'ultimo sistema non presenta una larga applicazione nella città e nel territorio per cui è stato attribuita una valutazione bassa. I valori sono mostrati nella tabella 27.

Tabella 27. Valori maturità della tecnologia acqua.

Misura	Valutazione
Aeratori e wc	5
Acqua piovana	2

Per i trasporti pubblici sono previste due misure in cui vengono utilizzati in una bus a metano ed elettrici e nell'altra solamente bus elettrici. Poiché i bus elettrici sono una tecnologia più recente, si è attribuito un valore più basso. I valori sono mostrati nella tabella 28.

Tabella 28. Valori maturità della tecnologia trasporti.

Misura	Valutazione
Bus metano elettrici	5
Bus elettrici	3

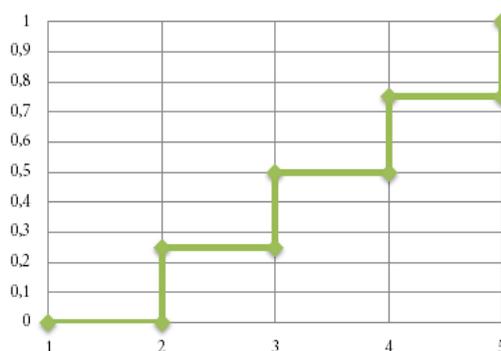
La raccolta porta a porta per i rifiuti può ormai essere considerata una metodologia matura con risultati tangibili a Torino e in tutto il mondo. La raccolta tramite le isole interrate a Torino è invece stato applicato fin ora solamente come progetto pilota a Torino, con scarsi risultati. I valori assegnati sono mostrati nella tabella 29.

Tabella 29. Valori maturità della tecnologia rifiuti.

Misura	Valutazione
Raccolta porta a porta	5
Isole interrate	2

La funzione ricavata è mostrata nella figura 8.

Figura 8. Funzione di valore per criterio: maturità della tecnologia.



S2 - Accettazione

Misura l'attitudine della popolazione locale ad accettare l'applicazione delle misure di trasformazione dei diversi settori. La valutazione avviene su una scala da 1 a 5, dove 1 esprime la completa discordanza e 5 l'accettazione totale.

- 1 - Accettazione molto bassa
- 2 - Accettazione bassa
- 3 - Indifferente
- 4 - Accettazione abbastanza alta

- 5 - Accettazione totale

Esso permette di coinvolgere le persone nel processo decisionale che è molto rilevante a livello di quartiere e città, dove la loro opinione risulta importante poiché viene coinvolto il luogo in cui vivono. Questo criterio è stato applicato al settore degli edifici, dell'acqua dei trasporti e dei rifiuti.

Per il settore degli edifici questo criterio esprime le opinioni della popolazione locale riguardo all'utilizzo o meno, e a seconda della quantità installata, dell'utilizzo dei sistemi fotovoltaici. I valori assegnati sono mostrati nella tabella 30.

Tabella 30. Valori accettazione edifici.

Misura	Valutazione
No FER	3
50% edifici	2
70% edifici	2
100% edifici	1

L'utilizzo di sistemi che permettono una riduzione dell'utilizzo di acqua potabile nelle abitazioni può essere ben accettato da parte della popolazione locale. Le misure che prevedono l'installazione di sistemi di raccolta di acqua piovana possono comportare più disagi durante la realizzazione e per questo sono valutati con un punteggio relativamente più basso. I valori assegnati sono mostrati nella tabella 31.

Tabella 31. Valori accettazione acqua

Misura	Valutazione
W1	5
W2	4
W3	4

Le misure in cui è presente l'aumento del trasporto pubblico e l'utilizzo di mezzi elettrici, possono essere valutate con un'accettazione totale. Questo poiché gli autobus elettrici sono molto più silenziosi rispetto ai mezzi a metano. I valori sono mostrati nella tabella 32.

Tabella 32. Valori accettazione trasporti.

Misura	Valutazione
T1	3
T1A	4
T2	4
T2A	5

Per quanto riguarda il settore dei rifiuti la raccolta porta a porta può essere considerata come la

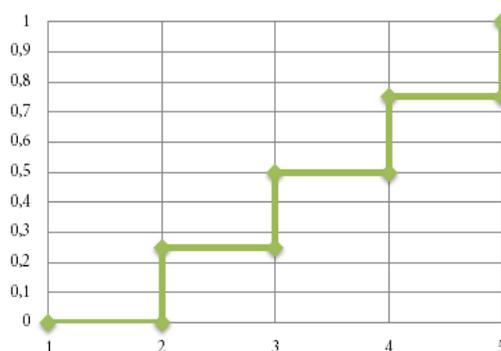
soluzione ottimale. La raccolta tramite le isole interrato invece può risultare più problematica in quanto è necessario che il cittadino modifichi le sue abitudini, che ormai sono basate sul sistema porta a porta, e che debba percorrere un tragitto più lungo per il conferimento dei rifiuti, poiché deve raggiungere il posto in cui è installata l'isola. I valori sono mostrati nella tabella 33.

Tabella 33. Valori accettazione rifiuti.

Misura	Valutazione
R1	5
R2	2

La funzione è mostrata nella figura 9.

Figura 9. Funzione di valore per criterio: accettazione pubblica.



Le funzioni dei criteri qualitativi risultano uguali tra di loro poiché si è utilizzata sempre una valutazione su una scala di 5 punti ed inoltre in tutti l'obiettivo consiste nella loro massimizzazione.

Conclusa la definizione dei criteri valutati per singole misure, si sono uniti i risultati secondo gli scenari esaminati, creando la matrice delle performance, tabella 34.

Questi valori devono essere normalizzati tramite le funzioni valore ricavate per ogni criterio, per creare una scala di confronto comune, in cui i valori per ogni criterio sono espressi con valori compresi tra 0 e 1.

Tabella 34. Matrice delle performance.

Scenario	S2	EnV1	En1	En2	En3	S2
1	2,52	18%	0%	4	5	4
2	2,52	18%	0%	3	5	4
3	3,02	37%	41%	3	3	3
4	3,02	52%	45%	3	3	4
5	3,02	18%	0%	4	5	4
6	2,52	37%	0%	3	4	4
7	3,02	52%	60%	2	3	3
8	3,02	52%	63%	2	3	3
9	2,52	37%	0%	3	4	3
10	3,02	18%	0%	3	5	5
11	3,02	37%	83%	2	3	3
12	2,52	52%	93%	2	3	3
13	2,52	37%	0%	3	4	4
14	2,52	37%	0%	3	3	3
15	3,02	37%	82%	2	4	4
16	3,02	52%	90%	2	3	3

7.3.2. Attribuzione dei pesi

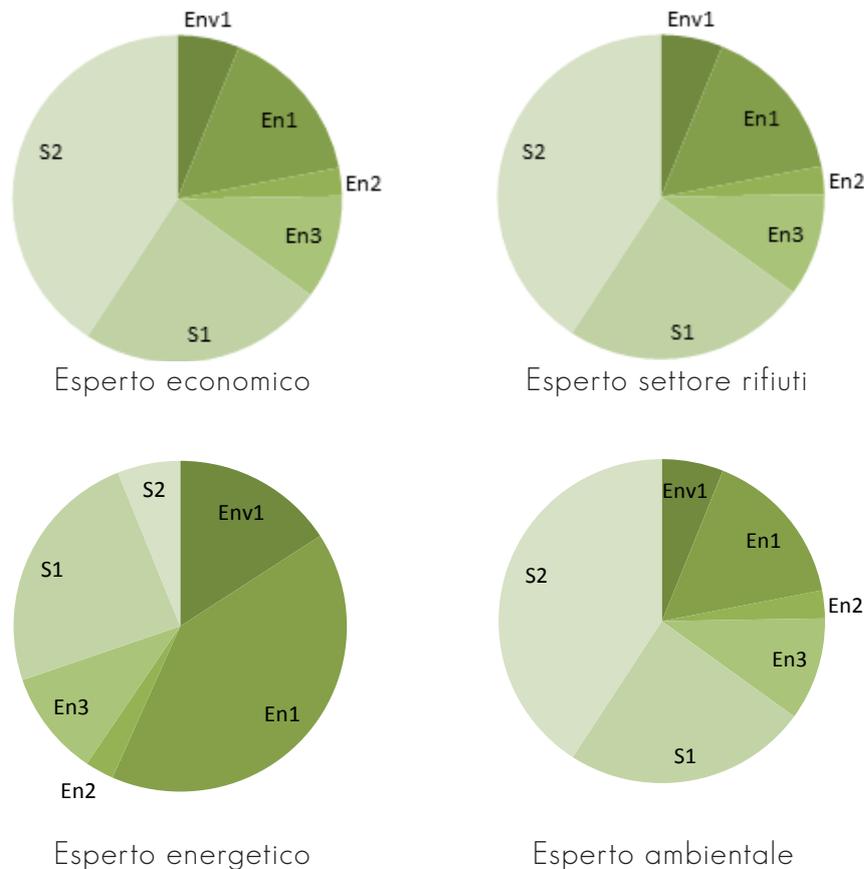
L'assegnazione dei pesi è una procedura comune a quasi tutte le tecniche di AMC e serve ad attribuire un ordine di importanza a tutti i criteri. Essi verranno in seguito moltiplicati per il valore dell'indicatore per ricavare la reale importanza del criterio.

Il metodo utilizzato per l'attribuzione dei pesi è il metodo SMARTER (Simple Multi Attribute Rating Technique Exploiting Ranks) di Barron and Barret (1996), dove i decisori dispongono i criteri in base all'importanza che loro vi attribuiscono. Questa metodologia utilizza dei pesi surrogati, che rendono il processo di valutazione più semplice da parte dei decisori.

L'attribuzione dei pesi è avvenuta attraverso la consultazione di 4 esperti che lavorano in campi diversi: energetico, ambientale, economico e nel settore dei rifiuti. In questo modo è stato possibile avere un quadro completo sulle opinioni che le diverse figure esprimono per un possibile progetto di trasformazione energetico e sostenibile del quartiere. A loro è stato chiesto di compilare un questionario (Allegato C) per poter esprimere le preferenze ordinando i criteri dal meno importante al più importante.

In base all'importanza del criterio è attribuito un valore (peso) che decresce man mano che diminuisce l'importanza. I valori sono definiti tramite la tecnica ROC (rank order centroid), spiegata nel capitolo 3. Nella figura 10 sono mostrati i diversi pesi attribuiti da ciascun esperto, analizzati tramite i questionari.

Figura 10. Classifica dei criteri e attribuzione dei pesi secondo gli esperti.



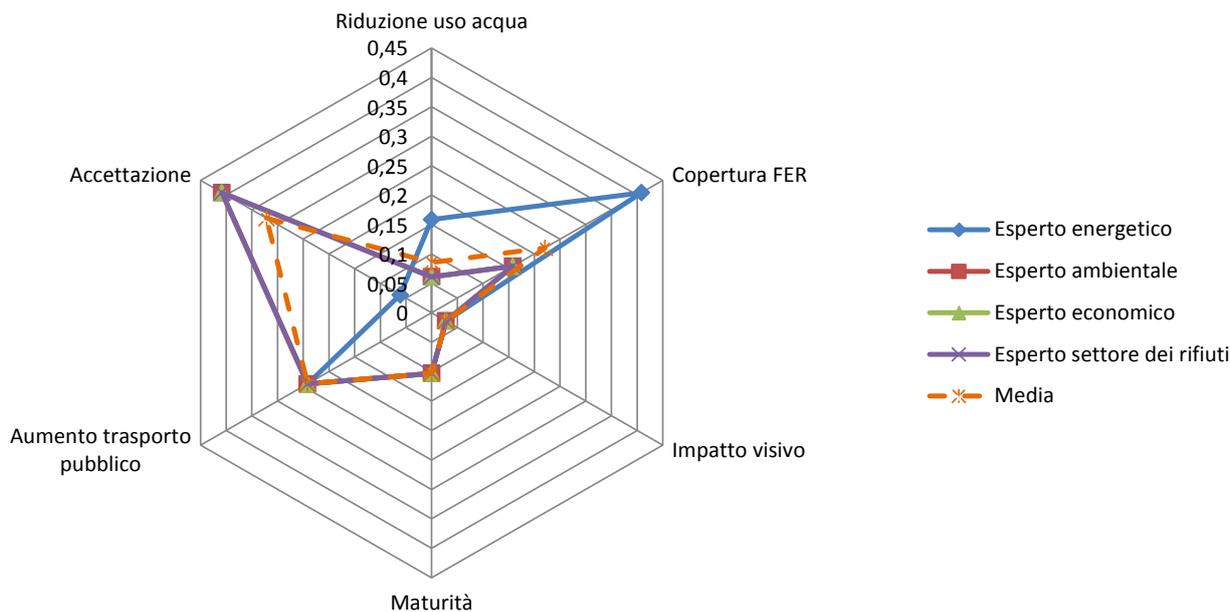
Gli esperti a cui è stato richiesto di compilare il questionario sono tutti di Torino e conoscono il caso studio in oggetto.

Come ci si poteva immaginare per l'esperto energetico i criteri che hanno rivestito una maggiore importanza sono quelli che permettono maggiormente una riduzione dei consumi energetici e delle emissioni. Da esso sono stati selezionati in ordine: la copertura dei consumi energetici da fonti rinnovabili, l'aumento dei passeggeri nei mezzi pubblici e la riduzione dell'utilizzo di acqua piovana. In fondo si trovano l'accettazione pubblica e l'impatto visivo.

Gli esperti del settore economico, ambientale e del settore dei rifiuti hanno attribuito la stessa scala di importanza e dove l'accettazione pubblica riveste la maggiore importanza, seguita dall'aumento dei trasporti pubblici, la maturità della tecnologia, la copertura da fonti energetiche rinnovabili ed infine l'impatto visivo. In tutti i casi l'impatto visivo ha rappresentato il criterio meno importante per la valutazione della trasformazione del quartiere.

Nella figura 11 sono mostrati tramite una rappresentazione a radar i diversi pesi assegnati dagli esperti e la media ottenuta da questi.

Figura 11. Pesi dei criteri e media.



Concluse entrambe le analisi si può procedere ad esaminare i risultati.

7.4. Analisi COSIMA

In questo paragrafo verranno esaminati i risultati, prima considerando separatamente le analisi Costi-Benefici e Multi-Criteri, ed in seguito accorpandole per formare i risultati dell'analisi COSIMA e valutare la migliore alternativa di trasformazione del quartiere.

7.4.1. Risultati ACB

Per l'Analisi Costi-Benefici sono stati esaminati i risultati tramite i seguenti indicatori: Tasso Interno di Rendimento (TIR), Valore Attuale Netto (VAN) e Rapporto Costi Benefici (RCB).

Nella tabella 35 sono mostrati gli indicatori economici per ogni scenario.

Tabella 35. Risultati ACB degli scenari

S1		S2	
TIR	11%	TIR	10%
VAN	-€ 576.148.925,49	VAN	-€ 494.156.574,07
RCB	0,60	RCB	0,66

S3		S4	
TIR	11%	TIR	10%
VAN	-€ 510.656.178,35	VAN	-€ 451.317.031,68
RCB	0,67	RCB	0,71

S5	
TIR	8%
VAN	-€ 337.150.324,42
RCB	0,76

S6	
TIR	8%
VAN	-€ 350.189.082,44
RCB	0,76

S7	
TIR	8%
VAN	-€ 321.377.682,37
RCB	0,80

S8	
TIR	8%
VAN	-€ 292.175.915,96
RCB	0,82

S9	
TIR	6%
VAN	-€ 213.590.944,09
RCB	0,86

S10	
TIR	3%
VAN	-€ 61.808.580,21
RCB	0,96

S11	
TIR	1%
VAN	€ 71.565.389,58
RCB	1,04

S12	
TIR	1%
VAN	€ 41.392.100,96
RCB	1,02

S13	
TIR	8%
VAN	-€ 368.679.799,42
RCB	0,75

S14	
TIR	18%
VAN	-€ 965.292.052,07
RCB	0,50

S15	
TIR	1%
VAN	€ 55.507.165,10
RCB	1,03

S16	
TIR	0%
VAN	€ 75.910.454,42
RCB	1,05

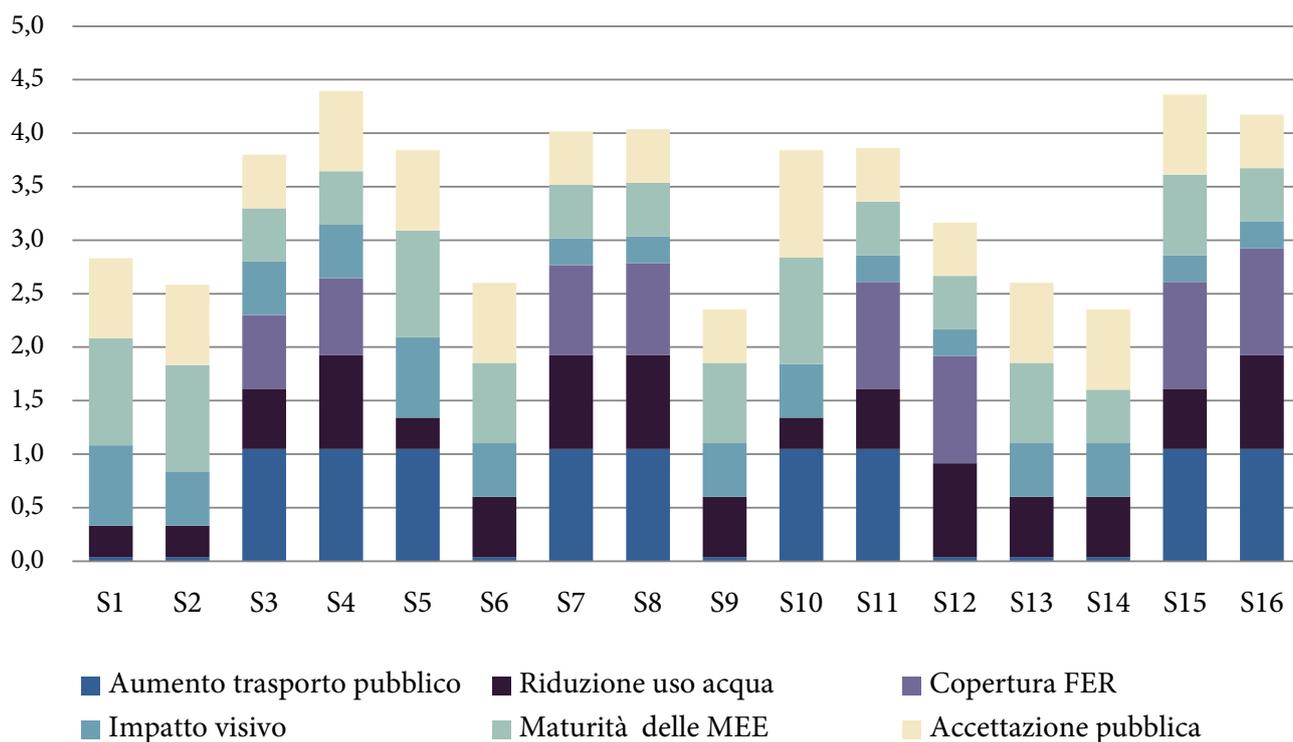
I risultati mostrano che soltanto 4 dei 16 scenari analizzati sono favorevoli dal punto di vista economico. Infatti in questi quattro casi i benefici attesi durante i 30 anni, sono maggiori dei costi sostenuti durante il medesimo periodo. Questo è valutato tramite il VAN e il RCB, dove quest'ultimo esprime il guadagno per ogni euro speso.

Gli scenari S11, S12, S15 e S16 rappresentano quelli dove vengono applicate le misure di trasformazione più invasive per gli edifici, e dove si registrano le maggiori riduzioni sia di energia primaria che di emissioni di CO₂.

7.4.2. Risultati AMC

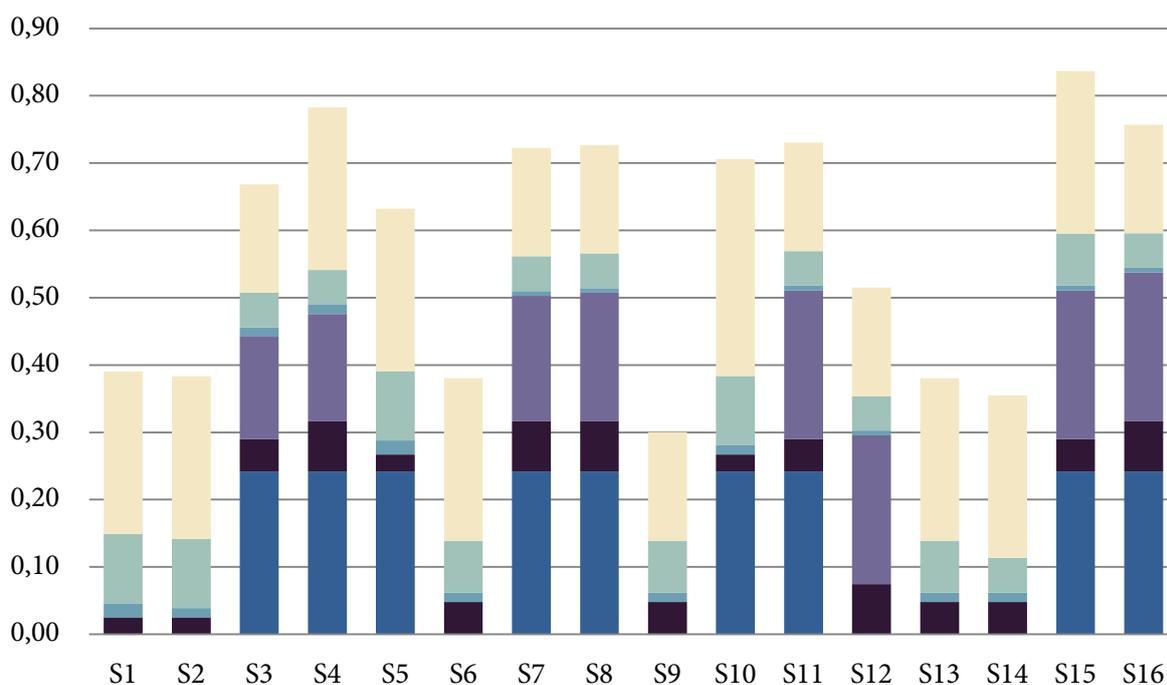
Per l'Analisi Multi-Criteri sono stati esaminati i risultati tramite la media dei valori normalizzati dei criteri. Nella figura 12 sono mostrati i risultati di questa analisi.

Figura 12. Valori criteri normalizzati.



Lo scenario S4 rappresenta l'alternativa migliore, se ai criteri fosse attribuita la stessa importanza. Per considerare il valore globale di un'alternativa, si sono moltiplicati i valori dei criteri di ogni scenario per la media dei pesi di tale criterio. I risultati ottenuti sono mostrati nella figura 13.

Figura 13. Valore totale dei criteri.



Confrontando i grafici delle figure 12 e 13, si può notare che la valutazione delle alternative

subisce delle modifiche. Infatti l'alternativa migliore passa dall'S4 al S15. Lo scenario S4 risulta comunque uno dei migliori. Se si confrontano i risultati dell'ACB con quelli della AMC gli scenari S15 e S16 presentano delle buone performance in entrambe, mentre gli scenari S11 e S12 risultano migliori nell'ACB.

Se si esaminano le alternative secondo il punto di vista dei singoli esperti, si può notare che per l'esperto energetico le alternative che presentano l'utilizzo del fotovoltaico (S3, S4, S7, S8, S11, S12, S15 ed S16) assumono un valore globale più alto, come mostrato nella figura 14.

Figura 14. Valore globale esperto energetico.



Da un punto di vista degli altri esperti, che hanno espresso le medesime preferenze in ordine di criteri, gli scenari che hanno un valore globale alto per l'esperto energetico risultano comunque essere quelli più alti anche per loro, ma la differenza che si crea con gli altri scenari è minore, come mostrato nella figura 15.

Figura 15. Valore globale esperto economico, ambientale e del settore dei rifiuti.



7.4.3. Risultati COSIMA

Ottenuti i risultati di entrambe le analisi è possibile unirle per effettuare la valutazione tramite l'analisi COSIMA. Come è spiegato nel capitolo 3, questa analisi attribuisce un peso all'AMC

tramite un fattore α .

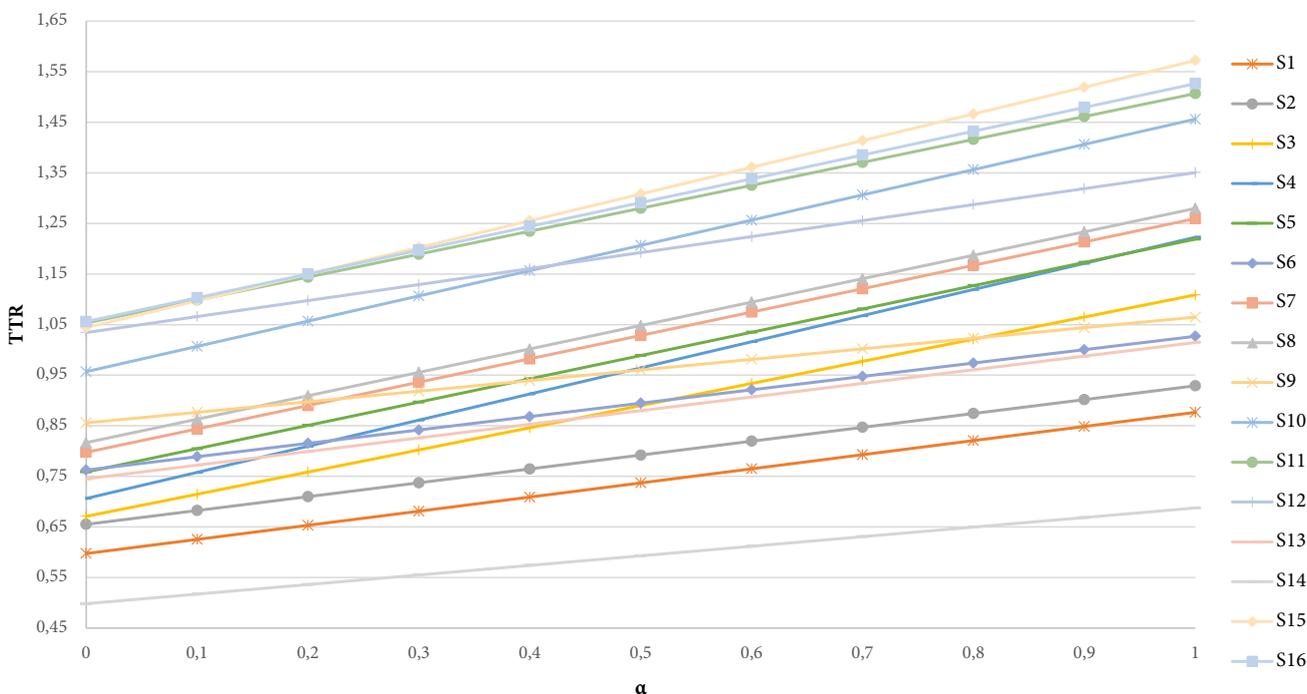
$$TTR(A_k) = \frac{TV(A_k)}{C_k} = \frac{1}{C_k} \cdot \left(\sum_{i=1}^I V_i(X_{ik}) + \alpha \cdot \left[\sum_{j=1}^J w_j \cdot VF_j(Y_{jk}) \right] \right)$$

Gli scenari a cui verrà posta maggiore attenzione saranno quelli che hanno presentato i migliori valori nelle analisi singole.

Nell'analisi si è deciso di non utilizzare un valore α predefinito, ma sono stati esaminati i risultati di tutti i valori, ossia da 0% a 100%, concentrandosi su quelli più rilevanti.

Nella figura 16 sono mostrati i valori del tasso totale di rendimento (TTR) al variare del peso di α , ossia del peso che riveste l'AMC sulla ACB.

Figura 16. Valori TTR medi in funzione del valore di α .



Quando il valore di α è uguale a zero viene considerata solamente la parte di ACB, mentre per tutti gli altri valori il TTR aumenta. Generalmente, in letteratura si è riscontrato che vengono utilizzati valori di α compresi tra il 20-30%. In questo punto si riscontrano le prime modifiche. Infatti inizialmente lo scenario più favorevole risultava essere S16, ma a con valori di $\alpha=20\%$ S15 eguaglia S16. Sono presenti anche altre inversioni degli scenari sottostanti, ma che saranno esaminati più nel dettaglio in seguito.

Considerando gli altri valori si possono effettuare le seguenti osservazioni:

$\alpha=50\%$

Con valori $\alpha=50\%$ iniziano a modificarsi maggiormente le prestazioni di alcuni scenari. Innanzitutto lo scenario S15 risulta essere più favorevole di S16 ed incomincia a crearsi un

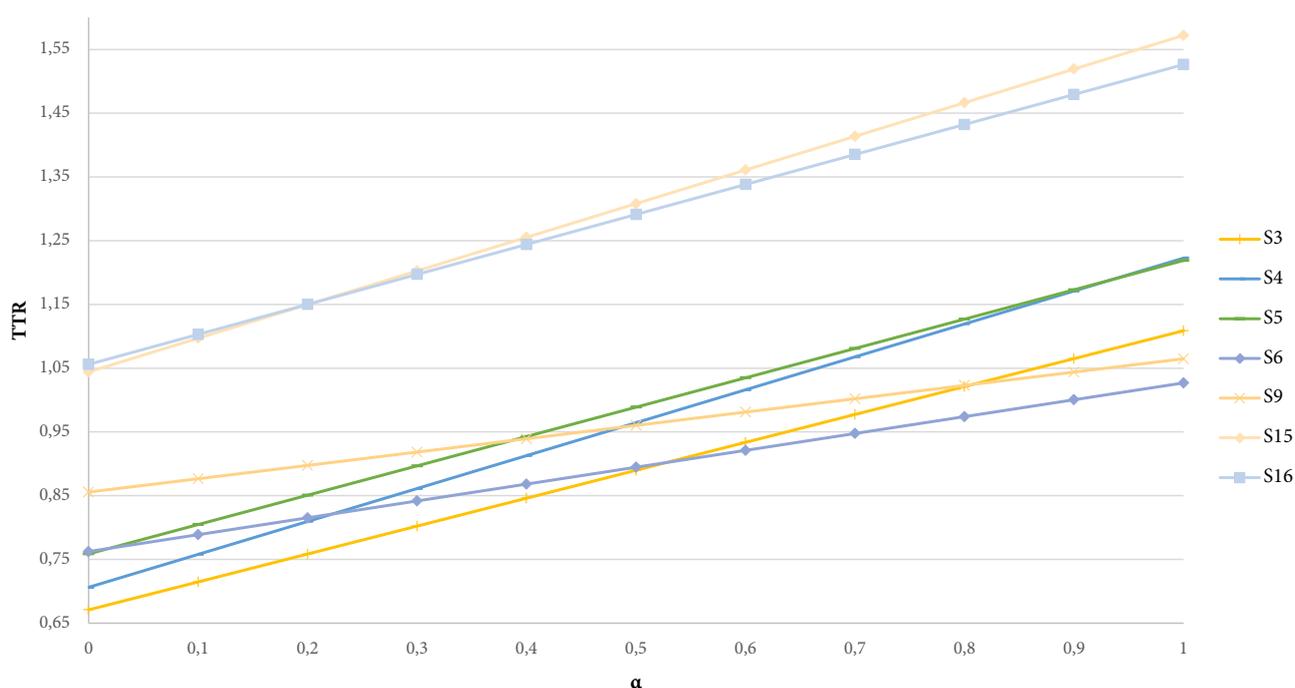
maggiore distacco. Gli scenari S9 ed S4 si eguagliano ed è presente la medesima situazione per S3 e S6. Gli scenari S4 ed S10 sono particolarmente rilevanti poiché la loro crescita assoluta, risulta maggiore rispetto a tutti gli altri scenari.

$$\alpha=100\%$$

In questo punto, dove l'AMC acquista la sua totale considerazione, si può vedere che l'ordine delle preferenze delle alternative si modifica anche in maniera netta, rispetto alla sola considerazione della ACB. L'alternativa migliore passa quindi dallo scenario S16 all'S15, questo grazie alla minima differenza che si registra nell'ACB tra i due scenari e alle migliori performance dei criteri di S15. Come detto precedentemente lo scenario S4 subisce delle importanti modifiche. Infatti esso, in questo punto, risulta preferibile rispetto ad S9 ed S6 ed eguaglia S5, mentre inizialmente esso era visto come più sfavorevole a causa del basso RCB. Lo scenario S9 è quello in cui la crescita assoluta risulta più contenuta.

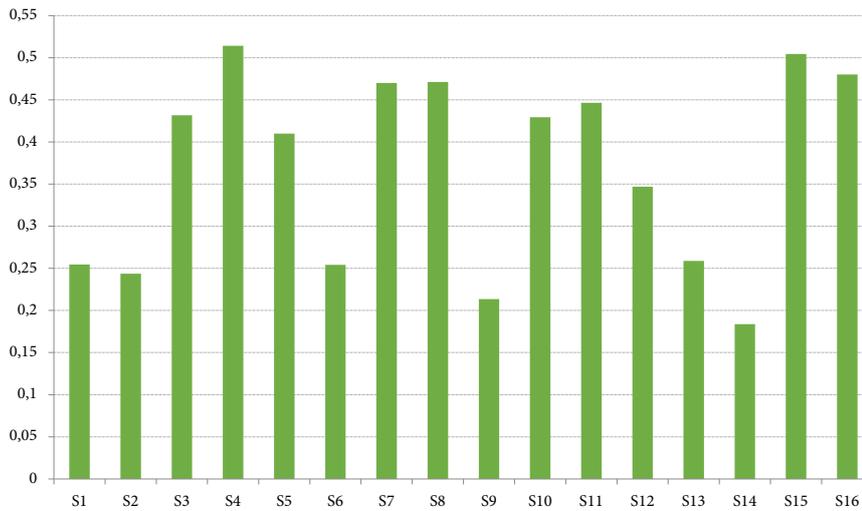
Gli scenari di cui si è parlato più nel dettaglio, sono mostrati nella figura 17.

Figura 17. Dettaglio modifica scenari.



Il rapido aumento che si registra per lo scenario S4 è dovuto al fatto che presenta delle buone performance dei criteri analizzati nella AMC, come mostrato precedentemente nella figura 13. Inoltre questo scenario risulta essere quello più favorevole, se vengono comparate le performance della AMC con il costo totale di ogni alternativa, come mostrato nella figura 18.

Figura 18. Rapporto criteri AMC e costo totale delle alternative.



Anche lo scenario S3 presenta le medesime caratteristiche dello scenario S4, per cui anche esso subisce un rapido incremento.

Lo scenario più sfavorevole risulta essere sempre S14, per tutti i valori di α .

Analizzando i risultati rispetto ai punti di vista degli esperti intervistati, si possono riscontrare dei cambiamenti, come mostrato nelle figure 19 e 20.

Infatti se fosse considerato solamente il parere dell'esperto energetico, gli scenari in cui è presente l'utilizzo del fotovoltaico e la maggior riduzione dell'utilizzo di acqua potabile assumono una crescita più elevata del TTR, modificando la preferenza delle alternative già con un valore α pari al 30%. In questo punto alcuni scenari, che prima presentavano valori diversi, si eguagliano. Dal punto di vista degli altri esperti invece gli scenari presentano una crescita quasi uniforme, senza grandi cambiamenti anche quando il valore di α raggiungono il 100%.

Figura 19. TTR secondo valutazione esperto energetico.

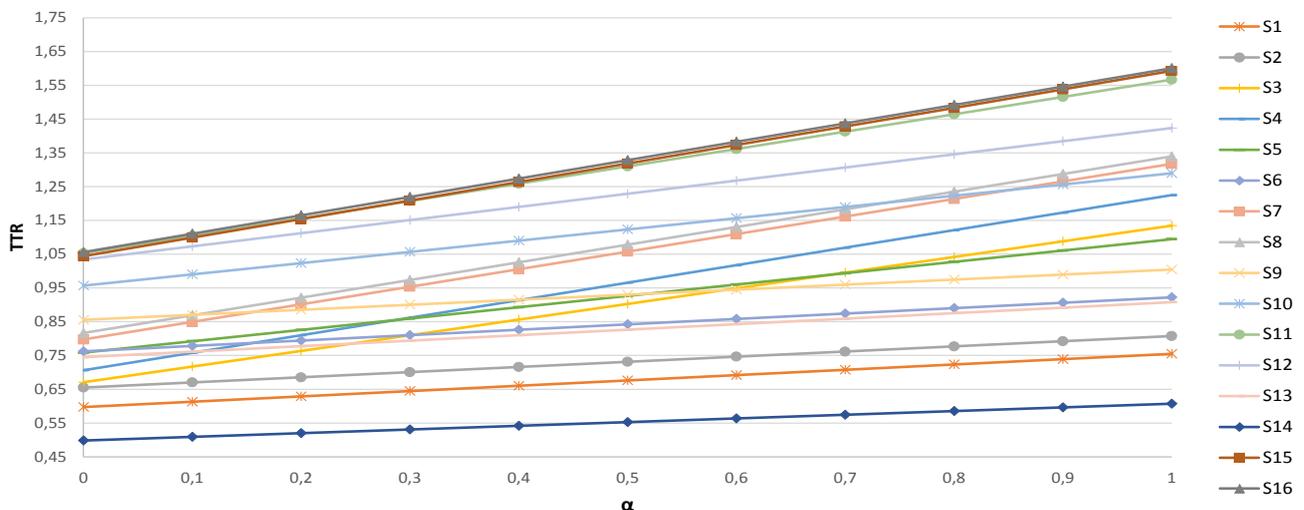
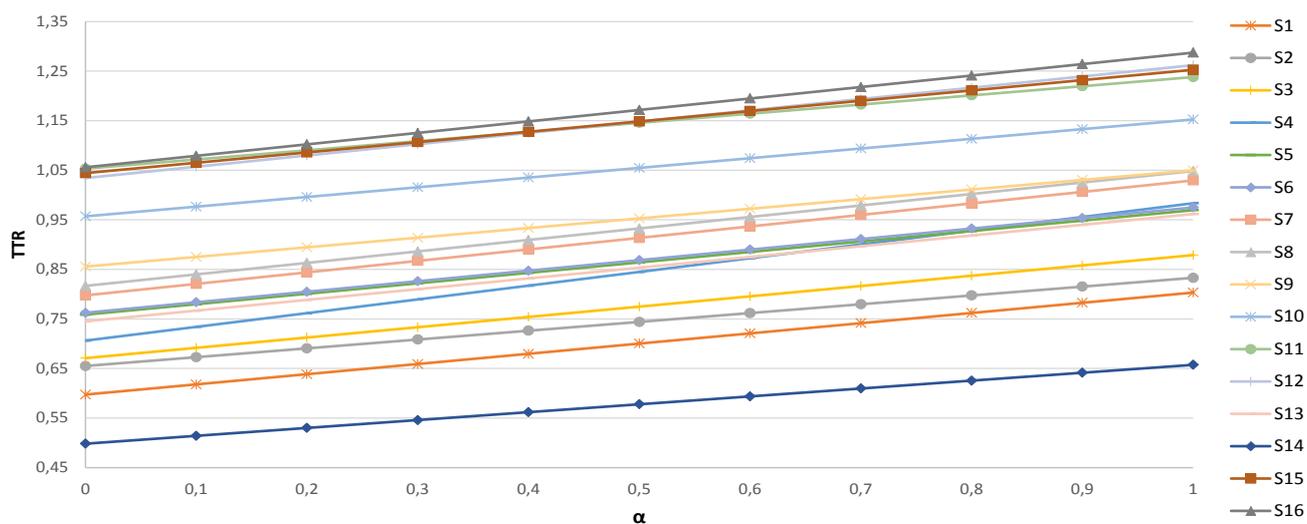


Figura 20. TTR secondo valutazione esperti economico, ambientale e settore dei rifiuti.



In queste due analisi lo scenario migliore risulta essere sempre S16. Le alternative peggiori sono S1 e S14.

CONCLUSIONI

Conclusioni e sviluppi futuri

La seguente tesi ha lo scopo di identificare la migliore alternativa di trasformazione del quartiere di San Salvario a Torino, la cui amministrazione comunale potrebbe mettere in atto in vista di un futuro più sostenibile, per i settori degli edifici, illuminazione pubblica, trasporti, rifiuti e gestione dell'acqua.

Gli scenari che hanno presentato le migliori caratteristiche sono due, ossia S15 ed S16.

S15: BAF3 - W2 - L -T1A - R1

S16: BAFE3 - W3 - L - T2A -R2

Entrambi prevedono l'installazione dei pannelli fotovoltaici, elevate misure di efficienza energetica per edifici e per il risparmio di acqua potabile, l'aumento del trasporto pubblico e la diminuzione dell'utilizzo dell'auto privata.

Questi scenari, ancor prima di effettuare l'analisi COSIMA, presentavano delle ottime caratteristiche in termini di riduzione dell'energia primaria e delle emissioni di CO₂. Nella valutazione energetica, gli interventi che risultavano migliori prevedevano tutti delle misure di retrofit che coinvolgessero totalmente gli edifici del quartiere. Questo settore è infatti quello più rilevante per ridurre la pressione energetica che si registra nelle città, insieme a quello dei trasporti.

Analizzando le alternative attraverso la metodologia scelta per questa tesi, si è potuto riscontare che questi scenari, S15 ed S16, presentano un risultato positivo nella parte di Analisi Costi-Benefici, ed anche le migliori prestazioni nell'Analisi Multi-Criteri. S16 è quello in cui il rapporto costi benefici è più alto (1,06) , mentre S15 ha ottenuto i migliori risultati tramite la considerazione dei criteri (0,81).

A seconda del peso che si attribuisce nell'analisi COSIMA, alla parte AMC, l'alternativa migliore varia. Spetterà perciò al decisore attribuire il giusto peso per decretare lo scenario più favorevole. Esiste un punto all'interno di questa analisi dove entrambi gli scenari raggiungono il medesimo valore, per cui per determinare quello più favorevole è importante definire l'obiettivo principale della trasformazione.

Mettendo a confronto la valutazione energetica con quella economica/criteriale si può quindi dire che la creazione di un Post-Carbon District, attraverso uno di questi scenari, è anche supportato da un investimento remunerativo che invece non sussiste quando vengono adottate delle misure più contenitive di trasformazione. Inoltre presentano entrambe un impatto positivo dal punto di vista ambientale e sociale, oltre che economico.

L'utilizzo di questa analisi ha permesso di superare le difficoltà correlate alla sola applicazione della ACB, dove quest'ultima ammette la considerazione dei soli benefici che possono essere monetizzati, escludendone altri che presentano la stessa importanza per lo sviluppo ambientale, economico e sociale di un quartiere. In questo modo è stato possibile includere all'interno

dell'analisi anche aspetti extra-monetari, valutati secondo il parere di diversi soggetti, i quali hanno permesso l'identificazione della migliore alternativa al di là del mero ritorno economico dell'investimento.

Per gli sviluppi futuri si potrebbe prevedere di condurre un'analisi di sensitività per valutare la robustezza dell'analisi, tramite la modifica di alcuni valori e potrebbero essere intervistati ulteriori esperti per avere un quadro ancora più completo delle preferenze dei diversi soggetti. Il caso studio sul quartiere di Torino è stato solo un punto di partenza dell'utilizzo di questa analisi, per la valutazione delle misure di trasformazione che coinvolgono gli aspetti economici, ambientali e sociali. Le azioni introdotte hanno seguito gli sviluppi che la città di Torino aspira a conseguire, per cui il caso studio potrebbe essere applicato con risultati reali al quartiere in esame ed anche al resto della città, una volta comprovata la reale sostenibilità dell'intervento. Inoltre potrebbero essere indagate nuove alternative di approvvigionamento energetico, che non sono state trattate all'interno di questa tesi, oppure misure di trasformazione alternative anche per gli altri settori.

Questa analisi potrà essere estesa anche al di fuori del contesto torinese, poiché risulta riproducibile anche in altri quartieri, dove potranno essere pensate delle misure di trasformazione riferite al contesto locale.

In conclusione, la creazione di un ambiente più sostenibile può essere raggiunto attraverso degli sforzi che possono risultare impegnativi, ma che permettono di ottenere molto di più di quello che è possibile vedere in un primo momento.

BIBLIOGRAFIA

CAPITOLO 1 - Background legislativo

1. POCACITO, «Understanding the impacts of post-carbon cities in 2050,» 2016.
2. IEA, «World Energy Outlook,» OECD/IEA, 2008.
3. Commissione Europea, «An energy policy for Europe,» in Communication from the commission to the european council and the european parliament , Bruxelles, 2007.
4. G. Melica, P. Bertoldi, A. Kona, A. Iancu, S. Rivas e P. Zancanella, «Multilevel governance of sustainable energy policies: The role of regions and provinces to support the participation of small local authorities in the Covenant of Mayors,» Sustainable Cities and Society, vol. 39, pp. 729-739, 2018.
5. ENEA, «ENEA,» [Online]. Available: <http://www.enea.it/it/seguici/le-parole-dellenergia/glossario/parole/protocollo-di-kyoto>. [Consultato in Gennaio 2019].
6. L. Lau, K. T. Lee e A. R. Mohamed, «Global warming mitigation and renewable energy policy development from the Kyoto Protocol to the Copenhagen Accord—A comment,» Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 16, n. 7, pp. 5280-5284, 2012.
7. Commissione Europea, «2020 climate & energy package,» [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_it. [Consultato in Gennaio 2019].
8. M. Hubler e A. Loschel, «The EU Decarbonisation Roadmap 2050—What way to walk?,» Energy Policy, vol. 55, pp. 190-207, 2013.
9. Commissione Europea, «2050 low-carbon economy,» [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_it. [Consultato in Gennaio 2019].
10. Commissione europea, «2030 climate & energy framework,» [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_it. [Consultato in Gennaio 2019].
11. Commissione Europea, «Paris Agreement,» [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_it. [Consultato in Gennaio 2019].
12. A. C. Broto, «Urban Governance and the Politics of Climate change,» World Development, vol. 93, pp. 1-15, 2017.
13. Patto dei Sindaci per il Clima e l'Energia, «Patto dei Sindaci,» [Online]. Available: <https://www.pattodeisindaci.eu/it/>. [Consultato in Gennaio 2019].
14. A. Kona, P. Bertoldi, F. Monforti-Ferrario, S. Rivas e J. F. Dallemand, «Covenant of mayors signatories leading the way towards 1.5 degree global warming pathway,» Sustainable Cities and Society, vol. 41, pp. 568-575, 2018.
15. N. Tollin, «The role of cities and local authorities following COP21 and the Paris Agreement,» Sostenibile, vol. 16, pp. 43-51, 2015.
16. S. Koutra , V. Becue, M. Gallas e C. S. Loakinidis, «Towards the development of a net-zero energy district evaluation approach: A review of sustainable approaches and assessment tools,» Sustainable Cities and Society, vol. 39, pp. 784-800, 2018.
17. S. Kennedy e S. Sgouridis, «Rigorous classification and carbon accounting principles for low and Zero Carbon Cities,» Energy Policy, vol. 39, n. 9, pp. 5259-5268, 2011.
18. A. R. Amaral, E. Rodrigues, A. Rodrigues Gaspar e A. Gomes, «Review on performance aspects of nearly zero-energy districts,» Sustainable Cities and Society, vol. 43, pp. 406-420, 2018.

CAPITOLO 2 - Sviluppo urbano sostenibile

1. IEA, Implementation of Energy Strategies in Communities (Annex 63) Volume 1: Inventory of measures, SIR – Salzburg Institute for Regional Planning and Housing, 2017.
2. World Business Council for Sustainable development (WBCSD), «CEO Guide to the Sustainable Development Goals,» [Online]. Available: https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:KOtW_NDmB7:https://www.wbcd.org/contentwbc/download/3877/51694+&cd=2&hl=it&ct=clnk&gl=it.
3. Commissione Europea, «Tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse,» [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0571:FIN:IT:PDF>. [Consultato in Aprile 2019].
4. WCED, «Our Common Future: a Report from the United Nations World Commission on Environment and Development,» Oxford University Press, Oxford, 1987.
5. POCACITO, «Roadmap for post-carbon cities in Europe: transition to sustainable and resilient urban living,» in Policy Brief No. 3, 2016.
6. A. Sodiq, A. A. B. Baloch, S. A. Khan, N. Sezer, S. Mahmoud, M. Jama e A. Abdelaal, «Towards modern sustainable cities: Review of sustainability principles and trends,» Journal of Cleaner Production, vol. 227, pp. 972-1001, 2019.
7. UN environment, «Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector. Global status report 2017,» Un environment, 2017.
8. C. Becchio, S. Corgnati, C. Delmastro, V. Fabi e P. Lombardi, «The role of nearly-zero energy buildings in the transition towards Post-Carbon Cities,» Sustainable Cities and Society, n. 27, pp. 324-337, 2016.
9. EPBD, 2010/31/UE. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), [Online]. Available: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:EN:PDF>. [Consultato in Febbraio 2019].
10. BPIE, «Implementing the cost-optimal methodology in EU countries. Lesson learned from three case studies,» BPIE, 2013.
11. Athienitis e O'Brien, Modelling, Design and Optimization of Net-Zero Energy Buildings, Berlino: Ernst & Sohn, 2015.
12. Roadmap to a Resource Efficient Europe. COM/2011/0571 final , [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52011DC0571>. [Consultato in Febbraio 2019].
13. Directive 2004/8/EC of the European Parliament and of the Council of 11 February 2004 on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market and amending. Directive 92/42/EEC.
14. M. Noussan, M. Jarre, R. Roberto e D. Russolillo, «Combined vs separate heat and power production – Primary energy comparison in high renewable share contexts,» Applied Energy, vol. 213, pp. 1-10, 2018.
15. C. europea, «Energy infrastructure priorities for 2020 and beyond - A Blueprint for an integrated European energy network,» Brussels, 2010.
16. EU, . Directive 2009/28/ec of the european parliament and of the council of 23

april 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing directives 2001/77/ec and 2003/30/ec. 2009..

17. D. Hawekey, J. Webb e M. Winksel, «Organisation and governance of urban energy systems: district heating and cooling in the UK,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 50, pp. 22-31, 2013.
18. S. Werner, «International review of district heating and cooling,» *Energy*, vol. 137, pp. 617-631, 2017.
19. B. Rezaie e M. A. Rosen , «District heating and cooling: review of technology and potential enhancements,» *Applied Energy*, vol. 93, pp. 2-10, 2012.
20. K. Sartor, S. Quoilin e P. Dewallef, «Simulation and optimization of a CHP biomass plant and district heating network,» *Applied Energy*, vol. 130, pp. 474-483, 2014.
21. K. Ericsson e S. Werner, «The introduction and expansion of biomass use in Swedish district heating systems,» *Biomass and Bioenergy*, vol. 94, pp. 57-65, 2016.
22. M. Rama e S. Mohammadi, «Comparison of distributed and centralised integration of solar heat in a district heating system,» *Energy*, vol. 137, pp. 649-660, 2017.
23. F. Fidenza, «The first italian experience on solar district heating in Varese,» Varese.
24. 2030 Water Resources Group, «Charting our water future,» [Online]. Available: http://www.mckinsey.com/client_service/sustainability/latest_thinking/charting_our_water_future. [Consultato in Aprile 2019].
25. BIO Intelligence Service, «Water Performance of Buildings, Final Report prepared for European Commission, DG Environment,» 2012.
26. Agenzia Europea dell'ambiente, *Usa sostenibile dell'acqua in Europa? Stato, prospettive e problemi*, Copenhagen: AEA , 2000.
27. Commissione Europea, «Piano per la salvaguardia delle risorse idriche europee /* COM/2012/0673 final */,» [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52012DC0673&from=EN>. [Consultato in Aprile 2019].
28. O. Das, P. Bera e S. Moulick, «Water conservation aspects of green buildings,» *International Journal of Research in Engineering and Technology* , vol. 4, pp. 75-79, 2015.
29. OECD, «Reducing transport greenhouse gas emission, trends & data 2010,» OECD/ITF, 2010.
30. Commissione Europea, «White Paper on transport. Roadmap to a single european transport area - Towards a competitive and resource-efficient transport system,» Lussemburgo, 2011.
31. The international Council on Clean Transportation (ICCT), *White paper. Emerging best practices for electric vehicle charging infrastructure*, 2017.
32. «Indicator-Based Methodology for Assessing EV Charging Infrastructure Using Exploratory Data Analysis,» *Energies*, 2018.
33. R. L. Mackett, A. D. May, M. Kii e H. Pan, «Reducing car use in urban areas,» Londra, University College London, 2013, pp. 211-230.
34. European Citizens' Initiative, « ECI 30kmh – Making streets liveable,» 2013. [Online].

Available: <http://en.30kmh.eu>. [Consultato in Ottobre 2018].

35. A. C. Kawan e J. H. Hashim, «A review on co-benefits of mass public transportation in climate change mitigation,» *Sustainable Cities and Society*, vol. 22, pp. 11-18, 2016.

36. M. Turley, «South Central Edinburgh 20mph Limit Pilot Evaluation,» Transport and Environment Committee, Edimburgo, 2013.

37. Commissione Europea, «L'anello mancante - Piano d'azione dell'Unione europea per l'economia circolare,» Bruxelles, 2015.

38. WASTEITALIA, «Waste End,» [Online]. Available: <https://www.wasteitalia.it/attivita/progetto-waste-end/il-modello>. [Consultato in Maggio 2018].

39. C. Flurin, «Eco-district: development and evaluation. A European case study,» *International Conference - Green Urbanism*, vol. 37, pp. 34-45, 2016.

40. S. Ayyoob, *Sustainability at the Neighborhood Level: Assessment Tools and the Pursuit of Sustainability*, Nagoya University, 2013.

41. ANCE Associazione Nazionale Costruttori Edili, «L'esperienza degli Ecoquartieri per ispirare la strutturazione di misure e progetti della nuova Asse urbana dei Programmi Operativi Regionali 2014 / 2020 (Fondi europei FESR ed FSE),» ANCE , 2013.

42. AUDIS, GBC ITALIA e LEGAMBIENTE, «ECOQUARTIERI IN ITALIA: UN PATTO PER LA RIGENERAZIONE URBANA Una proposta per il rilancio economico, sociale, ambientale e culturale delle città e dei territori,» 2011.

43. «freiburg-vauban.de,» [Online]. Available: <https://freiburg-vauban.de/en/quartier-vauban-2/>. [Consultato in Giugno 2018].

44. Smart Cities Dive, «Smart cities dive,» [Online]. Available: <https://www.smartcitiesdive.com/ex/sustainablecitiescollective/words-most-successful-model-sustainable-urban-development/229316/>. [Consultato in Novembre 2018].

45. Construction 21 international, «Vauban ecodistrict, Freiburg,» [Online]. Available: <https://www.construction21.org/city/h/vauban-ecodistrict-freiburg.html>. [Consultato in Maggio 2019].

46. Università degli Studi di Parma, «Laboratorio di Urbanistica Paesaggio e Territorio,» [Online]. Available: http://www.urbanistica.unipr.it/?option=com_content&task=view&id=423. [Consultato in Aprile 2019].

47. Energy Cities, «Sustainable neighbourhood Eco.Viikki (Helsinki - FI),» [Online]. Available: http://www.energy-cities.eu/db/helsinki_579_en.pdf. [Consultato in Giugno 2018].

48. Energie Cities, «Sustainable neighbourhood - BedZED (Beddington Zero fossil Energy Development - GB),» [Online]. Available: http://www.energie-cites.eu/db/sutton_579_en.pdf.

49. Urban green-blue grids for sustainable and resilient cities, «Bo01, Malmo, Svezia,» [Online]. Available: <https://www.urbangreenbluegrids.com/projects/bo01-city-of-tomorrow-malmo-sweden/>. [Consultato in Luglio 2018].

50. R. Farreny, X. Gabarrell e J. Rieradevall, «Cost-efficiency of rainwater harvesting strategies in dense Mediterranean neighbourhoods,» *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 55, pp. 686-694, 2011.

CAPITOLO 3 - Valutazione delle misure di efficienza energetica

1. C. Ingrao, A. Messineo, R. Beltramo, T. Yigitcanlar e G. Ioppolo, «How can life cycle thinking support sustainability of buildings? Investigating life cycle assessment applications for energy efficiency and environmental performance,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 201, pp. 556-569, 2018.
2. A. Yushchenko e M. K. Patel, «Cost-effectiveness of energy efficiency programs: How to better understand and improve from multiple stakeholder perspectives?,» *Energy Policy*, vol. 108, pp. 538-550, 2017.
3. M. B. Barfod, K. B. Salling e S. Leleur, «Composite decision support by combining cost-benefit and multi-criteria decision analysis,» *Decision Support Systems*, vol. 51, pp. 167-175, 2011.
4. «MCDA and Risk Analysis in Transport Infrastructure Appraisals: the Rail Baltica Case,» *Procedia Social and Behavioral Sciences*, vol. 20, pp. 944-953, 2011.
5. PAHO, «Cost-benefit analysis methodology,» [Online]. Available: https://www.paho.org/disasters/index.php?option=com_docman&view=download&alias=2178-smart-hospitals-toolkit-cost-benefit-analysis-cba&category_slug=smart-hospitals-toolkit&Itemid=1179&lang=en. [Consultato in Marzo 2019].
6. JRC Reference Report, «Guidelines for conducting a cost-benefit analysis of Smart Grid projects,» Joint Research Centre, 2012.
7. J. Quiggin, «Discount rates and sustainability,» *International Journal of Social Economics* forthcoming, 1997.
8. Beccali, M. Cellura e M. Mistretta, «Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at the regional level for the diffusion of renewable energy technology,» *Renewable Energy*, vol. 28, pp. 2063-2087, 2003.
9. C. Wimmer, G. Hejazi, E. de Oliveira Fernandes, C. Moreira e S. Connors, «Multi-Criteria Decision Support Methods for Renewable Energy Systems on Islands,» *Journal of Clean Energy Technologies*, vol. 3, n. 3, pp. 185-195, 2015.
10. T. Kurka e D. Blackwood, «Selection of MCA methods to support decision making for renewable energy developments,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 27, pp. 225-233, 2013.
11. J. Zheng e J. Lienert, «Stakeholder interviews with two MAVT preference elicitation philosophies in a Swiss water infrastructure decision: Aggregation using SWING-weighting and disaggregation using UTA,» *European Journal of Operational Research*, vol. 267, n. 1, pp. 273-287, 2018.
12. H. Saarikoski, J. Mustajoki, D. N. Barton, D. Geneletti, J. Langemeyer, E. Gomez-Baggethun, M. Marttunen, P. Antunes, H. Keune e R. Santos, «Multi-Criteria Decision Analysis and Cost-Benefit Analysis: Comparing alternative frameworks for integrated valuation of ecosystem services,» *Ecosystem Services*, vol. 22, pp. 238-249, 2016.
13. M. van Herwijnen, «Multiple-attribute value theory (MAVT),» [Online]. Available: http://www.ivm.vu.nl/en/Images/MCA1_tcm234-161527.pdf. [Consultato in Giugno 2019].
14. M. Danielson e L. Ekenberg, «A Robustness Study of State-of-the-Art Surrogate Weights for MCDM,» *Cross Mark*, 2016.
15. A. Miyatsuka e E. Zusman, «Fact Sheet No.1 What are Co-benefits?,» ACP.

-
16. Intergovernmental Panel on Climate Change, «. Mitigation: contribution of Working Group III to the,» IPCC, 2001.
 17. A. Bisello, D. Vettorato, R. Stephens e P. Elisei, Smart and Sustainable Planning for Cities and Regions, Cham: Springer, 2015.
 18. IEA, «Capturing the multiple benefits of energy efficiency,» 2014.
 19. Economics of Green Cities Programme, «Co-benefits of urban climate action: A framework for cities,» LSE Cities, London School of Economics and Political Science, 2016.
 20. International Energy Agency, «Spreading the net: the multiple benefits of energy efficiency improvements,» OECD/IEA, Parigi, 2012.
 21. IEA, «Energy security,» [Online]. Available: <https://www.iea.org/topics/energyefficiency/multiplebenefits/energy-security-.html>. [Consultato il giorno Marzo 2019].
 22. IEA, «What is energy security?,» [Online]. Available: <https://www.iea.org/topics/energysecurity/whatisenergysecurity/>. [Consultato in Marzo 2019].
 23. The Climate Reality Project, «Handbook on carbon pricing instruments,» The Climate Reality Project, 2017.
 24. UNI/TS 11300-4 Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria, 2014.
 25. Commissione Europea, «ExternE-Externalities of energy-Methodology 1998 update, vol. 7- EUR 19083.,» Directorate-General XII, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 1998.
 26. RICARDO-AEA, «Update of the Handbook on External Costs of Transport,» European Commission, 2014.
 27. F. Zhang, M. Polyakov, J. Fogarty e D. J. Pannell, «The capitalized value of rainwater tanks in the property market of Perth, Australia,» Journal of Hydrology, vol. 522, pp. 317-325, 2015.
 28. M. C. Bottero e M. Bravi, «Valutazione dei benefici connessi al risparmio energetico degli edifici: un approccio econometrico,» GAEM, 2014.
 29. OECD, «Employment Implications of Green Growth: Linking jobs, growth, and green policies,» OECD, 2017.
 30. C. Becchio, M. Bottero, S. Corgnati e F. Dell'Anna, «Cost benefit analysis and smart grids projects,» Urban Infrastructure for Post-Carbon Cities, pp. 278 - 297.
 31. ARERA, «Ritiro dedicato e prezzi minimi garantiti,» [Online]. Available: <https://www.arera.it/it/elettricit/a/prezziminimi.htm>. [Consultato in Maggio 2019].
 32. Y. Li, J. O'Donnell, R. Garcia-Castro e S. Vega-Sanchez, «Identifying stakeholders and key performance indicators for district and building energy performance analysis,» Energy and Buildings, vol. 155, pp. 1-15, 2017.
 33. A. Huovila, P. Bosch e M. Airaksinen, «Comparative analysis of standardized indicators for Smart sustainable cities: What indicators and standards to use and when?,»

Cities, vol. 89, pp. 141-153, 2019.

34. SmartEnCity, «Towards smart zero CO₂ cities across Europe. Deliverabile 7.2: KPIs definition,» 2016.

35. EU Smart Cities Information System, «Key performance indicator guide,» 2017.

36. C. De Gruyler, G. Currie e G. Rose, «Sustainability Measures of Urban Public Transport in Cities: A World Review and Focus on the Asia/Middle East Region,» Sustainability, pp. 1-21, 2016.

37. Wareg European Water Regulators, «An analysis of water efficiency KPIs in wareg member countries,» Wareg, 2017.

38. D. Neves, P. Baptista, M. Simoes, C. A. Silva e J. R. Figueira, «Designing a municipal sustainable energy strategy using multi-criteria decision analysis,» Journal of Cleaner Production, vol. 176, pp. 251-260, 2018.

39. A. I. Chatzimouratidis e P. A. Pilavachi, «Multicriteria evaluation of power plants impact on the living standard using the analytic hierarchy process,» Energy Policy, vol. 36, pp. 2074-1089, 2008.

40. F. Ribeiro, P. Ferreira e M. Araujo, «Evaluating future scenarios for the power generation sector using Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) tool: The Portuguese case,» Energy, vol. 52, pp. 126-136, 2013.

41. A. Maxim, «Sustainability assessment of electricity generation technologies using weighted multi-criteria decision analysis,» Energy Policy, vol. 65, pp. 284-297, 2014.

42. T. Tsoutsos, M. Drandaki, N. Frantzeskaki, E. Iosifidis e I. Kiosses, «Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete,» Energy Policy, vol. 37, pp. 1587-1600, 2009.

43. S. Ghafghazi, T. Sowlati, S. Sokhansanj e S. Melin, «A multicriteria approach to evaluate district heating system options,» Applied Energy, vol. 87, pp. 1134-1140, 2010.

CAPITOLO 4 - Strumenti e metodologia

1. V. Corrado, I. Ballarini e S. P. Corgnati, «Building Typology Brochure - Italy. Fascicolo sulla Tipologia Edilizia Italiana,» Politecnico di Torino - Dipartimento Energia. Gruppo di Ricerca TEBE, Torino, 2014.

2. TABULA, «TABULA WebTool,» [Online]. Available: <http://webtool.building-typology.eu/#bm>. [Consultato in Marzo 2019].

3. MasterClima, «MasterClima,» [Online]. Available: <http://www.masterclima.info/>. [Consultato in Gennaio 2019].

4. Città metropolitana di Torino, «Geoportale,» [Online]. Available: <http://www.geoportale.cittametropolitana.torino.it/geocatalogopto/>. [Consultato in Maggio 2018].

5. G. Mutani, C. Delmastro, M. Gargiulo e S. P. Cognati, «Characterization of Building Thermal Energy Consumption at the Urban Scale,» Energy Procedia, vol. 101, pp. 384-391, 2016.

6. J. Nipkow e M. Schalcher, Energy consumption and efficiency potentials of lifts, Zurich, 2005.

-
7. ISTAT, «Energia - Consumo per uso domestico,» [Online]. Available: http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCCV_CNSENRG. [Consultato in Marzo 2019].
 8. ENEA, «RICERCA SISTEMA ELETTRICO. Analisi dello stato dell'arte nazionale ed internazionale dei sistemi integrati di illuminazione naturale/ artificiale in relazione all'involucro edilizio nel caso di edifici del terziario e abitativi.,» ENEA, 2009.
 9. ISTAT, «Acqua - Consumo per uso domestico,» [Online]. Available: http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCCV_INDACQDOM#. [Consultato in Marzo 2019].
 10. Città di Torino, «Piano Regolatore Illuminazione Comunale - Tipologia di sorgenti luminose,» [Online]. Available: <http://www.comune.torino.it/canaleambiente/pric/pdf/pric/tavole/03.pdf>. [Consultato in Giugno 2018].
 11. Città di Torino, «Piano d'Azione per L'energia sostenibile TAPE Turin Action Plan for Energy,» Torino, 2009.
 12. GTT Gruppo Torinese Trasporti, «Parco Veicoli. Schede Tecniche,» [Online]. Available: http://www.gtt.to.it/cms/risorse/gruppo/veicoli/parco_veicoli_tpl.pdf. [Consultato in Gennaio 2019].
 13. Città di Torino, «Piano Urbano della Mobilità Sostenibile. BANCA DATI - Scenario di riferimento 2008,» [Online]. Available: http://geoportale.comune.torino.it/web/sites/default/files/mediafiles/pums_all2_sistema_mobilita_in_citta_tabelle_1.pdf.
 14. Endurance Italia, «Osservatorio PUMS,» [Online]. Available: <https://www.osservatoriopums.it/torino>. [Consultato in Marzo 2018].
 15. Città di Torino, «Allegato energetico - ambientale. Al regolaento edilizio della città di Torino. Adeguato alle recenti disposizioni normative statali e regionali in materia di rendimento energetico nell'edilizia. Allegato alla deliberazione n. 2010-08963/38,» Torino, 2010.
 16. R. Farreny, X. Gabarrell e J. Rieradevall, «Cost-efficiency of rainwater harvesting strategies in dense Mediterranean neighbourhoods,» Resources, Conservation and Recycling, vol. 55, pp. 686-694, 2011.
 17. A. Petit_Boix, J. Devkota, R. Philips, M. V. Vargas-Parra, A. Josa, X. Gabarell, J. Rieradevall e D. Apul, «Life cycle and hydrologic modeling of rainwater harvesting in urban neighborhoods: Implications of urban form and water demand patterns in the US and Spain,» Science of The Total Environment, vol. 621, pp. 434-433, 2018.
 18. European Commission, Directive of the european parliament and of the council on the deployment of alternative fuels infrastructure, Unione Europea, 2014.
 19. International Energy Agency, «Electric Vehicles Initiative (EVI) (2016). Global EV Outlook 2016.,» 2016. [Online]. Available: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global_EV_Outlook_2016.pdf. [Consultato in Maggio 2019].
 20. Direzione Infrastrutture e Mobilità - Servizio Mobilità, «Piano della mobilità ciclabile BiciPlan,» Città di Torino, Torino, 2013.
 21. C. d. Firenze, «Città di Firenze,» 01 02 2018. [Online]. Available: <https://www.comune.fi.it/comunicati-stampa/firenze-al-le-nuove-postazioni-interrate-i-rifiuti>. [Consultato in Ottobre 2018].
 22. R. Del Lungo, Scavi dei cassonetti: il lavoro dell'archeologo 'cittadino' fra ricerca e scoperte, Pisa, 2016.

-
23. Soluzione per lavori pubblici, «Convegno le isole ecologiche interraste,» Bolohna, 2003.
 24. Comune di Torino, «InformAmbiente,» 01 12 2014. [Online]. Available: http://www.comune.torino.it/ambiente/rifiuti/raccolta_diff/isole-ecologiche-interraste.shtml. [Consultato in Novembre 2018].
 25. Eco Chip, «eco-chip,» [Online]. Available: <http://www.eco-chip.it/news/archivio/arriva-in-rete-il-riciclo-intelligente>. [Consultato in Settembre 2018].
 26. B. J. Crowley, Neighborhood level analysis of rainwater catchment in Portland, OR, Portland, 2005.
 27. «Indicator-Based Methodology dor Assessing EV Charging Infrastructure Using Exploratory Data Analysis,» Energies, 2018.
 28. The international Council on Clean Transportation (ICCT), White paper. Emerging best practices for electric vehicle charging infrastructure, 2017.

CAPITOLO 5 - Analisi del quartiere

1. A. Bocco, Trasformazioni, reti e politiche pubbliche a San Salvario, Torino: Archivio di Studi Urbani e regionali, 2007.
2. Agenzia per lo Sviluppo Locale - CICSENE, guida al borgo di San Salvario, Torino, 2001.
3. A. Bocco, «Supporto tecnico allo sviluppo locale partecipato: un'esperienza nel quartiere di San Salvario, Torino,» in Seminario Abita - La Partecipazione Organica, Reggio Calabria, 2006.
4. Città metropolitana di Torino, «Geoportale,» [Online]. Available: <http://www.geoportale.cittametropolitana.torino.it/geocatalogopto/>. [Consultato in Maggio 2018].
5. G. Mutani, C. Delmastro, M. Gargiulo e S. P. Cognati, «Characterization of Building Thermal Energy CONsumption at the Urban Scale,» Energy Procedia, vol. 101, pp. 384-391, 2016.
6. E. Pesce, A CBA-based analysis for the retrofit of a reference district, Torino: Politecnico di Torino, 2018.
7. G. Vergerio, La questione energetico-ambientale-economica nell'edilizia residenziale: Sviluppo di una metodologia di valutazione semplificata per interventi a scala urbana, Politecnico di Torino, 2017.
8. DM 26/6/2015 - Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici, Allegato I, Criteri generali e requisiti delle prestazioni energetiche degli edifici, 2015.
9. J. Nipkow e M. Schalcher, Energy consumption and efficiency potentials of lifts, Zurich, 2005.
10. ISTAT, «Energia - Consumo per uso domestico,» [Online]. Available: http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCCV_CNSENRG. [Consultato in Marzo 2019].
11. ENEA , «RICERCA SISTEMA ELETTRICO. Analisi dello stato dell'arte nazionale ed internazionale dei sistemi integrati di illuminazione naturale/ artificiale in relazione all'involucro edilizio nel caso di edifici del terziario e abitativi.,» ENEA, 2009.

-
12. ISTAT, «Famiglie per possesso di beni durevoli (elettrodomestici ed elettronica),» [Online]. Available: <http://dati.istat.it/Index.aspx?QueryId=34950>. [Consultato in Marzo 2019].
 13. ENEA, «Inchiesta su caratteristiche e utilizzo degli elettrodomestici del freddo, del lavaggio e della cottura da parte degli utenti finali,» 2011.
 14. G. Vergerio, C. Becchio, C. Delmastro, A. Lanzini, S. P. Corgnati e R. Borchiellini, «A decision-making process to support public administrations in defining local energy policies,» *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 6, pp. 398-409, 2018.
 15. ISTAT, «Acqua - Consumo per uso domestico,» [Online]. Available: http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCCV_INDACQDOM#. [Consultato in Marzo 2019].
 16. Città di Torino, «Piano Regolatore Illuminazione Comunale - Tipologia di sorgenti luminose,» [Online]. Available: <http://www.comune.torino.it/canaleambiente/pric/pdf/pric/tavole/03.pdf>. [Consultato in Giugno 2018].
 17. Città di Torino, «Piano d'Azione per L'energia sostenibile TAPE Turin Action Plan for Energy,» Torino, 2009.
 18. «Torino a Led,» [Online]. Available: <http://www.torinoaled.it/torinoaled/>. [Consultato in Maggio 2018].
 19. C. d. Torino, «Piano Urbano della Mobilità Sostenibile. Banca Dati - Scenario di riferimento 2008,» Divisione Infrastrutture e Mobilità, Torino, 2010.
 20. Endurance Italia, «Osservatorio PUMS,» [Online]. Available: <https://www.osservatoriopums.it/torino>. [Consultato in Marzo 2018].
 21. Città di Torino, «Piano Urbano della Mobilità Sostenibile. BANCA DATI - Scenario di riferimento 2008,» [Online]. Available: http://geoportale.comune.torino.it/web/sites/default/files/mediafiles/pums_all2_sistema_mobilita_in_citta_tabelle_1.pdf.
 22. Gruppo Torinese Trasporti, «GTT,» [Online]. Available: <http://www.gtt.to.it/cms/>. [Consultato in Novembre 2018].
 23. GTT-Gruppo Torinese Trasporti, «Bilancio di Sostenibilità 2015,» Torino, 2015.
 24. GTT Gruppo Torinese Trasporti, «Parco Veicoli. Schede Tecniche,» [Online]. Available: http://www.gtt.to.it/cms/risorse/gruppo/veicoli/parco_veicoli_tpl.pdf. [Consultato in Gennaio 2019].
 25. Amiat, «Amiat - Raccolta porta a porta,» [Online]. Available: <http://www.amiat.it/cms/servizi/42-raccolta-e-smaltimento-rifiuti/raccolta-porta-a-porta/66-raccolta-porta-a-porta>. [Consultato in Marzo 2018].
 26. Comune di Bastia Umbra, «Schema di calcolo per la determinazione dell'onere annuo per l'impiego di autocompattatore tipo IVECO 120 a caricatore posteriore,» Bastia Umbra, 2016.

CAPITOLO 6 - Misure di efficienza energetica

1. Città di Torino, «Allegato energetico - ambientale. Al regolamento edilizio della città di Torino. Adeguato alle recenti disposizioni normative statali e regionali in materia di rendimento energetico nell'edilizia. Allegato alla deliberazione n. 2010-08963/38,» Torino, 2010.

-
2. DM 26/6/2015 - Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici, Allegato I, Criteri generali e requisiti delle prestazioni energetiche degli edifici, 2015.
 3. Solbian, [Online]. Available: <https://www.solbian.eu/it/>. [Consultato in Aprile 2019].
 4. Solbian, «Solbian,» [Online]. Available: <https://www.solbian.eu/it/blog/solbian-mette-d-accordo-fotovoltaico-e-tutela-dei-beni-artistici-n24>. [Consultato in Giugno 2019].
 5. G. Vicentini, «Allegato 3. Procedura gis per il calcolo del fabbisogno energetico degli edifici residenziali e del potenziale solare, geotermico e di riduzione del fabbisogno,» Provincia di Torino, Torino, 2013.
 6. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Impianti per la raccolta e l'utilizzo dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano - progettazione, installazione e manutenzione. Norma UNI/TS 11445, Milano: UNI Italia, 2012.
 7. L. Fanizzi, Impianti per la raccolta e l'utilizzo dell'acqua piovana per usi domestici diversi dal consumo umano: la nuova specifica tecnica UNI/TS 11445:2012.
 8. Città di Torino, «Piano Urbano della Mobilità Sostenibile. BANCA DATI - Scenario di riferimento 2008,» [Online]. Available: http://geoportale.comune.torino.it/web/sites/default/files/mediafiles/pums_all2_sistema_mobilita_in_citta_tabelle_1.pdf.
 9. Regione Piemonte, Piano regionale della mobilità e dei trasporti - Allegato A.
 10. European Environment Agency, «EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016,» 2016.
 11. GTT Gruppo Torinese Trasporti, «Parco Veicoli. Schede Tecniche,» [Online]. Available: http://www.gtt.to.it/cms/risorse/gruppo/veicoli/parco_veicoli_tpl.pdf. [Consultato in Gennaio 2019].
 12. European Commission, Directive of the european parliament and of the councils on the deployment of alternative fuels infrastructure, Unione Europea, 2014.
 13. Provincia di Torino, Rapporto sullo stato del sistema di gestione dei rifiuti - Dicembre 2017, Torino, Dicembre 2017.

CAPITOLO 7 - Valutazione degli scenari tramite l'analisi COSIMA

1. CEN, Energy performance of buildings - Economic Evaluation Procedure for Energy Systems in Buildings, EN 15459:2017, Comité Européen de Normalisation Standard, 2017.
2. Sistemapiemonte, «Prezzario Regione Piemonte,» [Online]. Available: <http://www.sistemapiemonte.it/cms/privati/territorio/servizi/929-consultazione-prezzario-regionale-opere-pubbliche/3467-prezzario-2019>. [Consultato in Aprile 2019].
3. Amministrazione Provincia Bolzano, «Lavoro ed economia,» [Online]. Available: <http://www.provincia.bz.it/lavoro-economia/appalti/download.asp>. [Consultato in Aprile 2019].
4. Regione Lombardia, «Prezzario regionale delle opere pubbliche edizione 2019,» [Online]. Available: <http://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioServizio/servizi-e-informazioni/Enti-e-Operatori/Autonomie-locali/Acquisti-e-contratti-pubblici/Osservatorio-regionale-contratti-pubblici/>

prezzario-lavori-opere-pubbliche. [Consultato in Aprile 2019].

5. IREN, «Modalità di allacciamento,» [Online]. Available: <https://www.gruppoiren.it/modalita-di-allacciamento>. [Consultato in Maggio 2019].

6. R. Farreny, X. Gabarrell e J. Rieradevall, «Cost-efficiency of rainwater harvesting strategies in dense Mediterranean neighbourhoods,» *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 55, pp. 686-694, 2011.

7. IREN, Capitolato speciale d'appalto per la fornitura a carattere somministrativo di apparecchi di illuminazione con sorgente a led, Torino, 2014.

8. AUTOBUSweb, «22 bua a metano a Trento per risparmiare soldi e salute,» [Online]. Available: <https://www.autobusweb.com/trento-autobus-metano-risparmio-gilmozzi/>. [Consultato in Maggio 2019].

9. AUTOBUSweb, «Brescia trasporti, una flotta 'metanizzata'. Arrivati 20 Citymood 12 Cng,» [Online]. Available: [://www.autobusweb.com/brescia-trasporti-venti-citymood-12-cng-industria-italiana-autobus-flotta-a-metano/](http://www.autobusweb.com/brescia-trasporti-venti-citymood-12-cng-industria-italiana-autobus-flotta-a-metano/). [Consultato in Maggio 2019].

10. AUTOBUSweb, «Una gara regionale per gli autobus elettrici,» [Online]. Available: <https://www.autobusweb.com/autobus-elettrici-cinesi-torino-byd-gara-regionale-piemonte/>. [Consultato in Maggio 2019].

11. Comune di Moena, Fornitura di stazione di ricarica per veicoli elettrici, Moena, 2018.

12. Amsa Gruppo a2a, «Esito delle gare svolte. Riapertura Termini P.R. 13/2012: Fornitura n.14 autocompattatori,» [Online]. Available: <https://www.pleiade.it/amsa/pleiade/?pagina=gareVincitori&hmac=c4b92a45b452edc6b7c5557a158aeca>. [Consultato in Giugno 2019].

13. Comun General de Fascia, Piano di gestione dei rifiuti solidi urbani in Val di Fassa. Adeguamento in base al 4° aggiornamento del piano provinciale di gestione dei rifiuti della provincia autonoma di Trento, 2015.

14. BSI Standard Publication, «Energy performanc of buildings - Economic evaluation procedure for energy system in buildings. Parte 1: Calculation procedures, Module M1-14,» BSI, 2017.

15. SUPS Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana, Analisi preliminare teleriscaldamento, Canobbio: Istituto sostenibilità applicata all'ambiente costruito, 2010.

16. Ente Nazionale Italiano di Unificazione , Impinati per la raccolta e l'utilizzo dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano - progettazione, installazione e manutenzione. Norma UN/TS 11445, Milano: UNI Italia, 2012.

17. T. R. Gurung, A. Sharma e S. Umapathi, «Economics of Scale Analysis of Communal Rainwater Tanks.,» *Urban Water Security Resarch Alliance Technical Report No. 67*, 2012.

18. Friuli Venezia Giulia Strade, Elenco prezzi unitari. Manutenzione ordinaria e straordinaria impianto elettrici. Esercizio finanziario 2014, Trieste, 2014.

19. GTT Gruppo Torinese Trasporti, «Relazione e bilancio al 31/12/2014,» [Online]. Available: http://www.gtt.to.it/cms/risorse/gruppo/GTT-Bilancio_2014_CDM_def.pdf. [Consultato in Maggio 2019].

20. F. Dell'Anna, G. Vergerio, S. P. Corgnati e G. Mondini, «A new price list for retrofit intervention evaluation on some archetypical buildings,» *Journal valori e valutazioni*, vol.

22, 2019.

21. Sorgenia, «Costo kWh di energia elettrica: qual è il prezzo dell'elettricità in Italia e in Europa?», [Online]. Available: <https://www.sorgenia.it/guida-energia/elettricit/costo-del-kwh-in-italia-e-europa-1>. [Consultato in Maggio 2019].

22. Sorgenia, «Costo kWh di energia elettrica: qual è il prezzo dell'elettricità in Italia e in Europa?», [Online]. Available: <https://www.sorgenia.it/guida-energia/elettricit/costo-del-kwh-in-italia-e-europa-1>. [Consultato in Maggio 2019].

23. Servizio elettrico nazionale, «Tariffa per illuminazione pubblica», [Online]. Available: <https://www.servizioelettriconazionale.it/it-IT/tariffe/illuminazione-pubblica>. [Consultato in Maggio 2019].

24. BlueTorino, «Bluetorino: 3 formule noleggio e 1 di ricarica (auto propria)», [Online]. Available: <https://www.bluetorino.eu/scegli-il-tuo-abbonamento>. [Consultato in Maggio 2019].

25. Carburanti Italia, «Prezzi odierni medi regionali», [Online]. Available: <http://carburanti-italia.it/prezzi-regionali>. [Consultato in 19 Aprile 2019].

26. Amiat, «Bilancio d'esercizio 2017», [Online]. Available: http://www.amiat.it/cms/phocadownload/Bilanci_esercizio/bilancio%202017.pdf. [Consultato in Maggio 2019].

27. Rsi, «Tabella della durata di vita», [Online]. Available: <https://www.rsi.ch/la1/programmi/informazione/patti-chiar/TABELLA-DELLA-DURATA-DI-VITA-ALLESTITA-CONGIUNTAMENTE-DA-MV-e-HEV-2831221.html/binary/TABELLA%20DELLA%20DURATA%20DI%20VITA%20ALLESTITA%20CONGIUNTAMENTE%20DA%20MV%20e%20HEV>. [Consultato in Giugno 2019].

28. Regione Lombardia, «Modifiche al regolamento regionale n. 6/2014 su noleggio autobus con conducente», [Online]. Available: <http://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioAvviso/servizi-e-informazioni/impres/impres-di-trasporto-e-logistica/servizi-di-noleggio/delibera-modifiche-ncc-autobus/modifiche-ncc-autobus>. [Consultato in Giugno 2019].

29. «What You Need to Know About EV Charging Station Maintenance», [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/what-you-need-know-ev-charging-station-maintenance-nolan-rutschilling>. [Consultato in Giugno 2019].

30. Asmprato, «Fornitura e posa con esecuzione opere connesse di due isole ecologiche interrato nel centro storico del comune di Prato», [Online]. Available: <http://allegati.asmprato.it/dl/20110304144045402/05reldes.pdf>. [Consultato in Giugno 2019].

31. R. Dones e P. Preiss, «Externalities of Energy: Extension of Accounting Framework and Policy Applications», Universitat Stuttgart, Stuttgart, Germany, 2005.

32. ARERA, «Produzione lorda di energia elettrica per fonte», [Online]. Available: <https://www.arera.it/it/dati/eem6.htm>. [Consultato in Aprile 2019].

33. Commissione Europea, «REGOLAMENTO DELEGATO (UE) N. 244/2012 DELLA COMMISSIONE del 16 gennaio 2012», [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=celex:32012R0244>. [Consultato in Giugno 2019].

34. Copenhagen Economics, «Multiple benefits of investing in energy efficient renovation of buildings. Impact on Public Finances», Copenhagen Economics, 2012.

35. F. Dell'Anna, Evaluating co-benefits of nZED projects: methodological approach and

experimentation in the city of Turin, Torino: Politecnico di Torino, 2015.

36. C. Becchio, S. Corgnati, F. Dell'Anna e M. Bottero, «Cost benefit analysis and smart grids projects,» *Urban Infrastructure for Post-Carbon Cities*, pp. 278 - 297.

37. UNESCO, «Water drives job creation and economic growth, says new UN report,» [Online]. Available: <https://en.unesco.org/news/water-drives-job-creation-and-economic-growth-says-new-report>. [Consultato in Giugno 2019].

38. EU Smart Cities Information System, «Key performance indicatore guide,» 2017.

39. Wareg European Water Regulators, «An analysis of water efficiency KPIs in wareg member countries,» Wareg, 2017.

40. BREEAM, «Wat 01 Water consumption,» [Online]. Available: https://www.breeam.com/BREEAM2011SchemeDocument/Content/08_Water/wat01.htm. [Consultato in Giugno 2019].

41. C. Becchio, M. C. Bottero, S. P. Corgnati e F. Dell'Anna, «Decision making for sustainable urban energy planning: an integrated evaluation framework of alternative solutions for NZED (Net Zero-Energy District) in Turin,» *Land Use Policy*, vol. 78, pp. 803-817, 2018.

Allegato A

Costi edifici

SERRAMENTI

Retrofit Standard

Porte	Rimozione porta	01.A02.C00.005	12,68	€/m ²
	Porta	01.P13.Q00.005	502,72	€/m ²
	Installazione porta	01.A17.C10.005	47,38	€/m ²
Totale			562,78	€/m²

Finestre	Rimozione finestra	01.A02.C00.005	12,68	€/m ²
	Finestra	01.P20.G00.045	209,57	€/m ²
	Supplemento Uf<1,6 e >1,3	01.P20.G40.005	10,00	%
	Finestra tot		230,53	€/m ²
	Installazione finestra	01.A16.B00.005	28,02	€/m ²
	Vetro	01.P20.B04.080	42,25	€/m ²
Totale			313,48	€/m²

Retrofit Avanzato

Porte	Rimozione porta	01.A02.C00.005	12,68	€/m ²
	Porta	01.P13.Q00.005	502,72	€/m ²
	Sovrapprezzo per U=1,4	01.P13.Q10.005	40,00	%
	Installazione porta	01.A17.C10.005	47,38	€/m ²
Totale			763,87	€/m²

Finestre	Rimozione finestra	01.A02.C00.005	12,68	€/m ²
	Finestra	01.P20.G00.005	209,57	€/m ²
	Supplemento Uf<1,3 e >1,0	01.P20.G40.010	20,00	%
	Installazione finestra	01.A16.B00.005	28,02	€/m ²
	Vetro	01.P20.B04.085	48,45	€/m ²
	Gas argon	01.P20.B06.005	5,9	€/m ²
Totale			346,53	€/m²

INVOLUCRO

MURI

Muri esterni cappotto	Rimozione intonaco	01.A02.B60.005	6,58	€/m ²
	Intonaco	01.A10.B20.065	16,09	€/m ²
	Impalcatura	01.P25.A98.005	11,65	€/m ²
	Realizzazione Isolamento	03.A07.A01.005	43,9	€/m ²
6 cm	Materiale isolante	03.P09.D01.005	22,37	€/m ²
Totale			100,59	€/m²
7cm	Materiale isolante	03.P09.D01.015	29,83	€/m ²
Totale			108,05	€/m²
8cm	Materiale isolante	03.P09.D01.015	29,83	€/m ²

	Totale		108,05	€/m²
9 cm	Materiale isolante	03.P09.D01.015	37,29	€/m ²
	Totale		115,51	€/m²
10 cm	Materiale isolante	03.P09.D01.015	37,29	€/m ²
	Totale		115,51	€/m²
11 cm	Materiale isolante	03.P09.D01.020	44,75	€/m ²
	Totale		122,97	€/m²
12 cm	Materiale isolante	03.P09.D01.020	44,75	€/m ²
	Totale		122,97	€/m²
13 cm	Materiale isolante	03.P09.D01.025	52,21	€/m ²
	Totale		130,43	€/m²
14 cm	Materiale isolante	03.P09.D01.025	52,21	€/m ²
	Totale		130,43	€/m²
16 cm	Materiale isolante	03.P09.D01.030	59,66	€/m ²
	Totale		137,88	€/m²
18cm	Materiale isolante	03.P09.D01.035	67,11	€/m ²
	Totale		145,33	€/m²
19 cm	Materiale isolante	03.P09.D01.040	74,83	€/m ²
	Totale		153,05	€/m²
20 cm	Materiale isolante	03.P09.D01.040	74,83	€/m ²
	Totale		153,05	€/m²
22 cm	Materiale isolante (10 cm)	03.P09.D01.015	37,29	€/m ²
	Materiale isolante (12 cm)	03.P09.D01.020	44,75	€/m ²
	Totale		160,26	€/m²
23 cm	Materiale isolante (10 cm)	03.P09.D01.015	37,29	€/m ²
	Materiale isolante (12 cm)	03.P09.D01.025	52,21	€/m ²
	Totale		167,72	€/m²

SOLAIO SUPERIORE

Solaio superiore	Installazione materiale isolante	01.A09.G50.005	6,59	€/m ²
	Guaina di separazione	03.P10.A02.005	0,75	€/m ²
	Installazione guaina di separazione	03.A08.A01.015	17,31	€/m ²
8 cm	Materiale isolante	03.P09.I01.020	12,17	€/m ²
	Totale		36,82	€/m²
12 cm	Materiale isolante	03.P09.I01.030	17,29	€/m ²
	Totale		41,94	€/m²
15 cm	Materiale isolante	03.P09.I01.040	23,09	€/m ²
	Totale		47,74	€/m²
16 cm	Materiale isolante	03.P09.I01.040	23,09	€/m ²
	Totale		47,74	€/m²
19 cm	Materiale isolante	03.P09.I01.050	32,39	€/m ²
	Totale		57,04	€/m²

SOLAIO INFERIORE

Solaio inferiore	Installazione materiale isolante	01.A09.G50.005	6,59	€/m ²
	Massetto	01.A10.B20.065	16,09	€/m ²
6 cm	Materiale isolante	01.P09.A25.010	6,76	€/m ²
	Totale		29,44	€/m²
9 cm	Materiale isolante	01.P09.A25.020	11,29	€/m ²
	Totale		33,97	€/m²
10 cm	Materiale isolante	01.P09.A25.020	11,29	€/m ²
	Totale		33,97	€/m²
11 cm	Materiale isolante	01.P09.A25.025	13,55	€/m ²
	Totale		36,23	€/m²
12 cm	Materiale isolante	01.P09.A25.025	13,55	€/m ²
	Totale		36,23	€/m²
14 cm	Materiale isolante	01.P09.A25.030	15,8	€/m ²
	Totale		38,48	€/m²
16 cm	Materiale isolante	01.P09.A25.035	18,05	€/m ²
	Totale		40,73	€/m²
17 cm	Materiale isolante (10 cm)	01.P09.A25.020	11,29	€/m ²
	Materiale isolante (8 cm)	01.P09.A25.015	9,02	€/m ²
	Totale		42,99	€/m²
18 cm	Materiale isolante (10 cm)	01.P09.A25.020	11,29	€/m ²
	Materiale isolante (8 cm)	01.P09.A25.015	9,02	€/m ²
	Totale		42,99	€/m²
20 cm	Materiale isolante (10 cm)	01.P09.A25.020	11,29	€/m ²
	Materiale isolante (10 cm)	01.P09.A25.015	11,29	€/m ²
	Totale		45,26	€/m²
21 cm	Materiale isolante (10 cm)	01.P09.A25.020	11,29	€/m ²
	Materiale isolante (10 cm)	01.P09.A25.015	11,29	€/m ²
	Totale		45,26	€/m²
22 cm	Materiale isolante (10 cm)	01.P09.A25.020	11,29	€/m ²
	Materiale isolante (12 cm)	01.P09.A25.025	13,55	€/m ²
	Totale		47,52	€/m²

SOLAIO INFERIORE CONTROTERRA

Solaio inferiore controterra	Demolizione pavimento e massetto	01.A02.A40.005	87,45	€/m ²
	Feltro impermeabile	01.P10.H50.005	20,37	€/m ²
	Installazione materiale isolante	01.A09.G50.005	6,59	€/m ²
	Barriera al vapore	03.P10.A02.005	0,75	€/m ²
	Installazione barriera al vapore	03.A08.A01.015	17,31	€/m ²
	Massetto	01.A11.A40.005	3,54	€/m ²
	Pavimento	01.P07.B45.005	24,28	€/m ²
	Installazione pavimento	01.A12.B75.005	31,5	€/m ²
14 cm	Materiale isolante	01.P09.A56.010	23,42	€/m ²
	Totale		215,21	€/m²
22 cm	Materiale isolante (10cm)	01.P09.A55.010	13,81	€/m ²

	Materiale isolante (12cm)	01.P09.A55.015	16,57	€/m ²
	Totale		222,17	€/m²

COPERTURA

Copertura ventilata	Impalcatura	01.P25.A98.005	11,65	€/m ²
	Rimozione coppi	02.P02.A58.020	18,62	€/m ²
	Rimozione orditura in legno	02.P02.A60.010	4,34	€/m ²
	Impermeabilizzazione	01.P10.H50.005	20,37	€/m ²
	Posizionamento orditura	02.P45.L25.010	46,33	€/m ²
	Posizionamento coppi	02.P45.L90.010	33,81	€/m ²
	Porta colmo ventilato	07.02.01.04	38,55	m
12 cm	Materiale isolante	01.P09.A34.035	22,88	€/m ²
	Totale		196,55	€/m²
13 cm	Materiale isolante (10 cm)	01.P09.A34.030	19,07	€/m ²
	Materiale isolante (4 cm)	01.P09.A34.005	7,63	€/m ²
	Totale		200,37	€/m²
15 cm	Materiale isolante (10 cm)	01.P09.A34.030	19,07	€/m ²
	Materiale isolante (6 cm)	01.P09.A34.010	9,55	€/m ²
	Totale		202,29	€/m²
21 cm	Materiale isolante (10 cm)	01.P09.A34.030	19,07	€/m ²
	Materiale isolante (12 cm)	01.P09.A34.035	22,88	€/m ²
	Totale		215,62	€/m²
22 cm	Materiale isolante (10 cm)	01.P09.A34.030	19,07	€/m ²
	Materiale isolante (12 cm)	01.P09.A34.035	22,88	€/m ²
	Totale		215,62	€/m²
23 cm	Materiale isolante (12 cm)	01.P09.A34.035	22,88	€/m ²
	Materiale isolante (12 cm)	01.P09.A34.035	22,88	€/m ²
	Totale		219,43	€/m²
24 cm	Materiale isolante (12 cm)	01.P09.A34.035	22,88	€/m ²
	Materiale isolante (12 cm)	01.P09.A34.035	22,88	€/m ²
	Totale		219,43	€/m²

IMPIANTI

Rimozione boiler	Smontaggio (H o W)	05.A01.R25.010	649,08	cad
	Smontaggio H+W	05.A01.R25.010	1298,16	cad
Teleriscaldamento	Potenza termica installata: 50 kW	12.P12.A10.005	11.917,81	cad
	Potenza termica installata: 75 kW	12.P12.A10.010	12.376,80	cad
	Potenza termica installata: 100 kW	12.P12.A10.015	13.016,94	cad
	Potenza termica installata: 120 kW	12.P12.A10.020	13.487,72	cad
	Pompa di circolazione H	12.P15.A46.005		cad

Pompe di circolazione	Pompa di circolazione H	12.P15.A46.015	679,52	cad
	Pompa di circolazione W (90 W)	12.P15.A48.005	411,69	cad
	Pompa di circolazione W (275 W)	12.P15.A48.015	657,55	cad
	Fino a 2499 mc	IREN	6000	€
Allacciamento (in base alla volumetria)	Da 2500 a 3499 mc	IREN	7500	€
	Da 3500 a 4999 mc	IREN	9500	€
	Da 5000 a 7499 mc	IREN	10200	€
	Da 7500 a 9999 mc	IREN	11700	€
	Da 10000 a 14999 mc	IREN	14600	€
Fotovoltaico	impianto da 1 kWp a 6 kWp	1E.17.010.0010.a	3114,4	€/kWp
	impianto da 7 kWp a 20 kWp	1E.17.010.0010.b	2720,72	€/kWp
	impianto da 21 kWp a 50 kWp	1E.17.010.0010.c	2242,01	€/kWp
	impianto superiore a 50 kWp	1E.17.010.0010.d	1992,78	€/kWp
Fotovoltaico "Solbian"	Solbian	Commerciale	2,5	€/W
	Installazione fino a 100 mq	03.A13.A01.010	90,02	€/m ²
	Installazione oltre 100 mq	03.A13.A01.020	60,01	€/m ²

SFH 1901-1920

Superficie: 115 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione boiler	H + W	1298,16	€
	Sottostazione 50 kW	11.917,81	€
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	679,52	€
	Pompa di circolazione W (90 W)	411,69	€
	Allacciamento 448 mc	6000	€
Totale		20.307,18	€
		176,58	€/m²

Teleriscaldamento + Fotovoltaico

Rimozione boiler	H + W	1298,16	€	
	Sottostazione 50 kW	11.917,81	€	
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	679,52	€	
	Pompa di circolazione W (90 W)	411,69	€	
	Allacciamento 448 mc	6000	€	
Fotovoltaico Solbian	Solbian	6638 W	16595	€
	Installazione	38 m ²	3420,76	€
Totale		40.322,94	€	
		350,63	€/m²	

SFH 1921-1945
Superficie: 116 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione			
boiler	H + W	1298,16	€
	Sottostazione 50 kW	11.917,81	€
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	679,52	€
	Pompa di circolazione W (90 W)	411,69	€
	Allacciamento 445 mc	6000	€
Totale		20.307,18	€
		175,06	€/m²

Teleriscaldamento + Fotovoltaico

Rimozione			
boiler	H + W	1298,16	€
	Sottostazione 50 kW	11917,81	€
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	679,52	€
	Pompa di circolazione W (90 W)	411,69	€
	Allacciamento 445 mc	6000	€
Fotovoltaico Solbian			
Solbian	6726 W	16815	€
Installazione			
e	38 m ²	3420,76	€
Totale		40.542,94	€
		349,51	€/m²

SFH 1946-1960
Superficie: 162 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione			
boiler	unica caldaia	649,08	€
	Sottostazione 50 kW	11.917,81	€
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	679,52	€
	Pompa di circolazione W (90 W)	411,69	€
	Allacciamento 583 mc	6000	€
Totale		19.658,10	€
		121,35	€/m²

Retrofit Standard

Superficie			
Porta		2,4	1350,672 €

Involucro	Finestre	21,6	4576,7642	€
	Muri 13 cm isolante	239,8	27651,16	€
	Solaio inferiore controterra 14 cm isolante	107,8	16355,96	€
	Copertura 15 cm isolante	124,5	10790,466	€
	Tot involucro		60.725,02	
Impianto	Rimozione boiler		649,08	€
	Sottostazione 50 kW		11.917,81	€
	Pompa di circolazione H		679,52	€
	Pompa di circolazione W (90 W)		411,69	€
	Allacciamento 583 mc		6.000,00	€
Tot impianto		19.658,10	€	
Totale 1946-1960			80.383,12	€
			496,19	€/m²

Retrofit Avanzato

		Superficie		
Involucro	Porta	2,4	1833,2832	€
	Finestre	21,6	5059,3964	€
	Muri 23 cm isolante	239,8	35556,64	€
	Solaio inferiore controterra 22 cm isolante	107,8	16884,92	€
	Copertura 23 cm isolante	124,5	11919,992	€
	Tot involucro		71.254,23	€
Impianto	Rimozione boiler		649,08	€
	Sottostazione 50 kW		11.917,81	€
	Pompa di circolazione H		679,52	€
	Pompa di circolazione W (90 W)		411,69	€
	Allacciamento 583 mc		6.000,00	€
Tot impianto		19.658,10	€	
Totale 1946-1960			90.912,33	€
			561,19	€/m²

Retrofit avanzato + Fotovoltaico

Tot involucro			71.254,23	€
Tot impianto			19.658,10	€
Fotovoltaico		7,3 kWp	19.861,26	€
Totale			110.773,59	€
			683,79	€/m²

SFH 1960-1975
Superficie: 156 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione			
boiler	unica caldaia	649,08	€
	Sottostazione 50 kW	11.917,81	€
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	679,52	€
	Pompa di circolazione W (90 W)	411,69	€
	Allacciamento 679 mc	6000	€
Totale		19.658,10	€
		126,01	€/m²

Retrofit Standard

Involucro			
		Superficie	
	Porta	2,4	1350,672 €
	Finestre	21,6	6771,1032 €
	Muri 12 cm isolante	239,8	29488,206 €
	Solaio inferiore controterra 14 cm isolante	107,8	23199,638 €
	Copertura 15 cm isolante	124,5	20385,63 €
Tot involucro			81.195,25 €
Impianto			
	Rimozione boiler		649,08 €
	Sottostazione 50 kW		11.917,81 €
	Pompa di circolazione H		679,52 €
	Pompa di circolazione W (90 W)		411,69 €
	Allacciamento 679 mc		6.000,00 €
Tot impianto			19.658,10 €
Totale 1960-1975			100.853,35 €
			646,50 €/m²

Retrofit Avanzato

Involucro			
		Superficie	
	Porta	2,4	1.833,28 €
	Finestre	21,6	7.485,13 €
	Muri 22 cm isolante	239,8	38.430,35 €
	Solaio inferiore controterra 22 cm isolante	107,8	23.949,93 €
	Copertura 23 cm isolante	124,5	22.519,56 €
Tot involucro			94.218,25 €
Rimozione boiler			649,08 €

Impianto	Sottostazione 50 kW	11.917,81	€
	Pompa di circolazione H	679,52	€
	Pompa di circolazione W (90 W)	411,69	€
	Allacciamento 679 mc	6.000,00	€
Tot impianto		19.658,10	€
Totale 1960-1975		113.876,35	€
		729,98	€/m²

Retrofit avanzato + Fotovoltaico

Tot involucro		94.218,25	€
Tot impianto		19.658,10	€
Fotovoltaico	9,3 kWp	25.302,70	€
Totale		139.179,05	€
		892,17	€/m²

SFH 1976-1990

Superficie: 199 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione boiler			
	unica caldaia	649,08	€
Sottostazione 50 kW		11.917,81	€
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	679,52	€
	Pompa di circolazione W (90 W)	411,69	€
	Allacciamento 725 mc	6000	€
Totale		13.658,10	€
		68,63	€/m²

Retrofit Standard

		Superficie	
Involucro	Porta	2,4	1350,672 €
	Finestre	17,04	5341,64808 €
	Muri 10 cm isolante	243,8	28161,338 €
	Solaio inferiore 10 cm isolante	115,1	3909,947 €
	Copertura 13 cm isolante	132,9	21505,878 €
Tot involucro		60.269,48 €	
Impianto	Rimozione boiler	649,08	€
	Sottostazione 50 kW	11.917,81	€
	Pompa di circolazione H	679,52	€
	Pompa di circolazione W (90 W)	411,69	€
	Allacciamento 725 mc	6000	€
Tot impianto		19.658,10 €	

Totale 1976-1990 **79.927,58 €**
401,65 €/m²

Retrofit Avanzato

		Superficie	
Involucro	Porta	2,4	1.833,28 €
	Finestre	17,04	5.904,94 €
	Muri 20 cm isolante	243,8	37.313,59 €
	Solaio inferiore 17 cm isolante	115,1	4.948,15 €
	Copertura 21 cm isolante	132,9	23.532,60 €
Tot involucro			73.532,56 €

Impianto	Rimozione boiler		649,08 €
	Sottostazione 50 kW		11.917,81 €
	Pompa di circolazione H		679,52 €
	Pompa di circolazione W (90 W)		411,69 €
	Allacciamento 725 mc		6000 €
Tot impianto			19.658,10 €

Totale 1976-1990 **93.190,66 €**
468,29 €/m²

Retrofit avanzato + Fotovoltaico

Tot involucro			73.532,56 €
Tot impianto			19.658,10 €
Fotovoltaico		10 kWp	27.207,20 €
Totale			120.397,86 € 605,01 €/m²

SFH dopo 2005
Superficie: 174 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione boiler			1.298,16 €
	unica caldaia		
	Sottostazione 50 kW		11.917,81 €
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H		679,52 €
	Pompa di circolazione W (90 W)		411,69 €
	Allacciamento 679 mc		6.000,00 €
Totale		20.307,18 €	116,71 €/m²

Retrofit avanzato + Fotovoltaico

Tot impianto		20.307,18	€
Fotovoltaico	7 kWp	19.045,04	€
Totale		39.352,22	€
		226,16	€/m²

TH 1901-1920
Superficie: 112 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione boiler	H + W	649,08	€
	Sottostazione 50 kW	11.917,81	€
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	679,52	€
	Pompa di circolazione W (90 W)	411,69	€
	Allacciamento 478 mc	6000	€
Totale		19.658,10	€
		175,52	€/m²

Teleriscaldamento + Fotovoltaico

Rimozione boiler	H + W	649,08	€
	Sottostazione 50 kW	11.917,81	€
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	679,52	€
	Pompa di circolazione W (90 W)	411,69	€
	Allacciamento 478 mc	6000	€
Fotovoltaico Solbian			
Solbian	6638 W	17700	€
Installazioni			
e	38 m ²	3600,8	€
Totale		40.958,90	€
		365,70	€/m²

TH 1921-1945
Superficie: 113 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione boiler	H + W	1298,16	€
	Sottostazione 50 kW	11.917,81	€
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	679,52	€
	Pompa di circolazione W (90 W)	411,69	€
	Allacciamento 428 mc	6000	€
Totale		20.307,18	€
		179,71	€/m²

Teleriscaldamento + Fotovoltaico

Rimozione			
boiler	H + W	1298,16	€
	Sottostazione 50 kW	11.917,81	€
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	679,52	€
	Pompa di circolazione W (90 W)	411,69	€
	Allacciamento 428 mc	6000	€
Fotovoltaico Solbian			
Solbian	6638 W	13740	€
Installazione	38 m ²	2790,62	€
Totale		36.837,80	€
		326,00	€/m²

TH 1946-1960

Superficie: 111 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione			
boiler	unica caldaia	649,08	€
	Sottostazione 50 kW	11.917,81	€
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	679,52	€
	Pompa di circolazione W (90 W)	411,69	€
	Allacciamento 400 mc	6000	€
Totale		19.658,10	€
		177,10	€/m²

Retrofit Standard

		Superficie	
	Porta	2,4	1.350,67 €
	Finestre	13,9	4.357,33 €
Involucro	Muri 12 cm isolante	63,7	7.833,19 €
	Solaio inferiore 12 cm isolante	57,9	2.097,72 €
	Copertura 15 cm isolante	66,8	10.937,83 €
Tot involucro			26.576,74
<hr/>			
	Rimozione boiler		649,08 €
	Sottostazione 50 kW		11.917,81 €
Impianto	Pompa di circolazione H		679,52 €
	Pompa di circolazione W (90 W)		411,69 €
	Allacciamento 400 mc		6.000,00 €
Tot impianto			19.658,10 €

Totale 1945-1960 **46.234,84 €**
416,53 €/m²

Retrofit Avanzato

		Superficie	
Involucro	Porta	2,4	1.833,28 €
	Finestre	13,9	4.816,82 €
	Muri 22 cm isolante	63,7	10.208,56 €
	Solaio inferiore 22 cm isolante	57,9	2.751,41 €
	Copertura 23 cm isolante	66,8	12.082,78 €
Tot involucro			31.692,86

Impianto	Rimozione boiler		649,08 €
	Sottostazione 50 kW		11.917,81 €
	Pompa di circolazione H		679,52 €
	Pompa di circolazione W (90 W)		411,69 €
	Allacciamento 400 mc		6.000,00 €
Tot impianto			19.658,10 €

Totale 1945-1960 **51.350,96 €**
462,62 €/m²

Retrofit avanzato + Fotovoltaico

Tot involucro			31.692,86 €
Tot impianto			19.658,10 €
Fotovoltaico	5 kWp		15.572,00 €
Totale			66.922,96 € 602,91 €/m²

TH 1960-1975
Superficie: 111 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione boiler			
	unica caldaia	649,08	€
	Sottostazione 50 kW	11.917,81	€
Teleriscaldamento			
	Pompa di circolazione H	679,52	€
	Pompa di circolazione W (90 W)	411,69	€
	Allacciamento 374 mc	6000	€
Totale		19.658,10	€
		220,88	€/m²

Retrofit Standard

		Superficie	
Involucro	Porta	2,4	1.350,67 €
	Finestre	11,1	3.479,59 €
	Muri 12 cm isolante	61,4	7.550,36 €
	Solaio inferiore controterra 14 cm isolante	59,4	12.783,47 €
	Copertura 15 cm isolante	59,4	9.726,16 €
	Tot involucro		34.890,25 €
Impianto	Rimozione boiler		649,08 €
	Sottostazione 50 kW		11.917,81 €
	Pompa di circolazione H		679,52 €
	Pompa di circolazione W (90 W)		411,69 €
	Allacciamento 374 mc		6.000,00 €
Tot impianto		19.658,10 €	
Totale 1960-1975		54.548,35 €	
		612,90 €/m²	

Retrofit Avanzato

		Superficie	
Involucro	Porta	2,4	1.833,28 €
	Finestre	11,1	3.846,53 €
	Muri 22 cm isolante	61,4	9.839,96 €
	Solaio inferiore controterra 22 cm isolante	59,4	13.196,90 €
	Copertura 24 cm isolante	59,4	10.744,27 €
	Tot involucro		39.460,94 €
Impianto	Rimozione boiler		649,08 €
	Sottostazione 50 kW		11.917,81 €
	Pompa di circolazione H		679,52 €
	Pompa di circolazione W (90 W)		411,69 €
	Allacciamento 374 mc		6.000,00 €
Tot impianto		19.658,10 €	
Totale 1960-1975		59.119,04 €	
		664,26 €/m²	

Retrofit avanzato + Fotovoltaico

Tot involucro		39.460,94 €
Tot impianto		19.658,10 €
Fotovoltaico	4,4 kWp	13.703,36 €

Totale	72.822,40	€
	818,23	€/m²

TH 1976-1990
Superficie: 125 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione			
boiler	unica caldaia	1298,16	€
	Sottostazione 50 kW	11.917,81	€
Teleriscalda	Pompa di circolazione H	679,52	€
mento	Pompa di circolazione W (90 W)	411,69	€
	Allacciamento 434 mc	6000	€
Totale		20.307,18	€
		162,46	€/m²

Retrofit Standard

		Superficie	
	Porta	2,4	1.350,67 €
	Finestre	15,6	4.890,24 €
Involucro	Muri 10 cm isolante	131,8	15.224,22 €
	Solaio inferiore 10 cm isolante	68,9	2.340,53 €
	Copertura 12 cm isolante	79,5	12.561,00 €
Tot involucro			36.366,66 €

	Rimozione boiler	1298,16 €
	Sottostazione 50 kW	11.917,81 €
Impianto	Pompa di circolazione H	679,52 €
	Pompa di circolazione W (90 W)	411,69 €
	Allacciamento 434 mc	6000 €
Tot impianto		20.307,18 €

Totale 1976-1990	56.673,84 €
	453,39 €/m²

Retrofit Avanzato

		Superficie	
	Porta	2,4	1.833,28 €
	Finestre	15,6	5.405,93 €
Involucro	Muri 20 cm isolante	131,8	20.171,99 €
	Solaio inferiore 17 cm isolante	68,9	2.962,01 €
	Copertura 22 cm isolante	79,5	14.077,07 €
Tot involucro			44.450,28 €

Impianto	Rimozione boiler	1298,16 €	
	Sottostazione 50 kW	11.917,81 €	
	Pompa di circolazione H	679,52 €	
	Pompa di circolazione W (90 W)	411,69 €	
	Allacciamento 434 mc	6000 €	
Tot impianto		20.307,18	€
Totale 1976-1990		64.757,46	€
		518,06	€/m²

Retrofit avanzato + Fotovoltaico

Tot involucro		44.450,28	€
Tot impianto		20.307,18	€
Fotovoltaico	6 kWp	18.686,40	€
Totale		83.443,86	€
		667,55	€/m²

TH 1991-2005

Superficie: 111 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione boiler			
	unica caldaia	649,08	€
	Sottostazione 50 kW	11.917,81	€
Teleriscaldamento			
	Pompa di circolazione H	679,52	€
	Pompa di circolazione W (90 W)	411,69	€
	Allacciamento 426 mc	6000	€
Totale		19.658,10	€
		177,10	€/m²

Retrofit Standard

		Superficie	
Involucro	Porta	2,4	1.350,67 €
	Finestre	13,9	4.357,33 €
	Muri 9 cm isolante	131,9	15.235,77 €
	Solaio inferiore 9 cm isolante	67,6	2.296,37 €
	Solaio superiore 8 cm isolante	67,6	2.489,03 €
Tot involucro			25.729,18 €
<hr/>			
Impianto	Rimozione boiler		649,08 €
	Sottostazione 50 kW		11.917,81 €
	Pompa di circolazione H		679,52 €
	Pompa di circolazione W (90 W)		411,69 €

Allacciamento 426 mc	6000 €
Tot impianto	19.658,10 €
Totale 1976-1990	45.387,28 €
	408,89 €/m²

Retrofit Avanzato

	Superficie	
Involucro Porta	2,4	1.833,28 €
Finestre	13,9	4.816,82 €
Muri 18 cm isolante	131,9	19.169,03 €
Solaio inferiore 16 cm isolante	67,6	2.753,35 €
Solaio superiore 15 cm isolante	67,6	3.227,22 €
Tot involucro		31.799,70 €

Impianto Rimozione boiler	649,08 €
Sottostazione 50 kW	11.917,81 €
Pompa di circolazione H	679,52 €
Pompa di circolazione W (90 W)	411,69 €
Allacciamento 426 mc	6000 €
Tot impianto	19.658,10 €
Totale 1976-1990	51.457,80 €
	463,58 €/m²

Retrofit avanzato + Fotovoltaico

Tot involucro	31.799,70 €
Tot impianto	19.658,10 €
Fotovoltaico	5,1 kWp 15.883,44 €
Totale	67.341,24 €
	606,68 €/m²

TH dopo 2005
Superficie: 127 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione boiler	unica caldaia	1.298,16 €
	Sottostazione 50 kW	11.917,81 €
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	679,52 €
	Pompa di circolazione W (90 W)	411,69 €
	Allacciamento 519 mc	6.000,00 €
Totale		20.307,18 €
		159,90 €/m²

Retrofit avanzato + Fotovoltaico

Tot impianto		20.307,18	€
Fotovoltaico	5,8 kWp	18.063,52	€
Totale		38.370,70	€
		302,13	€/m²

MFH 1901-1920**Superficie: 1110m²****Solo teleriscaldamento**

Rimozione boiler	H + W	1298,16	€
	Sottostazione 100 kW +50 kW	24.934,75	€
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	1359,04	€
	Pompa di circolazione W (275 W)	657,55	€
	Allacciamento 4113 mc	9500	€
Totale		37.749,50	€
		34,01	€/m²

Teleriscaldamento + Fotovoltaico

Rimozione boiler	H + W	1298,16	€
	Sottostazione 50 kW	24.934,75	€
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	1359,04	€
	Pompa di circolazione W (275 W)	657,55	€
	Allacciamento 4113 mc	9500	€
Fotovoltaico Solbian			
Solbian	57774 W	144.435,00	€
Installazione			
e	326 m ²	19.563,26	€
Totale		201.747,76	€
		181,75	€/m²

MFH 1921-1945**Superficie: 989 m²****Solo teleriscaldamento**

Rimozione boiler	H + W	1298,16	€
	Sottostazione 100 kW +50 kW	24.934,75	€
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	1359,04	€
	Pompa di circolazione W (275 W)	657,55	€
	Allacciamento 4388 mc	9500	€

Totale	37.749,50	€
	38,17	€/m²

Teleriscaldamento + Fotovoltaico

Rimozione boiler		
H + W	1298,16	€
Sottostazione 100 kW +50 kW	24.934,75	€
Teleriscaldamento		
Pompa di circolazione H	1359,04	€
Pompa di circolazione W (275 W)	657,55	€
Allacciamento 4388 mc	9500	€
Fotovoltaico Solbian		
Solbian 25780 W	64.450,00	€
Installazione	8.761,46	€
e 146 m ²		
Totale	110.960,96	€
	112,20	€/m²

MFH 1946-1960
Superficie: 817 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione boiler		
unica caldaia	1298,16	€
Sottostazione 75 kW + 50 kW	24.294,61	€
Teleriscaldamento		
Pompa di circolazione H	1359,04	€
Pompa di circolazione W (275 W)	657,55	€
Allacciamento 3076 mc	7500	€
Totale	35.109,36	€
	42,97	€/m²

Retrofit Standard

		Superficie	
Involucro	Finestre	149,6	46.896,16 €
	Muri 12 cm isolante	586,1	72.072,72 €
	Muri 10 cm isolante (nr)	192,6	22.247,23 €
	Solaio inferiore 12 cm iso	320,4	11.608,09 €
	Solaio superiore 12 cm iso	320,4	13.437,58 €
Tot involucro			166.261,77 €
Impianto			
Rimozione boiler		1.298,16	€
Sottostazione 50 kW		11.917,81	€
Pompa di circolazione H		1.359,04	€
Pompa di circolazione W (275 W)		657,55	€

Allacciamento 3076 mc	7.500,00 €
Tot impianto	22.732,56 €
Totale 1945-1960	188.994,33 €
	231,33 €/m²

Retrofit Avanzato

	Superficie	
Involucro	Finestre	149,6 51.841,49 €
	Muri 23 cm isolante	586,1 98.300,69 €
	Muri 16 cm isolante (nr)	192,6 26.555,69 €
	Solaio inferiore 18 cm iso	320,4 13.774,00 €
	Solaio superiore 19 cm iso	320,4 18.275,62 €
Tot involucro		208.747,48 €

Impianto	Rimozione boiler	1.298,16 €
	Sottostazione 50 kW	11.917,81 €
	Pompa di circolazione H	1.359,04 €
	Pompa di circolazione W (275 W)	657,55 €
	Allacciamento 3076 mc	7.500,00 €
Tot impianto		22.732,56 €
Totale 1945-1960		231.480,04 €
		283,33 €/m²

Retrofit avanzato + Fotovoltaico

Tot involucro		208.747,48 €
Tot impianto		22.732,56 €
Fotovoltaico	24 kWp	53.808,24 €
Totale		285.288,28 €
		349,19 €/m²

MFH 1960-1975

Superficie: 794 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione boiler	unica caldaia	649,08 €
	Sottostazione 100 kW	13.016,94 €
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	1359,04 €
	Pompa di circolazione W (275 W)	657,55 €
	Allacciamento 3074 mc	7500 €
Totale		23.182,61 €
		29,20 €/m²

Retrofit Standard

		Superficie		
Involucro	Finestre	2,4	30.469,96	€
	Muri 12 cm isolante	11,1	116.157,46	€
	Muri 10 cm isolante (nr)	61,4	29.131,62	€
	Solaio inferiore 12 cm iso	59,4	6.764,14	€
	Solaio superiore 12 cm iso	59,4	7.830,20	
Tot involucro			190.353,39	€
<hr/>				
Impianto	Rimozione boiler		649,08	€
	Sottostazione 50 kW		11.917,81	€
	Pompa di circolazione H		1.359,04	€
	Pompa di circolazione W (275 W)		657,55	€
	Allacciamento 3074 mc		7.500,00	€
Tot impianto			22.083,48	€
Totale 1960-1975			212.436,87	€
			267,55	€/m²

Retrofit Avanzato

		Superficie		
Involucro	Finestre	2,4	33.683,10	€
	Muri 22 cm isolante	11,1	151.381,60	€
	Muri 16 cm isolante (nr)	61,4	34.773,34	€
	Solaio inferiore 18 cm iso	59,4	8.026,23	€
	Solaio superiore 19 cm iso	59,4	10.649,37	€
Tot involucro			238.513,64	€
<hr/>				
Impianto	Rimozione boiler		649,08	€
	Sottostazione 50 kW		11.917,81	€
	Pompa di circolazione H		1.359,04	€
	Pompa di circolazione W (275 W)		657,55	€
	Allacciamento 3074 mc		7.500,00	€
Tot impianto			22.083,48	€
Totale 1960-1975			260.597,12	€
			328,21	€/m²

Retrofit avanzato + Fotovoltaico

Tot involucro		238.513,64	€
Tot impianto		22.083,48	€
Fotovoltaico	14 kWp	38.090,08	€
Totale		298.687,20	€

376,18 €/m²

MFH 1976-1990
Superficie: 1028 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione			
boiler	unica caldaia	649,08	€
	Sottostazione 100 kW	13.016,94	€
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	1359,04	€
	Pompa di circolazione W (275 W)	657,55	€
	Allacciamento 4136 mc	9500	€
Totale		25.182,61	€
		24,50	€/m²

Retrofit Standard

				Superficie		
	Finestre	120,9	37.899,37	€		
	Muri 10 cm isolante	848,5	98.010,24	€		
Involucro	Muri 8 cm isolante (nr)	217,3	23.479,27	€		
	Solaio inferiore 12 cm iso	403,5	14.618,81	€		
	Solaio superiore 12 cm iso	403,5	16.922,79	€		
Tot involucro			190.930,46	€		
				<hr/>		
	Rimozione boiler		649,08	€		
	Sottostazione 50 kW		11.917,81	€		
Impianto	Pompa di circolazione H		1359,04	€		
	Pompa di circolazione W (275 W)		657,55	€		
	Allacciamento 4136 mc		9500	€		
Tot impianto			24.083,48	€		
Totale 1976-1990			215.013,94	€		
			209,16	€/m²		

Retrofit Avanzato

				Superficie		
	Finestre	2,4	41.895,96	€		
	Muri 20 cm isolante	15,6	129.862,93	€		
Involucro	Muri 14 cm isolante (nr)	131,8	28.342,44	€		
	Solaio inferiore 20 cm iso	68,9	18.262,41	€		
	Solaio superiore 19 cm iso	79,5	23.015,64	€		
Tot involucro			241.379,37	€		
				<hr/>		
	Rimozione boiler		649,08	€		

Impianto	Sottostazione 50 kW	11.917,81 €	
	Pompa di circolazione H	1359,04 €	
	Pompa di circolazione W (275 W)	657,55 €	
	Allacciamento 4136 mc	9500 €	
Tot impianto		24.083,48	€
Totale 1976-1990		265.462,85	€
		258,23	€/m²

Retrofit avanzato + Fotovoltaico

Tot involucro		241.379,37	€
Tot impianto		24.083,48	€
Fotovoltaico	30,3 kWp	67.932,90	€
Totale		333.395,76	€
		324,31	€/m²

MFH 1991-2005
Superficie: 952 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione boiler			
	H+ W	1298,16	€
Sottostazione 50 kW		12.376,80	€
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	1359,04	€
	Pompa di circolazione W (275 W)	657,55	€
	Allacciamento 3526 mc	9500	€
Totale		25.191,55	€
		26,46	€/m²

Retrofit Standard

		Superficie	
Involucro	Finestre	147,9	46.363,25 €
	Muri 9 cm isolante	868	100.262,68 €
	Muri 6 cm isolante (nr)	144	14.484,96 €
	Solaio inferiore 9 cm iso	179	6.080,63 €
	Solaio inferiore 11 cm iso (estreno)	194,5	7.046,74 €
	Solaio superiore 8 cm iso	373,5	13.752,27 €
Tot involucro			187.990,52 €
Impianto			
	Rimozione boiler		1298,16 €
	Sottostazione 50 kW		11.917,81 €
	Pompa di circolazione H		1359,04 €

Pompa di circolazione W (275 W)		657,55 €	
Allacciamento 3526 mc		9500 €	
Tot impianto		24.732,56	€
Totale 1976-1990		212.723,08	€
		223,45	€/m²

Retrofit Avanzato

	Superficie		
Involucro	Finestre	147,9	51.252,38 €
	Muri 18 cm isolante	868	126.146,44 €
	Muri 12 cm isolante (nr)	144	17.707,68 €
	Solaio inferiore 16 cm isolante	179	7.290,67 €
	Solaio inferiore 18 cm iso (estreno)	194,5	8.361,56 €
	Solaio superiore 16 cm isolante	373,5	17.830,89 €
Tot involucro			228.589,61 €

Impianto	Rimozione boiler		1298,16 €
	Sottostazione 50 kW		11.917,81 €
	Pompa di circolazione H		1359,04 €
	Pompa di circolazione W (275 W)		657,55 €
	Allacciamento 3526 mc		9500 €
Tot impianto			24.732,56 €
Totale 1976-1990			253.322,17 €
			266,09 €/m²

Retrofit avanzato + Fotovoltaico

Tot involucro		228.589,61 €
Tot impianto		24.732,56 €
Fotovoltaico	28 kWp	62.776,28 €
Totale		316.098,45 €
		332,04 €/m²

MFH dopo 2005
Superficie: 829 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione boiler	H+ W	1.298,16 €
	Sottostazione 50 kW	11.917,81 €
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	1.359,04 €
	Pompa di circolazione W (275 W)	657,55 €

Allacciamento 2959 mc	7.500,00 €	
Totale	22.732,56	€
	27,42	€/m²

Retrofit avanzato + Fotovoltaico

Tot impianto		22.732,56 €
Fotovoltaico	22,9 kWp	51.342,03 €
Totale		74.074,59 €
		89,35 €/m²

AB 1901-1920

Superficie: 2448 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione boiler	H + W	1298,16 €
	Sottostazione 3 da 120 kW	40.463,16 €
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	2718,08 €
	Pompa di circolazione W (275 W)	1972,65 €
	Allacciamento 11029 mc	14600 €
Totale		61.052,05 €
		24,94 €/m²

Teleriscaldamento + Fotovoltaico

Rimozione boiler	H + W	1298,16 €
	Sottostazione 3 da 120 kW	40.463,16 €
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	2718,08 €
	Pompa di circolazione W (275 W)	1972,65 €
	Allacciamento 11029 mc	14600 €
Fotovoltaico Solbian		
Solbian	63801 W	159.502,50 €
Installazione	361 m ²	21.663,61 €
Totale		242.218,16 €
		98,95 €/m²

AB 1921-1945

Superficie: 1912 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione boiler	H + W	1298,16 €
	Sottostazione 120kW + 100 kW	26.504,66 €

Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	2038,56	€
	Pompa di circolazione W (275 W)	1315,1	€
	Allacciamento 7197 mc	10200	€
Totale		41.356,48	€
		21,63	€/m²

Teleriscaldamento + Fotovoltaico

Rimozione boiler			
	H + W	1298,16	€
	Sottostazione 120kW + 100 kW	26.504,66	€
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	2038,56	€
	Pompa di circolazione W (275 W)	1315,1	€
	Allacciamento 7197 mc	10200	€
Fotovoltaico Solbian			
Solbian	39826 W	99.565,00	€
Installazione	225 m ²	13.502,25	€
Totale		154.423,73	€
		80,77	€/m²

AB 1946-1960
Superficie: 1499 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione boiler			
	H + W	1298,16	€
	Sottostazione 100kW + 75 kW	25.393,74	€
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	2038,56	€
	Pompa di circolazione W (275 W)	1315,1	€
	Allacciamento 5949 mc	10200	€
Totale		40.245,56	€
		26,85	€/m²

Retrofit Standard

		Superficie	
	Finestre	216,6	67.899,12 €
	Muri 12 cm isolante	1050,2	129.143,09 €
Involucro	Muri 11 cm isolante (nr)	591,3	72.712,16 €
	Solaio inferiore 12 cm iso	440,7	15.966,56 €
	Solaio superiore 12 cm iso	440,7	18.482,96 €
Tot involucro			304.203,89 €
Rimozione boiler			1.298,16 €

Impianto	Sottostazione 70 kW		12.376,80 €
	Pompa di circolazione H		2.038,56 €
	Pompa di circolazione W (275 W)		1.315,10 €
	Allacciamento 3076 mc		10.200,00 €
Tot impianto			27.228,62 €
Totale 1945-1960			331.432,51 €
			221,10 €/m²

Retrofit Avanzato

		Superficie	
Involucro	Finestre	216,6	75.059,26 €
	Muri 22 cm isolante	1050,2	168.305,05 €
	Muri 16 cm isolante (nr)	591,3	81.528,44 €
	Solaio inferiore 18 cm iso	440,7	18.945,69 €
	Solaio superiore 19 cm iso	440,7	25.137,53 €
Tot involucro			368.975,98 €

Impianto	Rimozione boiler		1.298,16 €
	Sottostazione 75 kW		12.376,80 €
	Pompa di circolazione H		2.038,56 €
	Pompa di circolazione W (275 W)		1.315,10 €
	Allacciamento 3076 mc		10.200,00 €
Tot impianto			27.228,62 €
Totale 1945-1960			396.204,60 €
			264,31 €/m²

Retrofit avanzato + Fotovoltaico

Tot involucro			368.975,98 €
Tot impianto			27.228,62 €
Fotovoltaico		33 kWp	73.986,33 €
Totale			470.190,93 €
			313,67 €/m²

AB 1960-1975

Superficie: 2439 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione boiler	H + W	1298,16	€
Teleriscaldamento	Sottostazione 120 kW + 100 kW + 50 kW	38.422,47	€
	Pompa di circolazione H	2718,08	€

Impianto	Pompa di circolazione W (275 W)	1972,65	€
	Allacciamento 9438 mc	11700	€
Totale		56.111,36	€
		23,01	€/m²

Retrofit Standard

		Superficie	
Involucro	Finestre	320,7	100.532,07 €
	Muri 12 cm isolante	2239	275.329,83 €
	Muri 9 cm isolante (nr)	1033	119.321,83 €
	Solaio inferiore 12 cm iso	299,2	10.840,02 €
	Solaio inferiore 9 cm iso esterno	59	2.004,23
	Solaio superiore 12 cm iso	358,2	15.022,91
Tot involucro			523.050,89 €

Impianto	Rimozione boiler		649,08 €
	Sottostazione 120 kW		13.487,72 €
	Pompa di circolazione H		2.718,08 €
	Pompa di circolazione W (275 W)		1.972,65 €
	Allacciamento 9438 mc		11.700,00 €
Tot impianto			30.527,53 €

Totale 1960-1975 **553.578,42 €**
226,97 €/m²

Retrofit Avanzato

		Superficie	
Involucro	Finestre	320,7	111.133,45 €
	Muri 20 cm isolante	2239	342.678,95 €
	Muri 16 cm isolante (nr)	1033	142.430,04 €
	Solaio inferiore 18 cm iso	299,2	12.862,61 €
	Solaio inferiore 21 cm iso esterno	59	2.670,34
	Solaio superiore 19 cm iso	358,2	20.431,73 €
Tot involucro			632.207,12 €

Impianto	Rimozione boiler		649,08 €
	Sottostazione 100 kW		13.016,94 €
	Pompa di circolazione H		2.718,08 €
	Pompa di circolazione W (275 W)		1.972,65 €
	Allacciamento 9438 mc		11.700,00 €
Tot impianto			30.056,75 €

Totale 1960-1975 **662.263,87 €**
271,53 €/m²

Retrofit avanzato + Fotovoltaico

Tot involucro		632.207,12	€
Tot impianto		30.056,75	€
Fotovoltaico	26,9 kWp	73.187,37	€
Totale		735.451,24	€
		301,54	€/m²

AB 1976-1990

Superficie: 3506 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione boiler			
	H + W	1298,16	€
	Sottostazione 120 kW + 100 kW	26.504,66	€
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	4077,12	€
	Pompa di circolazione W (275 W)	1972,65	€
	Allacciamento 12685 mc	14600	€
Totale		48.452,59	€
		13,82	€/m²

Retrofit Standard

Superficie			
	Finestre	362,8	113.729,46 €
	Muri 10 cm isolante	2119,2	244.788,79 €
Involucro	Muri 7 cm isolante (nr)	863,5	93.301,18 €
	Solaio inferiore 10 cm iso	687,5	23.354,38 €
	Solaio superiore 12 cm iso	687,5	28.833,75 €
Tot involucro			504.007,55 €
<hr/>			
	Rimozione boiler		649,08 €
	Sottostazione 100 kW + 50 kW		24.934,75 €
Impianto	Pompa di circolazione H		4077,12 €
	Pompa di circolazione W (275 W)		1972,65 €
	Allacciamento 12685 mc		14600 €
Tot impianto			46.233,60 €
Totale 1976-1990			550.241,15 €
			156,94 €/m²

Retrofit Avanzato

Superficie			
	Finestre	362,8	125.722,54 €
	Muri 20 cm isolante	2119,2	324.343,56 €

Involucro	Muri 14 cm isolante (nr)	863,5	112.626,31 €
	Solaio inferiore 20 cm iso	687,5	29.555,63 €
	Solaio superiore 19 cm iso	687,5	39.215,00 €
Tot involucro			631.463,03 €
Impianto	Rimozione boiler		649,08 €
	Sottostazione 120 kW		13.487,72 €
	Pompa di circolazione H		4077,12 €
	Pompa di circolazione W (275 W)		1972,65 €
	Allacciamento 12685 mc		14600 €
Tot impianto			34.786,57 €
Totale 1976-1990			666.249,60 €
			190,03 €/m²

Retrofit avanzato + Fotovoltaico

Tot involucro			631.463,03 €
Tot impianto			34.786,57 €
Fotovoltaico	51,6 kWp		102.827,45 €
Totale			769.077,04 €
			219,36 €/m²

AB 1991-2005

Superficie: 2780 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione boiler			
unica caldaia	649,08	€	
Sottostazione 120 kW + 50 kW	25.405,53	€	
Teleriscaldamento			
Pompa di circolazione H	3397,6	€	
Pompa di circolazione W (275 W)	1972,65	€	
Allacciamento 9912 mc	11700	€	
Totale		43.124,86	€
		15,51	€/m²

Retrofit Standard

		Superficie	
Involucro	Finestre	497,5	155.954,81 €
	Muri 9 cm isolante	440,4	50.870,60 €
	Muri 9 cm isolante	1328,5	153.455,04 €
	Muri 6 cm isolante (nr)	760	76.448,40 €
	Solaio inferiore 9 cm iso	544,6	18.500,06 €
	Solaio superiore 8 cm iso	679,1	25.004,46 €
Tot involucro			480.233,37 €

Impianto	Rimozione boiler	1298,16 €	
	Sottostazione 120 kW	13.487,72 €	
	Pompa di circolazione H	3397,6 €	
	Pompa di circolazione W (275 W)	1972,65 €	
	Allacciamento 9912 mc	11700 €	
Tot impianto		31.856,13	€
Totale 1976-1990		512.089,50	€
		184,20	€/m²

Retrofit Avanzato

	Superficie		
Involucro	Finestre	497,5	172.400,67 €
	Muri 19 cm isolante	440,4	67.403,22 €
	Muri 18 cm isolante	1328,5	193.070,91 €
	Muri 12 cm isolante (nr)	760	93.457,20 €
	Solaio inferiore 16 cm isolante	544,6	22.181,56 €
	Solaio superiore 15 cm isolante	679,1	32.420,23 €
Tot involucro			580.933,78 €

Impianto	Rimozione boiler	1298,16 €	
	Sottostazione 100 kW	13.016,94 €	
	Pompa di circolazione H	3397,6 €	
	Pompa di circolazione W (275 W)	1972,65 €	
	Allacciamento 9912 mc	11700 €	
Tot impianto		31.385,35	€
Totale 1976-1990		612.319,13	€
		220,26	€/m²

Retrofit avanzato + Fotovoltaico

Tot involucro		580.933,78	€
Tot impianto		31.385,35	€
Fotovoltaico	51 kWp	101.631,78	€
Totale		713.950,91	€
		256,82	€/m²

AB dopo 2005
Superficie: 2125 m²

Solo teleriscaldamento

Rimozione boiler	H + W	1.298,16 €
-------------------------	-------	------------

	Sottostazione 100 kW	13.016,94 €	
Teleriscaldamento	Pompa di circolazione H	2.718,08 €	
	Pompa di circolazione W (275 W)	1.315,10 €	
	Allacciamento 8199 mc	11.700,00 €	
	Totale	30.048,28	€
		14,14	€/m²

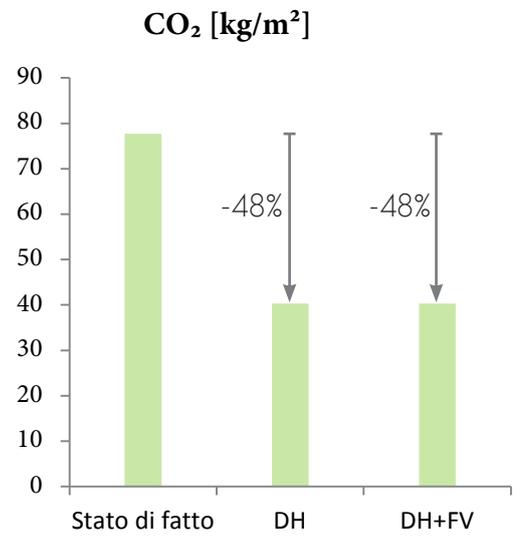
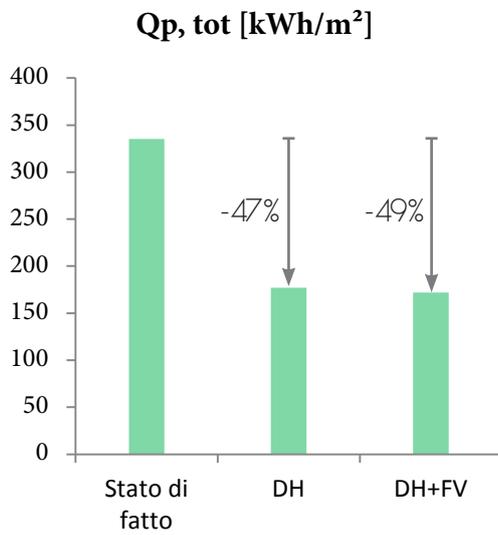
Retrofit avanzato + Fotovoltaico

	Tot impianto		30.048,28 €
	Fotovoltaico	27,8 kWp	62.327,88 €
	Totale		92.376,16 €
			43,47 €/m²

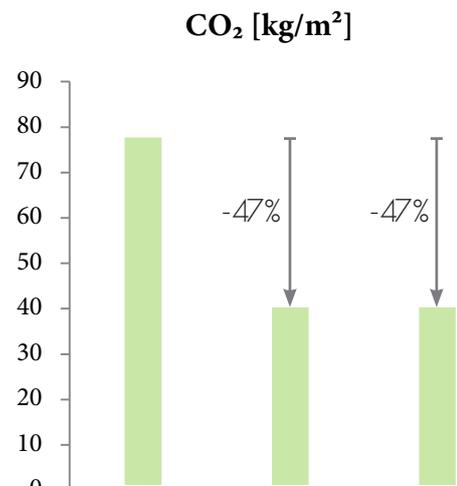
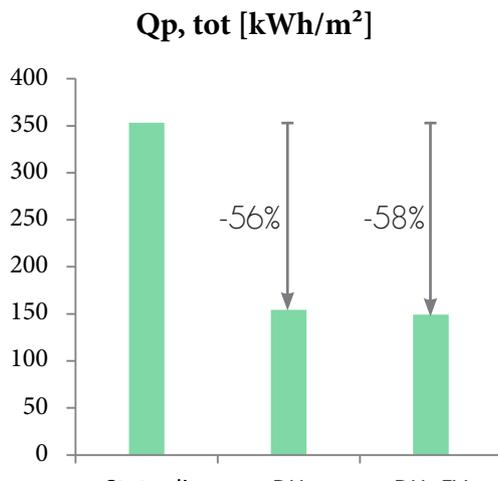
Allegato B

Consumi energia primaria ed emissioni di CO₂

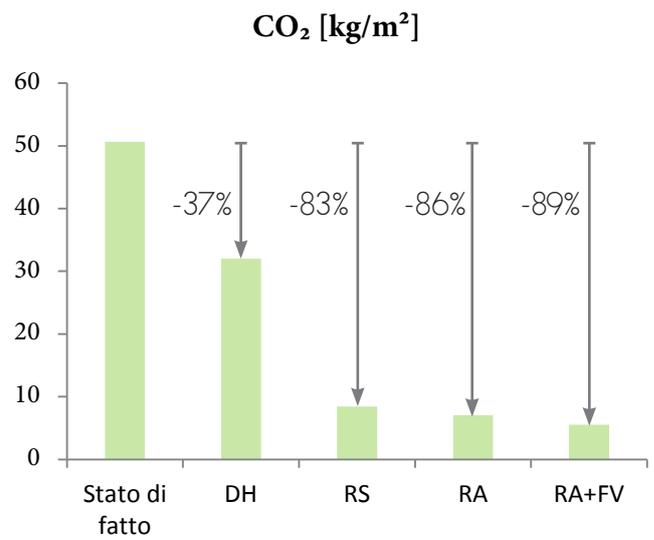
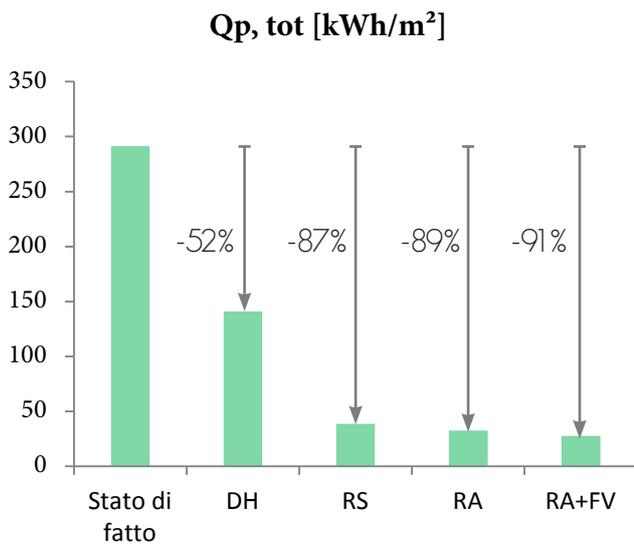
AB 1901 - 1920



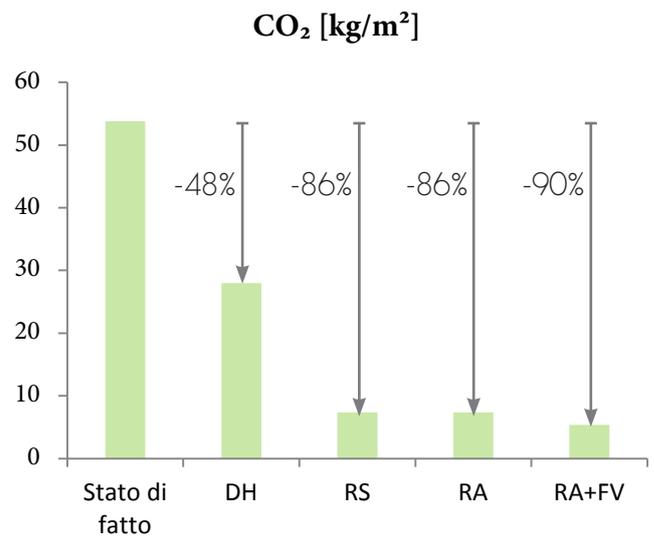
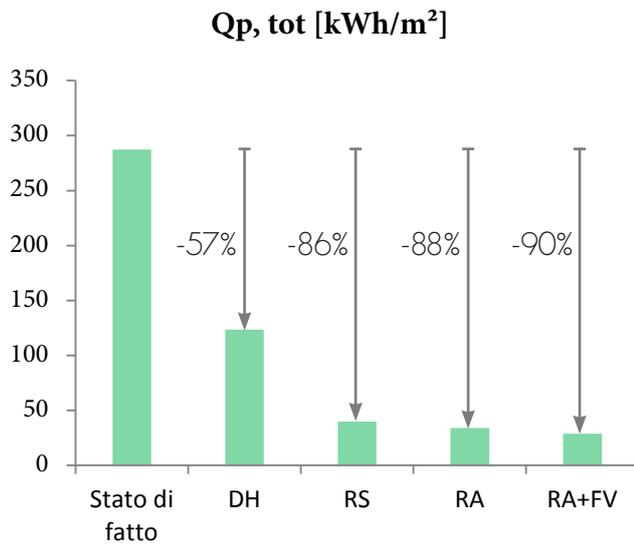
AB 1921 - 1945



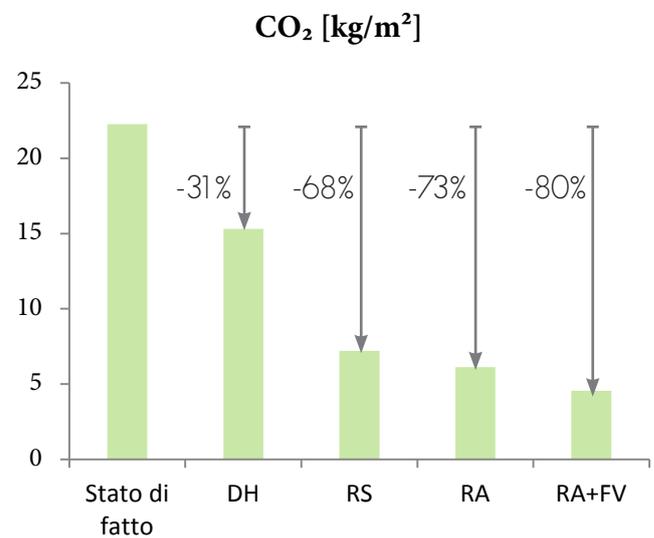
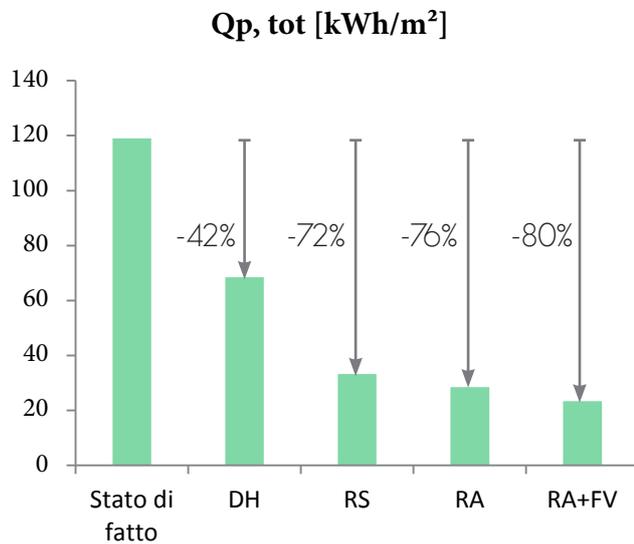
AB 1946 - 1960



AB 1961 1975

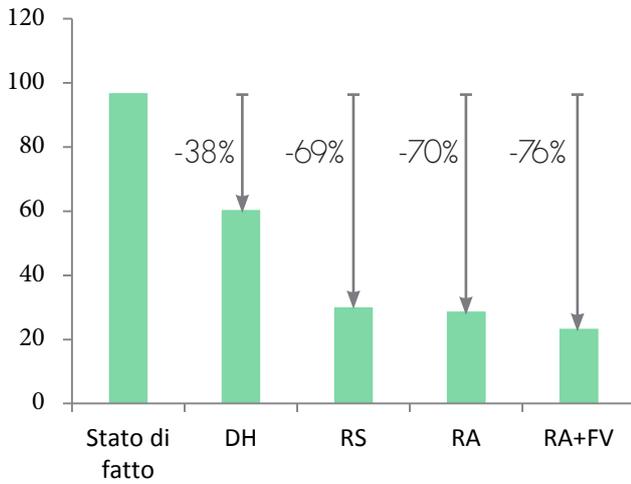


AB 1976 -1990

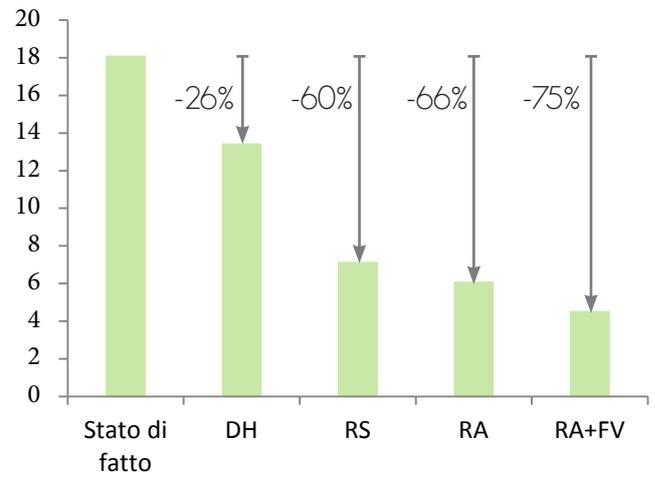


AB 1990 - 2005

Qp, tot [kWh/m²]

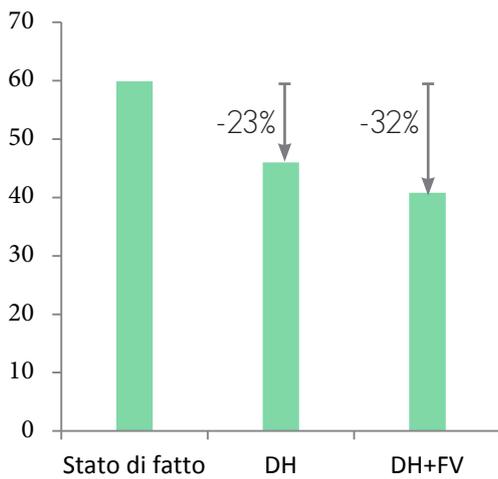


CO₂ [kg/m²]

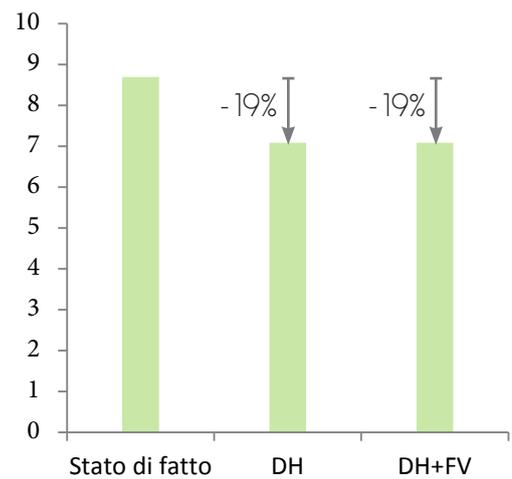


AB Dopo 2005

Qp, tot [kWh/m²]

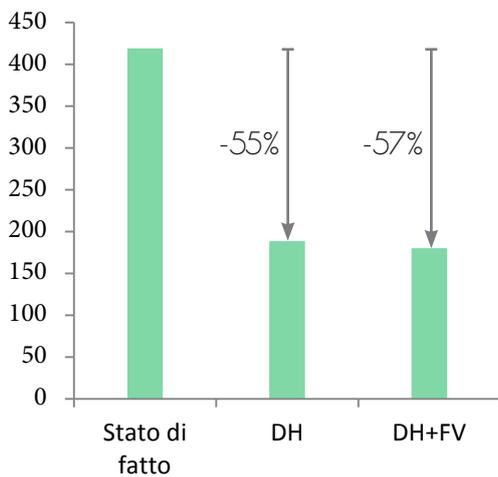


CO₂ [kg/m²]

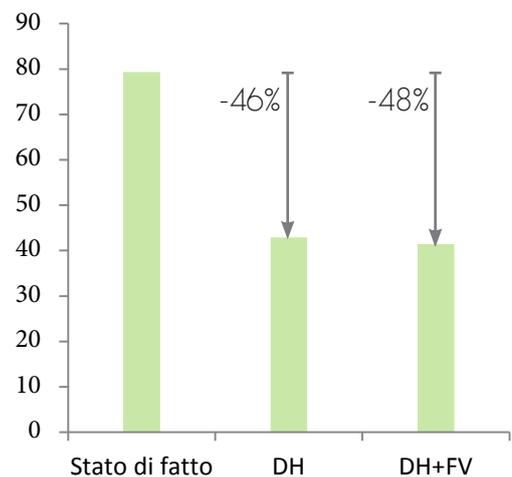


MFH 1901 -1920

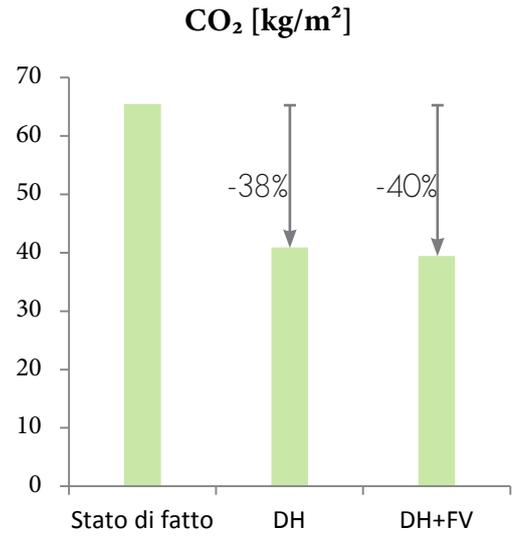
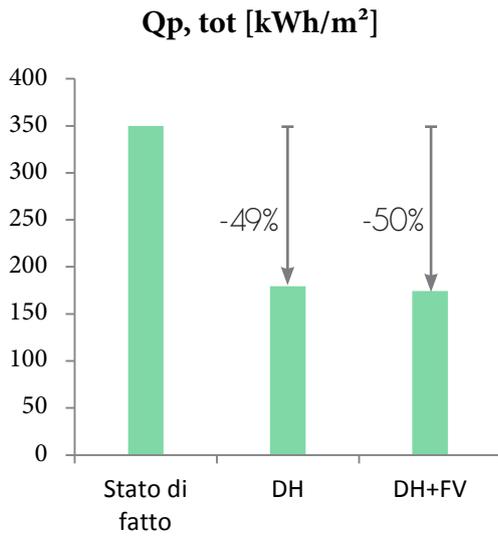
Qp, tot [kWh/m²]



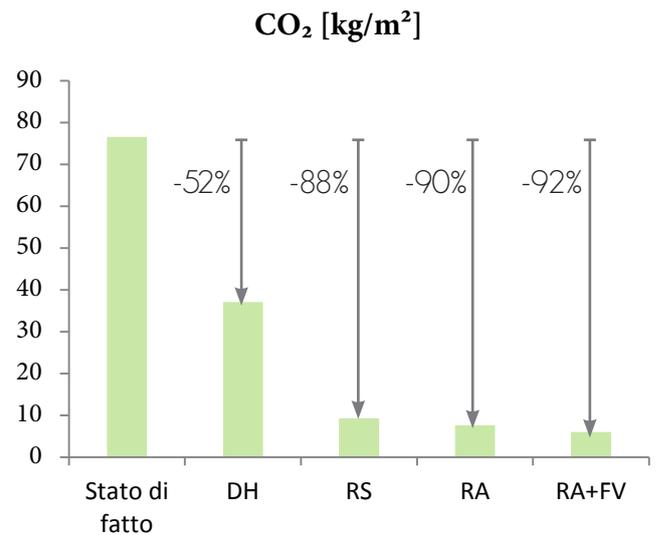
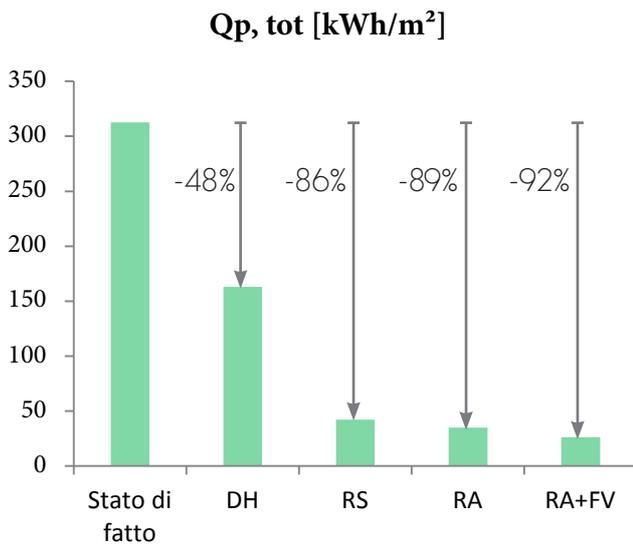
CO₂ [kg/m²]



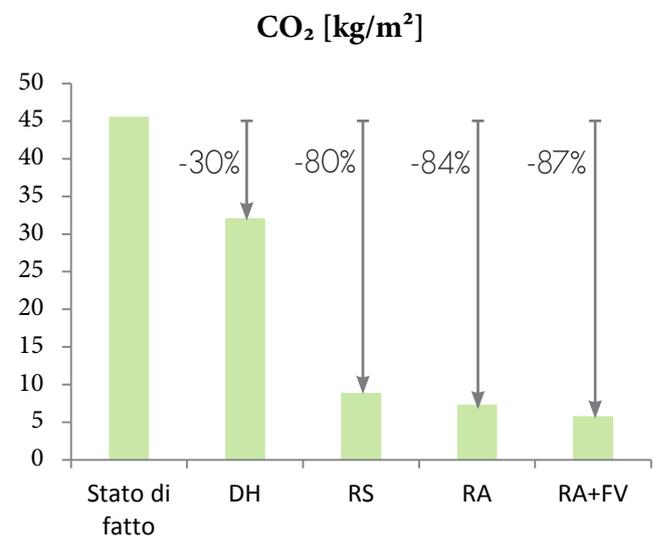
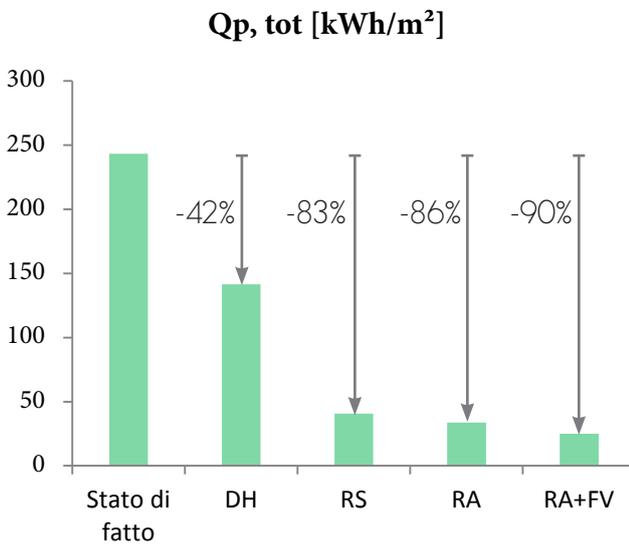
MFH 1921 - 1945



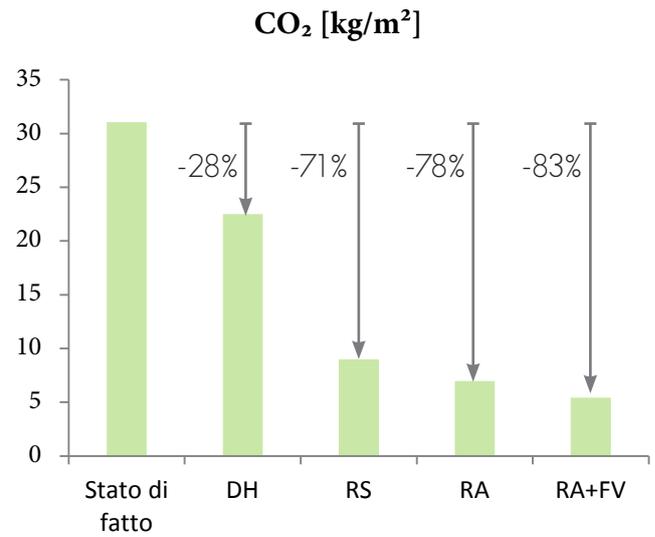
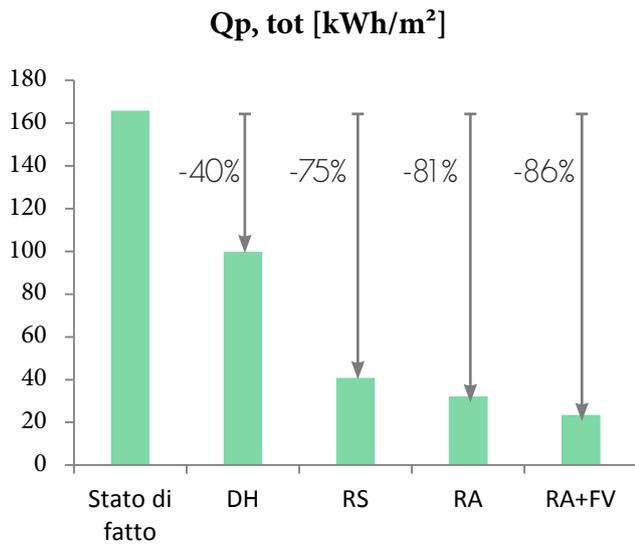
MFH 1946 - 1960



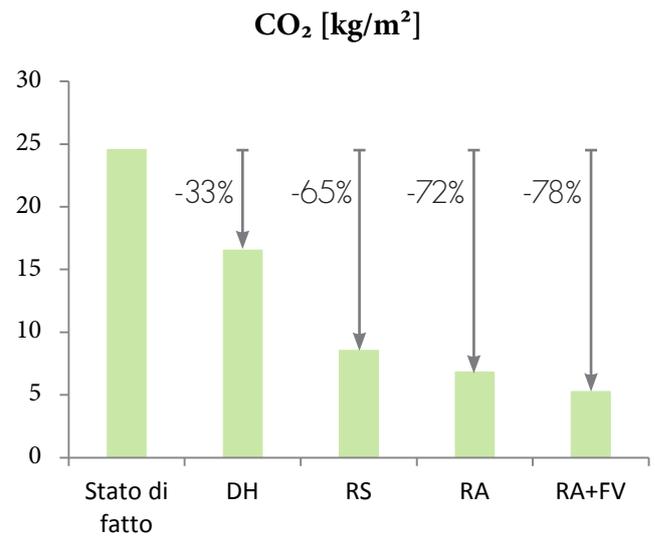
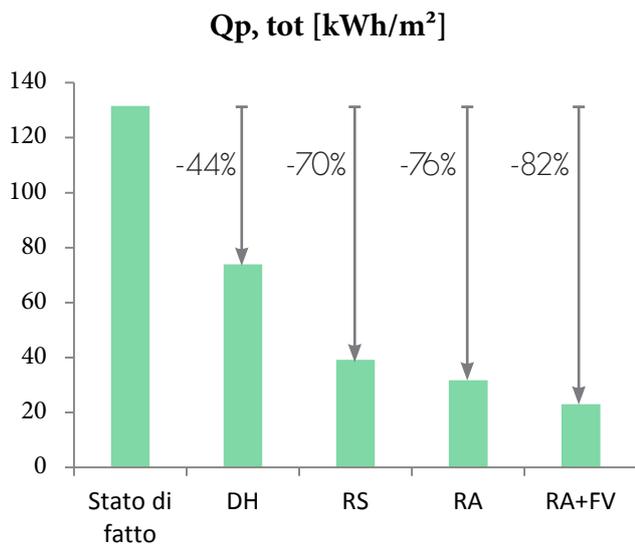
MFH 1961 - 1975



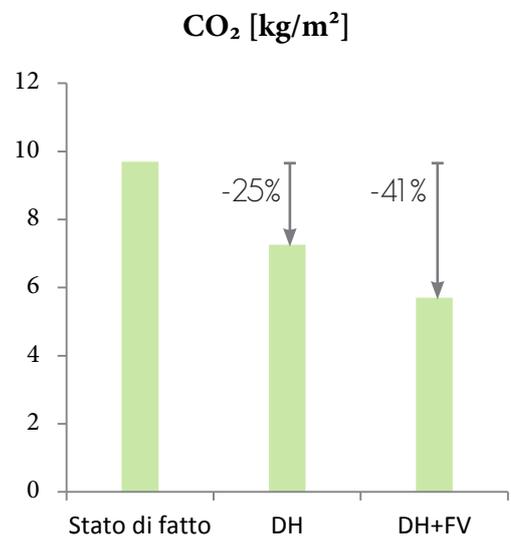
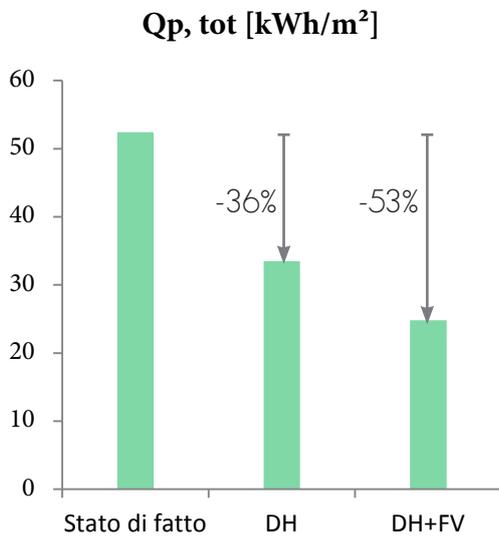
MFH 1976 - 1990



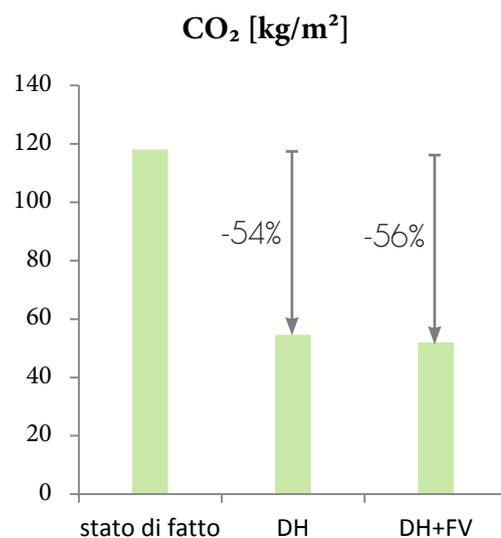
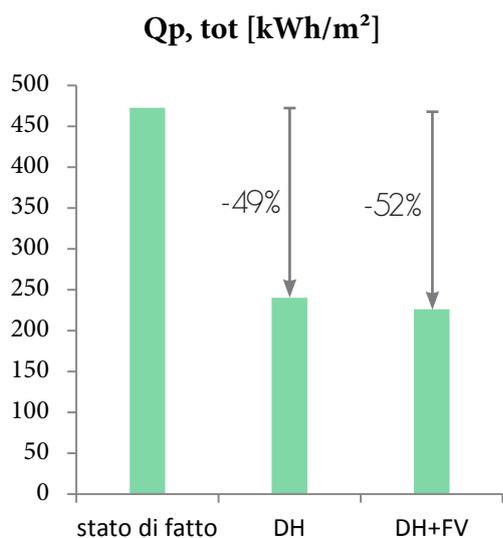
MFH 1991 - 2005



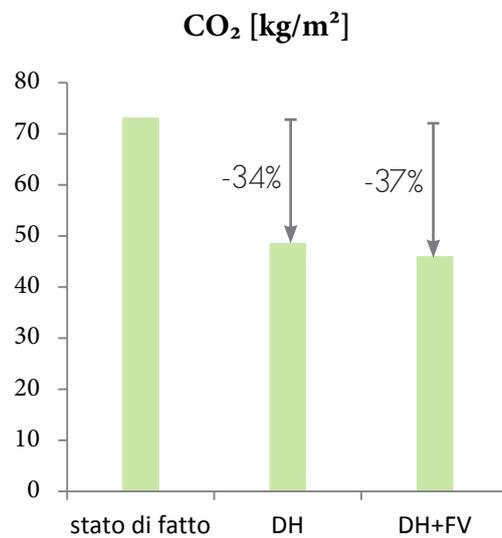
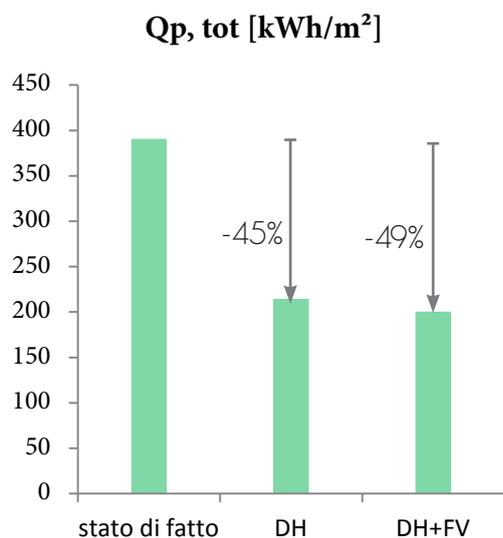
MFH Dopo 2005



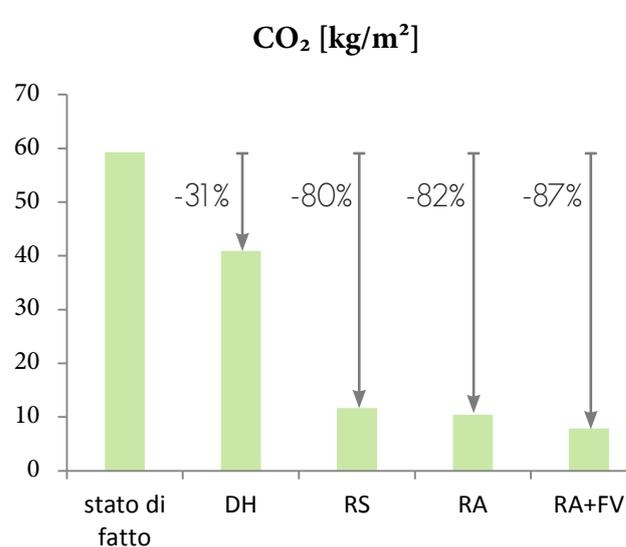
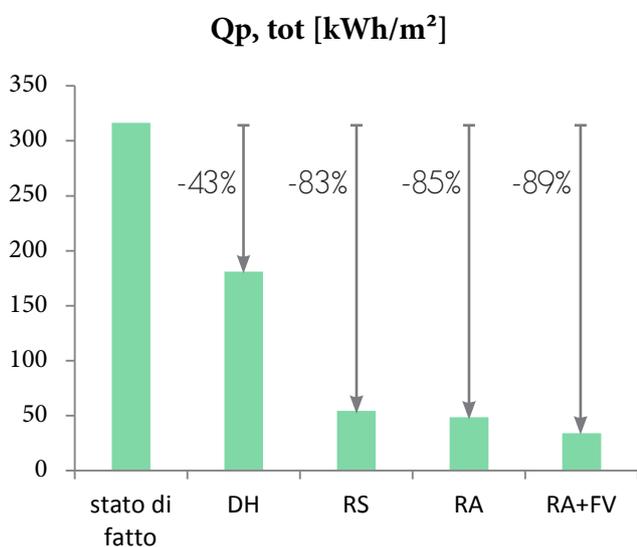
TH 1901- 1920



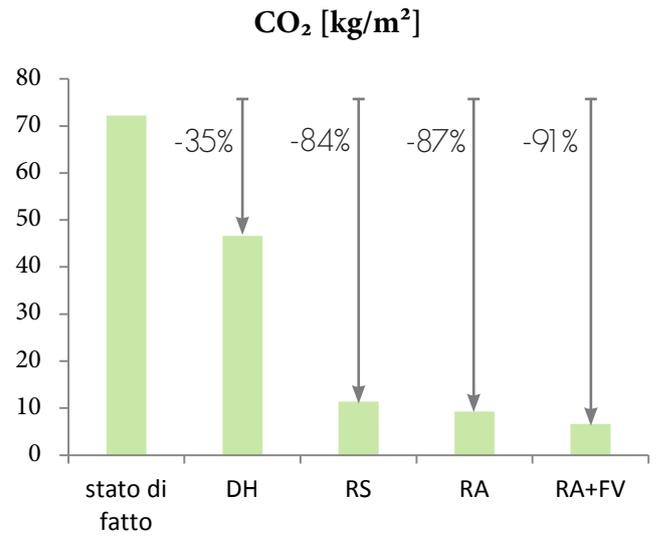
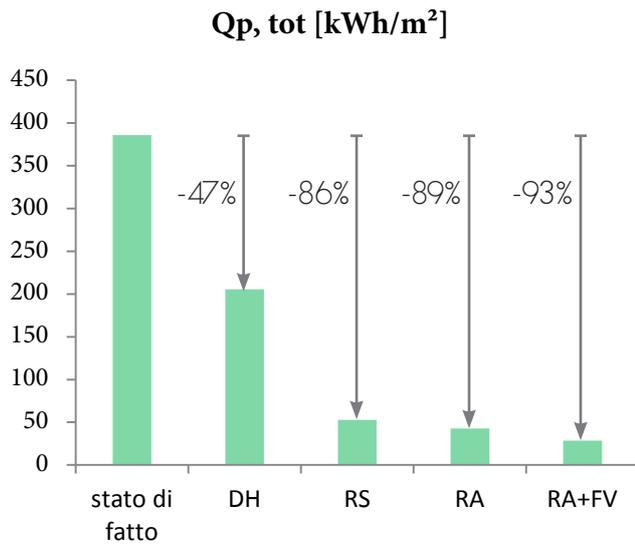
TH 1921 - 1945



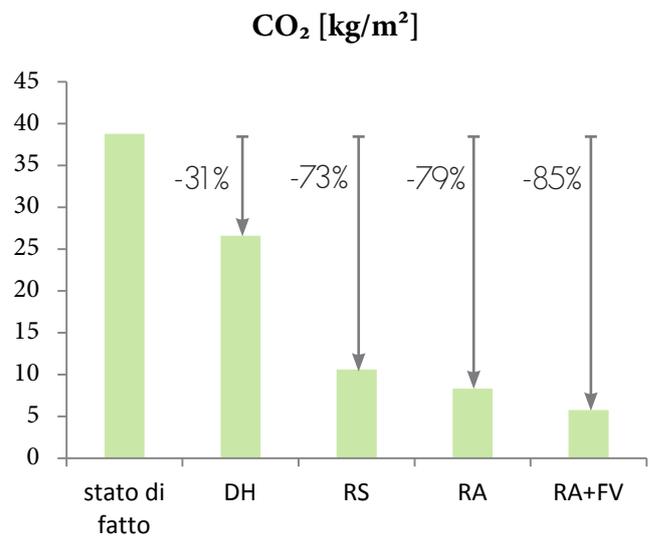
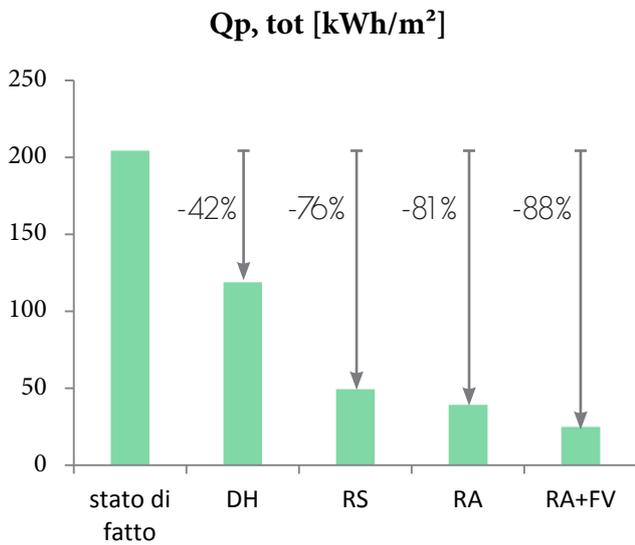
TH 1946 -1960



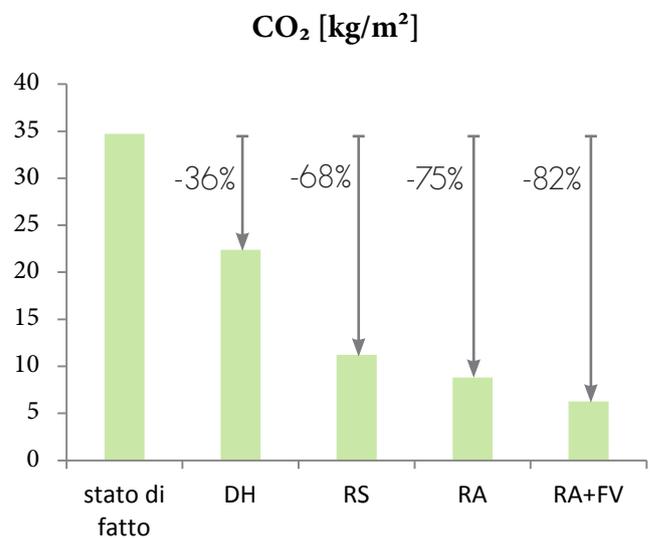
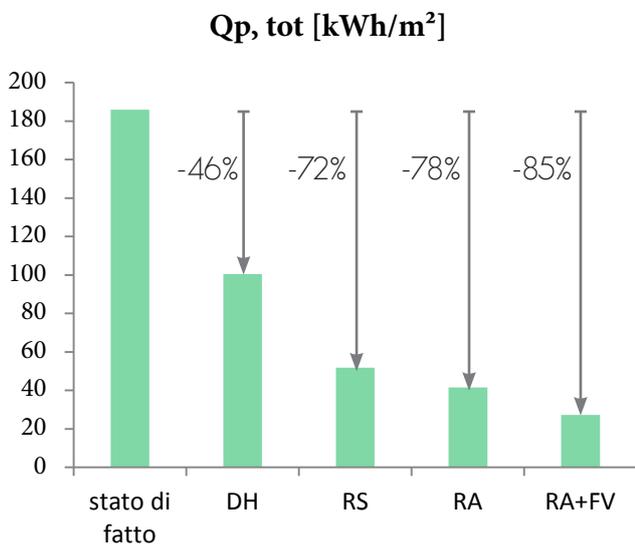
TH 1961 - 1975



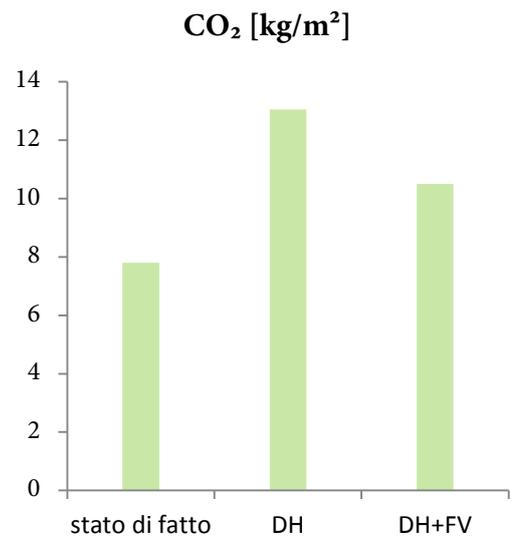
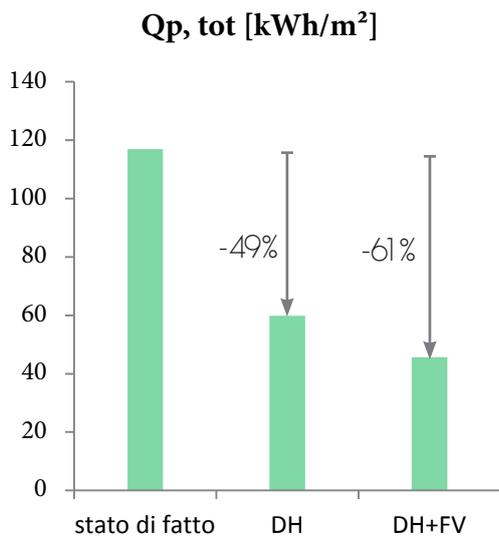
TH 1976 - 1990



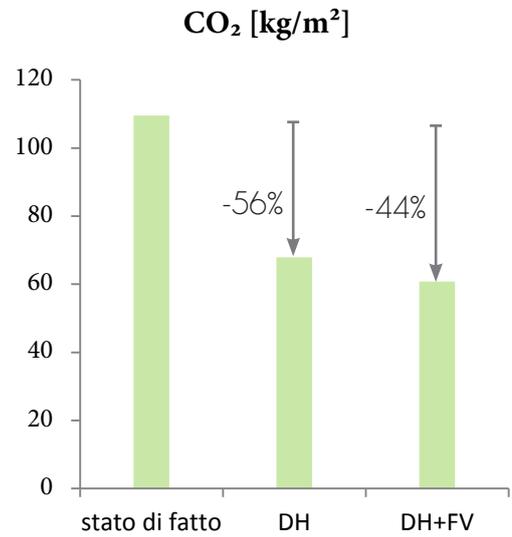
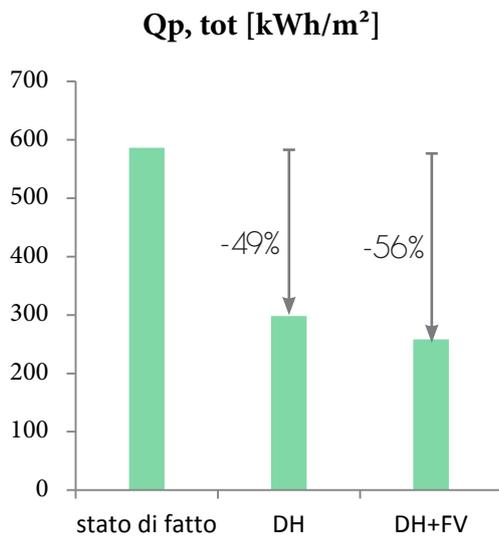
TH 1990 - 2005



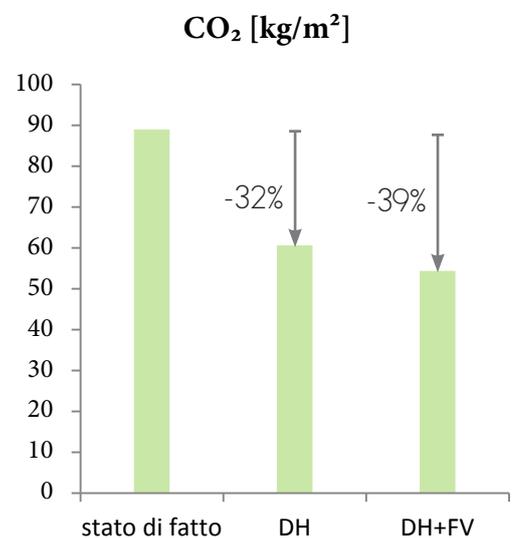
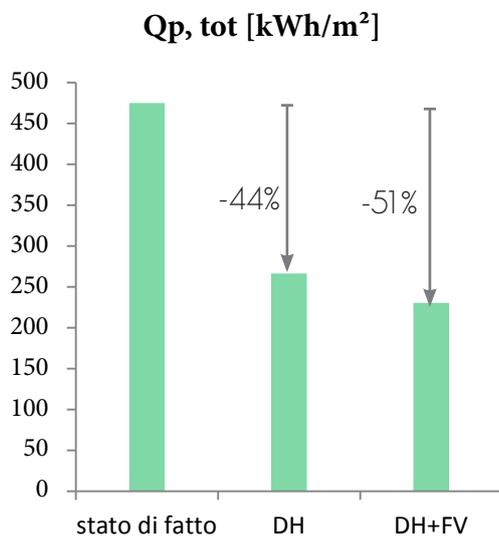
TH Dopo 2005



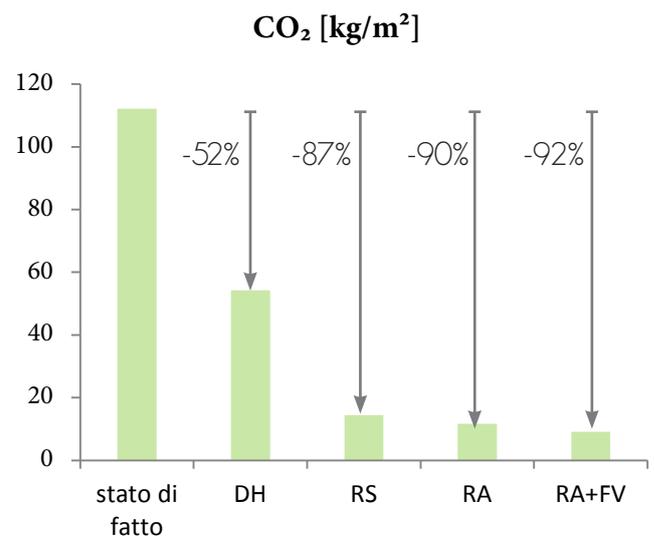
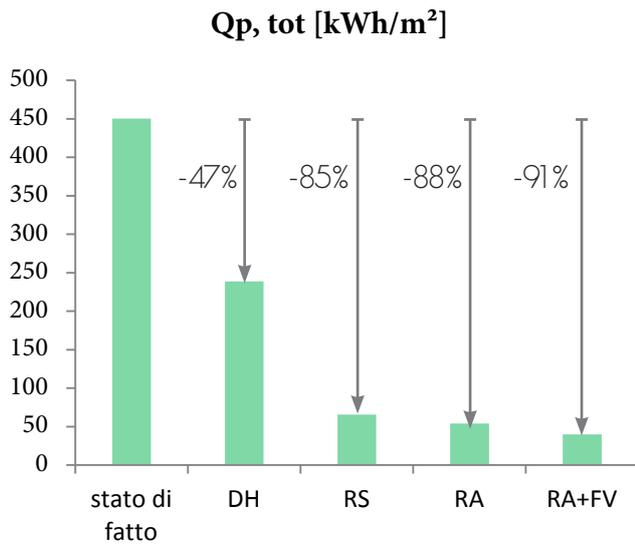
SFH 1901 - 1920



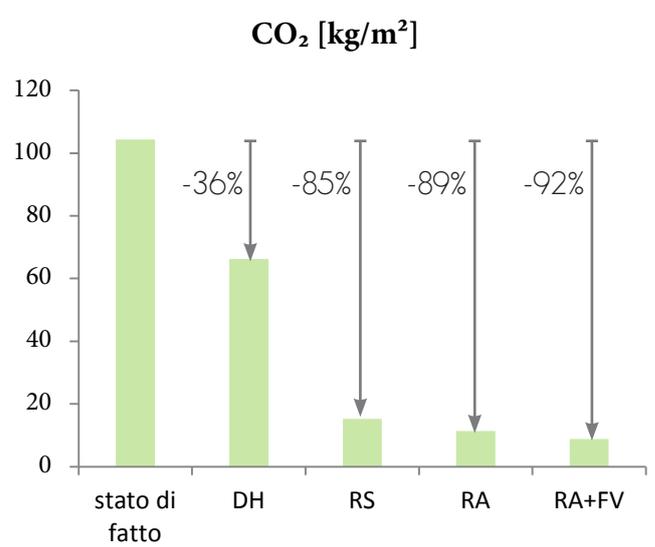
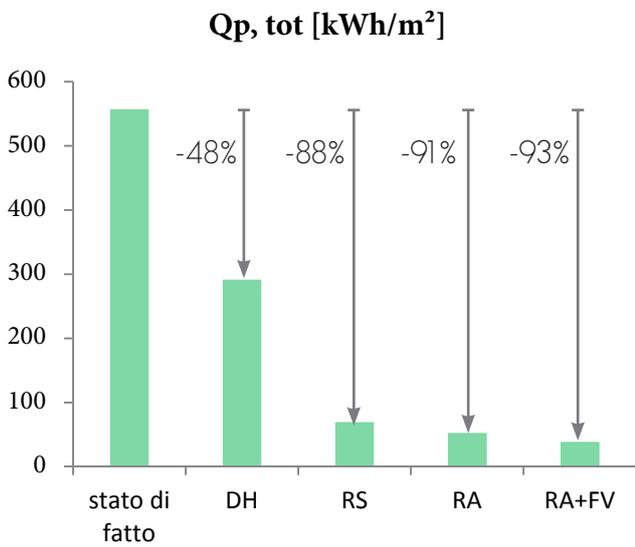
SFH 1921 - 1945



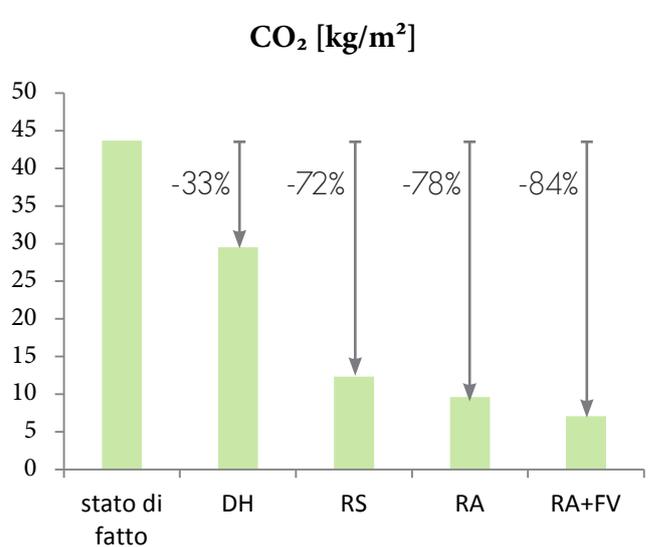
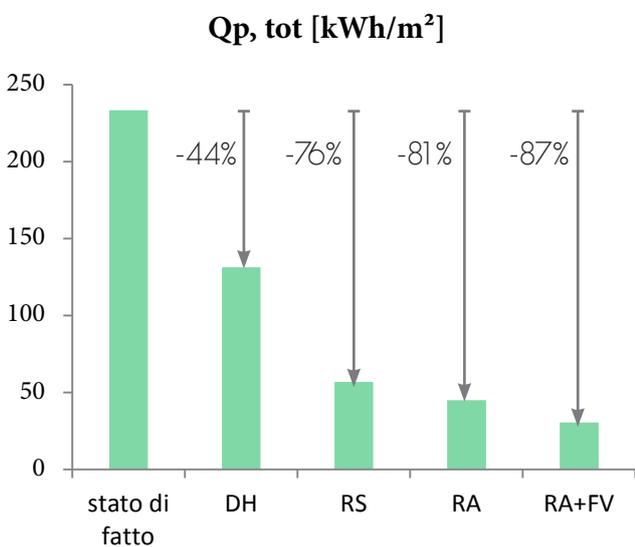
SFH 1945 - 1960



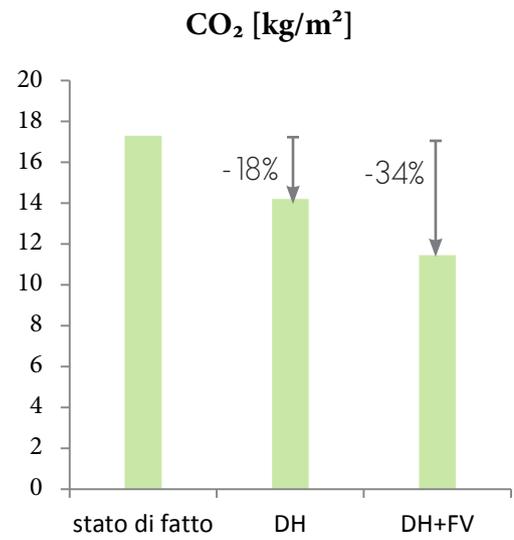
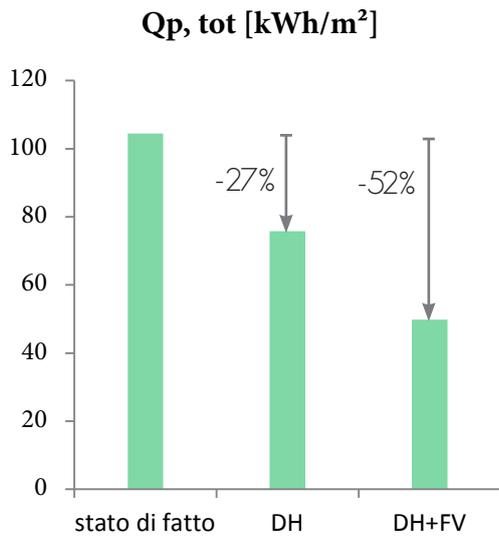
SFH 1961 - 1975



SFH 1976 - 1990



SFH Dopo 2005



Allegato C

Questionario

VALUTARE LA SOSTENIBILITÀ DI SCENARI ALTERNATIVI PER IL QUARTIERE DI SAN SALVARIO. TORINO

1. OBIETTIVO

Il presente questionario è stato sviluppato al fine di implementare un lavoro di tesi di laurea, il cui obiettivo è la valutazione di scenari alternativi che mirano a supportare la transizione energetica e sostenibile delle città. All'interno della ricerca sono state analizzate differenti misure di trasformazione che riguardano i diversi settori che compongono l'intero sistema urbano. Il caso studio su cui verrà sperimentato questo modello di valutazione è il quartiere di San Salvario, Torino. Per superare i limiti dei sistemi di supporto alla decisione finalizzati alla previsione della fattibilità finanziaria dei progetti, lo studio propone un modello di valutazione che integra aspetti economici e effetti intangibili che altrimenti verrebbero omessi. In qualità di esperto, le chiediamo di valutare l'importanza di questi criteri nella valutazione di un progetto di un quartiere sostenibile.

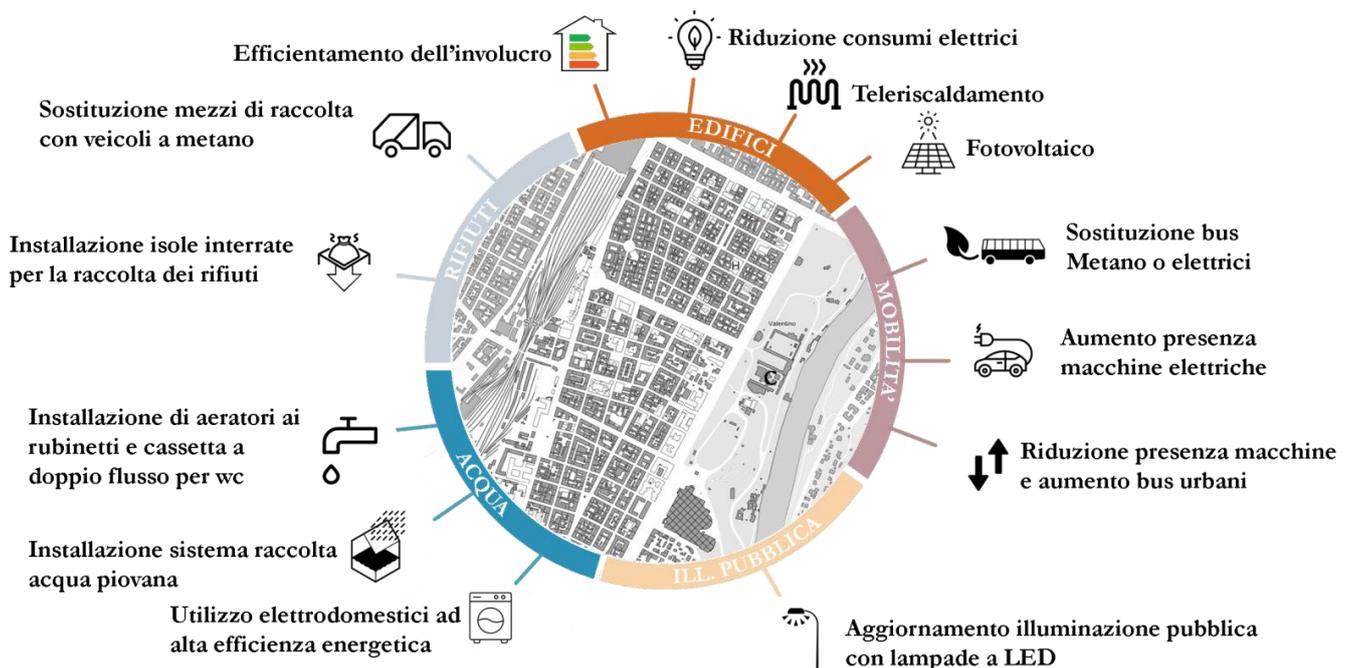
Si informa che tutte le informazioni fornite durante l'intervista saranno trattate in modo confidenziale e che i dati rilevati saranno utilizzati ai soli fini della ricerca.

La ringraziamo in anticipo per la sua disponibilità e collaborazione.

2. UN ECO-DISTRETTO A SAN SALVARIO

L'International Energy Agency, l'Energy Center del Politecnico di Torino, e la Città di Torino hanno espresso un forte interesse per la trasformazione del quartiere di San Salvario in un quartiere sostenibile. Le misure proposte per il caso studio selezionato sono state individuate analizzando le strategie proposte dall'Unione Europea nell'ambito del progetto di decarbonizzazione, generato per far fronte alle conseguenze del cambiamento climatico, e attraverso l'analisi dei casi studio reali di eco-quartieri. Le misure di efficientamento fanno riferimento principalmente ai settori degli edifici, della mobilità, dell'illuminazione pubblica, della gestione dell'acque meteoriche e della raccolta dei rifiuti.

INTERVENTI CHIAVE PER LA REALIZZAZIONE DI ECO-DISTRETTI



3.QUESTIONARIO

Le chiediamo di esprimere il grado di importanza dei seguenti indicatori di valutazione per la creazione di un quartiere sostenibile.

Nome e cognome dell'intervistato: Marta Dell'Ovo		Per niente importante	Poco importante	Abbastanza importante	Molto importante	Estremamente importante
CRITERI ECONOMICI	<i>Consumi energetici nel settore edilizio</i>	<input type="checkbox"/>				
	<i>Consumi combustibile fossile nel settore dei trasporti pubblici e privati</i>	<input type="checkbox"/>				
	<i>Emissioni di CO₂</i>	<input type="checkbox"/>				
	<i>Emissioni di PM₁₀</i>	<input type="checkbox"/>				
	<i>Vendita del surplus di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili</i>	<input type="checkbox"/>				
	<i>Incremento del valore immobiliare derivante dal miglioramento energetico</i>	<input type="checkbox"/>				
	<i>Generazione di nuovi posti di lavoro</i>	<input type="checkbox"/>				
CRITERI EXTRA-ECONOMICI	<i>Gestione dei consumi dell'acqua potabile</i>	<input type="checkbox"/>				
	<i>Diffusione di energia elettrica da fonti rinnovabili</i>	<input type="checkbox"/>				
	<i>Contenimento dell'impatto visivo degli impianti</i>	<input type="checkbox"/>				
	<i>Maturità tecnologica delle misure di efficientamento</i>	<input type="checkbox"/>				
	<i>Ottimizzazione del servizio di trasporto pubblico</i>	<input type="checkbox"/>				
	<i>Accettazione sociale delle misure di efficientamento</i>	<input type="checkbox"/>				

Secondo la sua esperienza, sarebbe necessario includere ulteriori indicatori per valutare la sostenibilità di un eco-distretto?

4. VALUTAZIONE DEI CRITERI EXTRA-ECONOMICI

Le chiediamo di rispondere alla seguente domanda:

Secondo la sua opinione, qual è il criterio più importante rispetto alla **creazione** di un eco-distretto?

Per favore, ordini i seguenti impatti da quello più importante a quello meno importante (es. $A > B > C$, se A è più importante di B, se B è più importante di C).

A. Accettazione sociale delle misure di efficientamento

Misura l'attitudine della popolazione locale ad accettare l'applicazione delle misure di trasformazione dei diversi settori d'intervento. Il criterio è legato al livello di rischio percepito dalla società.

Unità di misura: scala qualitativa

B. Ottimizzazione del servizio di trasporto pubblico

Misura il numero di passeggeri per chilometro di percorrenza degli autobus urbani. Più il servizio di trasporto pubblico è efficiente, più è alto il numero di abitanti che decide di privilegiare l'utilizzo dei mezzi pubblici rispetto all'auto privata.

Unità di misura: passeggeri/km

C. Diffusione di energia elettrica da fonti rinnovabili

Esprime in percentuale il rapporto tra l'energia elettrica prodotta dalle fonti rinnovabili installate in loco e i consumi di energia elettrica totali del quartiere. La produzione da fonti energetiche rinnovabili deve essere massimizzata per ridurre al minimo l'utilizzo di combustibili fossili per la produzione di energia elettrica.

Unità di misura: % di energia prodotta da FER / % di energia consumata

D. Contenimento dell'impatto visivo degli impianti

Misura l'impatto visivo totale sul quartiere delle misure di trasformazione (es. pannelli fotovoltaici, colonnine auto elettriche, isole ecologiche interrato, etc). Per contenere l'impatto visivo si possono impiegare soluzioni integrate per ridurre l'invadenza estetica di tali misure.

Unità di misura: scala qualitativa

E. Maturità tecnologica delle misure di efficientamento

Misura l'affidabilità della tecnologia considerando i rischi associati all'installazione, alla gestione e ai guasti futuri del sistema. Una tecnologia matura è una tecnologia che è stata testata e utilizzata per un tempo sufficientemente lungo da ridurre al minimo la maggior parte dei problemi.

Unità di misura: scala qualitativa

F. Gestione dei consumi dell'acqua potabile

Esprime in percentuale la riduzione dell'utilizzo di acqua potabile pro capite, ottenibile attraverso l'installazione di apparecchiature atte a diminuire il fabbisogno (es. aeratori frangigetto, scarichi a doppio tasto per i wc) e soluzioni a scala distrettuale per la raccolta delle acque meteoriche.

Unità di misura: % di acqua potabile risparmiata

ORDINAMENTO DEI CRITERI DI VALUTAZIONE

> > > > >

La ringraziamo per la sua collaborazione.

