

UPLanD

Journal of Urban Planning, Landscape & Environmental Design



Research & experimentation
Ricerca e sperimentazione

ENERGY REQUALIFICATION AND WASTE PRODUCTION: NEW URBAN METABOLISM PROCESSES. A CASE STUDY IN TREVIGNANO ROMANO

Adriana Sferra^a, Matteo Sforzini^b, Alessia D'Angelo^b

^aDepartment of Planning, Design and Technology of Architecture, Sapienza University of Rome, IT

^bDepartment of Astronautical, Electrical and Energy Engineering, Sapienza University of Rome, IT

HIGHLIGHTS

- New urban metabolism processes
- Reuse, recycling, recovery of construction and demolition waste
- Perspective and criticality in energy retrofit and waste production
- Flows of matter and energy entering and leaving the Trevignano Romano Municipality
- Circular economy approach for the building sector: social, economic and environmental benefits

ABSTRACT

A distorted urban development, built in the absence of specific regulations, obliges today to carry out energy requalification interventions.

In an economic/regulatory context that requires the transition, from an artisan logic to a para-industrial one, towards industry 4.0 with greater economies of scale, acting not on individual buildings but on urban sectors.

It also means putting the statutory and functional profile up to standard to meet the needs of the society.

We refer to new processes of urban metabolism which, in the circular economy, in construction also means the reuse and recycling of its own waste.

This contribution, regarding some researches carried out at the Interdepartmental Center Territory, Building, Restoration, Environment CITERA of Sapienza University of Rome, evaluates the incoming and outgoing flows (matter / energy) in urban centers, to point out best system efficiencies.

Objective in a nutshell: the balance between the benefits obtained from the interventions and the impacts caused by the waste related.

The paper illustrates: working methodology, technical operations carried out, calculation methods through indicators analyzed at 360°. Finally, the proposal for the overall reduction of energy consumption, C&D waste and CO_{2eq} emissions and ends with the results achieved and possible further developments.

The results confirm that if properly managed, the waste inevitably produced as a result of the interventions can turn from problem to resource.

ARTICLE HISTORY

Received: August 02, 2019

Reviewed: December 10, 2019

Accepted: December 26, 2019

On line: June 01, 2020

KEYWORDS

Urban metabolism

Urban cell

Energy requalification

Construction and demolition waste management

Digitization

1. INTRODUCTION

A distorted urban development, built in the absence of specific regulations, obliges today to urgently plan energy redevelopment interventions.

The problem is not easy because the context has changed profoundly today: a context (economic and regulatory) that in Italy is moving towards *industry 4.0* regulated by the new Procurement Code (Legislative Decree 50/2016) by specific regulations and related measures to obtain incentives and tax deductions; it is also characterized by digitization and off-site production. It seems compulsory to move from an artisan logic, even if evolved, to a para-industrial one, obtaining more significant results and greater scale economies by intervening for the energy building requalification; those intervention are carried out not on singular buildings but on whole urban sectors and in parallel work on statical and management aspects in order to comply with new society requirements, such as: aging, migrants, singles (Cresme, 2019).

As a consequence of these new needs, the paradigm is changing: the home is no longer valued as an asset but as a service - using domotics for this purpose - fundamental for the users of the spaces, able to carry out, real time, energy-environmental, acoustics and CO₂ emissions monitoring, and check people's health. (Ciribini, 2018). For example, the production of waste itself has profoundly changed: in other words, to simplify, there is a new urban metabolism which connotes the transition of current cities towards settlements, also with a low environmental impact.

In this field there is no single methodology for the analysis and management of the transition. To date, national and international tools have been developed to measure impacts on both the building and urban scales; each with its own set of descriptive and/or performance indicators and calculation procedures.

The analysis of flows into and out of cities - so far little or nothing considered in planning processes - and the identification of a balance between urban density and sustainability can be a good starting point. Such flows, in nature, are called metabolism. By metabolism (from the Greek μεταβολή = change) we mean the complex of chemical and physical reactions that take place in a living organism and that determine their growth, renewal and maintenance. However, it can be said that

the study of urban metabolism is an integral part of studies that seek to analyze the state of the environment, its evolution and its limits. It includes information on energy efficiency, the cycle of materials, the disposal, reuse or recycling of waste and the infrastructure of an urban system. Furthermore, it can provide data indicative of the degree of sustainability of a city or district. Urban metabolism parameters can provide significant indicators of urban sustainability as they are scientifically valid, based on comparable data over time. In conclusion, metabolic analysis can be used to build new tools for urban environmental policies and to conceive new objectives in policies for limiting impacts (Butters, 2012).

Urban metabolism then analyzes the directions of the various flows and quantifies their entries, exits and parts stored in urban areas.

In studying the functioning of complex artificial organisms such as cities by assimilating them to natural ones, definitions and procedures were developed on urban metabolism to quantify the flows of matter and energy entering and leaving the "city system". For example, "total flow of matter through the incoming system (water, food, fuel, construction materials) and outgoing: waste water, solid waste and polluting emissions" (Wolman, 1965); "The city is an ecosystem where heterotrophic metabolism prevails depending on large neighbouring areas, even very distant and with a very intense metabolism (per unit area and number of inhabitants) in which consumer organisms that are unable to feed themselves prevail" (Odum, 1983). Instead, we must aim at the self-sufficiency of the urban system.

These studies anticipate those on the circular economy according to which processes are circular and not linear. Face of these real and not postponable needs to be satisfied, it is certainly not enough just to repeat the slogan of minimizing the use of resources but instead favouring the recyclability and containment of waste, the duration of the products, reducing emissions, promoting the use of renewable resources since unfortunately consumerism has been overcome and we are now in "refusal" phase.

According to European Union legislation, waste is any substance or object that the holder discards or has the intention or obligation to discard. (Directive 2008/98/EC).

The quantity of waste produced mainly depends

on some factors such as: 1) the population; 2) the Gross Domestic Product; 3) efficiency in industrial processes and consumer behaviour patterns (more or less virtuous). Some of these factors seem to be (at present) out of control. Furthermore, to understand and evaluate the amount of waste generated by each production sector, and therefore also of the construction sector, procedures have been developed to effect the balance between the flows of matter entering a given production/economic segment and the quantity of waste generated on leaving the same segment; these procedures obviously also take into account the type of waste since the range is very extensive (industrial, chemical, agricultural, electronic, nuclear, construction and demolition, urban, etc.). Starting from these considerations, it is possible to formulate sufficiently reliable assessments about the quantity of waste produced worldwide by the complex of activities carried out in the construction sector, especially from demolition: between 40 and 50% by weight of the total production of waste generated by the human activities; theoretically 15% of what is built is demolished; the sector's activities also involve the consumption of approximately 50% by weight of all the materials extracted from the earth's crust. Even in construction, therefore, the critical issues are attributable to the size of the demolition works, the volume of waste, the virtuosity (not to say honesty) of the operators, the sense of responsibility of those who must carry out the checks, the type of waste, very diversified and sometimes even dangerous, and finally to its poor (and in any case not sufficient) differentiation; in other words, non-selective final demolition (and equally for any type of maintenance during operation) is equivalent to unsorted recycling.

The current waste management, unfortunately, focuses mainly only in the final phase of the life cycle, the phase in which products/components/buildings become waste with little attention to the design and construction phases: instead manage the entire construction sector chain during all phases of the building process as a whole it is essential to find sustainable answers to the problem (Cumò et al., 2015).

To conclude the introduction, within this context there are numerous researches (such as the one illustrated here) (Cumò et al., 2012) which propose interventions to make buildings almost zero consumption (Directive 2010/31/UE), to prevent

and manage waste sustainably; but often not determined within their specific context and therefore with only partial objective results.

The case study that presents itself, precisely because within a portion of the Lazio region (the Municipality of Trevignano Romano) has its own specific features: it has been studied and is being tested in a well-defined context, managed by a single administration. A well-defined space and a single governance allow to amplify and generalize the expected results and at the same time propose themselves as a reliable test for further experiments to be exported to another scale and different contexts. This means establishing synergies also with the adjacent Municipalities, to implement exchanges on a larger scale: in short, to try to concretely modify the current context where possible and with adequate timing.

Before going into the specifics of the topic and illustrating in detail the technical operations carried out, a brief mention is reported to anticipate and outline the work program.

2. METHODOLOGY

Entering the illustration of the methodology adopted, the calculation of the urban metabolism referred to a specific territory considers in this study the energy consumption of buildings and the quantity, type and method of management of construction and demolition waste (C&D) produced following the retrofit of the building envelope. For the aforementioned territorial specificity, the precise 360° description of the territory selected as a sample for the research experience that is summarized here is fundamental. In this study, a small municipality (Trevignano Romano in the Lazio region) was chosen, representative of 69% of Italian municipalities as regards the number of residents (see 2019 Anci data); and inside it has been identified a portion - called Urban Cell - with restricted buildings and consolidated urban fabric with limited possibilities for interventions on the buildings as they belong to the historical centers. From the studies conducted and from the publications produced also by those who write here, it was easy to analyze the territory. The territory can be divided into Urban Cells, fundamental for the analysis of the territory itself, because this partition facilitates

study and work and is deduced (and confirmed) through the analysis of environmental and zoning. With regard to the methodology for identifying the perimeter of the Urban Cells, it should be remembered that it is the result of the experience gained during the international research lasting three years (2010-13) SoURCE - Sustainable Urban Cells promoted by the Ministry of Affairs Foreign, developed by CITERA and the KTH Swedish Institute and co-financed by MIUR-CITERA. During the SoURCE research, a method was developed and validated in the field that identifies shares of urban fabric (Urban Cell) within which the balance between energy consumption and production of energy from renewable sources is included in a predetermined range, thus favouring the aspects energy within the theme of environmental sustainability and the mandatory correlations between it and the structure of the territory. Four Urban Cells were therefore identified, specifically in the case study presented below, distinguished from each other according to the building characteristics, the use of the land, the availability of renewable energy resources and the number of inhabitants: Urban Cell historic center, Urban Cell along the lake, hilly/residential Urban Cell and expansion Urban Cell (Cumo, 2012).

As far as data collection operations are concerned, quality constitutes a fundamental aspect, giving priority to "primary" data in this study as it is obtained from direct surveys carried out on site.

In summary, the data collection operations and calculation procedures relating to the current state of affairs are articulated, as regards each of the aspects analyzed, as follows:

1. territory: the satellite photos and data provided by the municipal administration have identified: overall area (ha), open space area (ha); built surface (m_2), green space surface (m_2), number of inhabitants, number of buildings.
2. climate: from the data provided by the meteorological station of Bracciano-Vigna di Valle, Meteorological Service of the Air Force, the following have been defined: climatic zone, degree days (DD), average temperature ($^{\circ}C$), average rainfall (mm/year), average solar radiation on a horizontal plane (kWh/year), average wind (m/s).
3. buildings: dimensional, morphological and technical characteristics (year of construction, orientation, S/V form factor, m^2 , m^3 , type

of construction and plant engineering) have been identified on the spot.

4. energy consumption: from the analysis of the bills and from the data provided by the local distribution body (referring to the period 2016, 2017, 2018), the electrical and thermal energy consumption of the buildings expressed in kWh were derived.
5. greenhouse gas emissions associated with the energy consumption of buildings: the amount of CO_2 emitted per kWh of electricity produced was calculated according to the methods indicated by the *kilowattene* instrument, developed in 2015 by Enea on the basis of the composition of the energy mix used for the electricity production in Italy in 2017 according to the data provided by the Energy Services Manager.

Once the analysis of the current state of affairs has been completed, the proposed intervention for the overall reduction of energy consumption, C&D waste and air emissions is carried out.

The intervention proposal was calibrated taking into account of: a) the initiatives already underway in the Municipality; b) the Technical Standards for Construction (DM, 2018); c) procedures for the cost-benefit analysis of energy retrofit interventions; d) the legislation in Italy for access to tax deductions for building renovations that involve energy savings (Enea, 2018), e) the Guidelines for



Figure 1: Urban Cell 1: Historic Center of Trevignano Romano. Source: authors' elaborations on Google Earth image.



Figure 2: View of the buildings located in the historic center of the Municipality. *Source: photos by authors.*

interventions in buildings with historical-architectural constraints (AAVV, 2015). Finally, f) the legislation for the management of construction and demolition waste. (Legislative Decree 152/2006). The objective is a summary of the balance between the benefits obtained from the energy requalification and the impacts caused by the production of waste inevitably produced by the interventions.

3. CASE STUDY: THE MUNICIPALITY OF TREVIGNANO ROMANO

The present case study allows (as well as with foreign operators) to collaborate with the adjacent Municipalities. Located on the northern shore of Lake Bracciano, at an altitude of 173 meters above sea level, it has an extension of 39.4 km², of which 99.9% is subject to landscape restrictions. The settlement population is equal to 18,167 units compared to 5,949 at the end of 2010. In recent years the Municipality has seen a series of residential settlements develop, consisting mostly of second homes. As mentioned above, the territory has been divided into four Urban Cells; here we have chosen to work as a sample on Urban Cell 1 (a term that will be used later) for its urban layout and for the presence of numerous constraints. The historic center has a greater complexity of intervention, in consideration of the architectural aspects of environmental protection and safeguard as well as for the achievement of standards aimed at improving energy (Fig. 1).

Urban Cell 1 occupies 67,000 m² (of the 39.4 km² total, or 0.2%); it houses 600 inhabitants in 112 buildings. The climatic characteristics (Zone D, minimum temperatures 9,6°C, maximum 19°C) and orographic features make free the territory from strong temperature fluctuations.

With reference to the already mentioned 112 buildings analyzed, almost all built before 1945, today there is a lack of homogeneity in construction, size and structure and a high concentration on the front of the long lake, where there are the greatest number of renovations, made to allow the inclusion of diversified commercial and accommodation businesses (Fig. 2).

Considering the types of buildings and the presence of a historical constraint, it was necessary to analyze each of the 112 buildings on a case by case

basis, underlining the morphological differences. This variability, apparently governed by aesthetic logics, is actually due to climatic needs, Urban Cell 1 is made up of 3 storey buildings, with average gross surface area for a single housing unit of 80 m², made of load-bearing masonry in tuff volcanic, the wall thicknesses are between 50 and 80 cm externally covered in plaster and/or exposed bricks. 70% of the fixtures have a wooden frame and single glazing. Almost all of the autonomous systems with methane gas heating systems are located outside the houses. There is about 1 air conditioning system every 2 residential units.

For each of the 112 buildings in the historic center, it emerged that about 90% of them are powered by heating systems consisting of a natural gas boiler as a generator and radiators as terminals. Electricity and gas consumption were derived from the analysis of the energy bills of buildings for the years 2016, 2017 and 2018. The average annual consumption of electricity, calculated as the average for the three years, is 1,665 MWh, while the average consumption annual natural gas is 476,305.5 Nm³.

The CO_{2eq} emissions associated with electricity consumption (taking into account the emission factor = 290 grams per kWh of electricity, derived from 2017 data of the Energy Services Manager and of the National Agency for Alternative Energy) is approximately 483 tons of CO_{2eq} every year.

While for thermal consumption (calculated the average amount of gas consumed in one year from the consumption provided by the bills and taking into account the emission factor of 2.75 kg of CO₂ per kg of methane gas) the associated emissions are slightly more than 943 tons of CO_{2eq} every year. Once the analysis of the state of affairs has been concluded, the proposed energy efficiency measures, the reduction of consumption, emissions and the correct management of the waste produced following the interventions are proposed.

During the preparation of the proposal, it should be borne in mind that every intervention within a context of historical, artistic or architectural value requires a careful approach and an in-depth assessment, which has as its purpose its safeguard. In this context, interventions to improve energy efficiency must be considered as a means of protection, rather than a real modification of the asset itself. It should be remembered that for an economy of scale, energy compliance measures, when

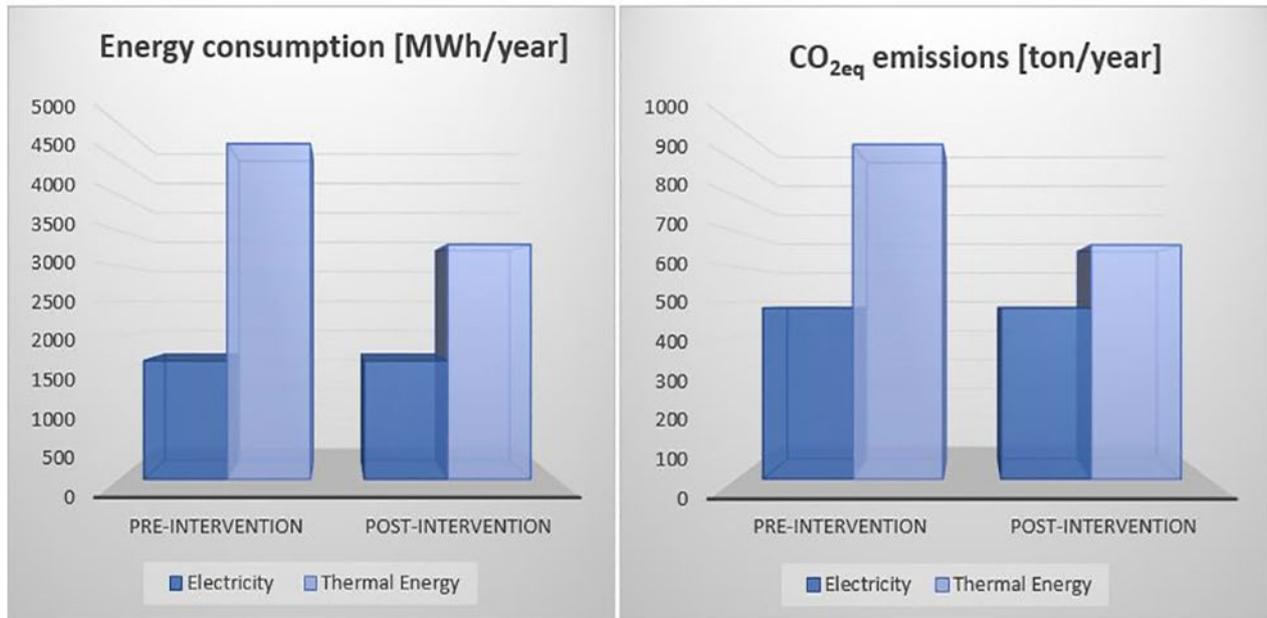


Figure 3: Comparison of the emissions in tonnes/year of CO₂eq caused by the energy consumption of buildings in the operating phase before and after the redevelopment measures. *Source: authors' elaboration.*

possible, should be combined with other compliance, refunctionalization, extraordinary maintenance, etc. It will not always be possible to satisfy the diversified needs of protection and architectural efficiency, consequently the design choices will be the result of proper mediation, following a “case by case” study.

It is essential for the case study to consider only some of the interventions applicable for the energy improvement of the building. The procedure to be followed is based on preliminary actions, aimed at a correct energy diagnosis, downstream of which the actual energy performance index must be calculated. The diagnosis must also be used to evaluate possible improvement actions. (UNI/TS 11300-2, 2019).

This evaluation of “comparison analysis” represents the key point of the design choices for the identification of the interventions.

As regards the possibility of reducing the consumption of energy from fossil fuels using renewable sources, it should be borne in mind that the study area is characterized by an average windiness that does not guarantee adequate technical or economic conditions for the production of energy from wind source.

With regard to the use of solar energy even if the incident radiation makes the territory suitable, on the other hand, there is a poor uptake potential due to the mutual shading of the buildings and the tree-lined areas, as well as an unfavourable ratio of volume and surface coverage available.

Finally, the presence of the lake is not suitable for the exploitation of water energy, due to the lack of natural differences in height and the impossibility of exploiting the kinetic energy of the water. From this assessment, it follows that it is not suitable for the installation of any type of plant for the production of renewable energy on site. There is only the possibility of intervening, on the systems and on the building envelope; interventions have been envisaged for the improvement of the thermal performance of the building envelope, however bound to respect the facades of the historic center. The choice of thermal insulation also took into account the type of material, preferring natural ones with thermal conductivity between 0.030 and 0.045 W/(m*K), thicknesses between 4 and 10 cm and density between 50 and 150 kg/m³.

As regards the fixtures, 67 inspections were carried out on 112 buildings analyzed; the data of the remaining buildings were obtained directly from

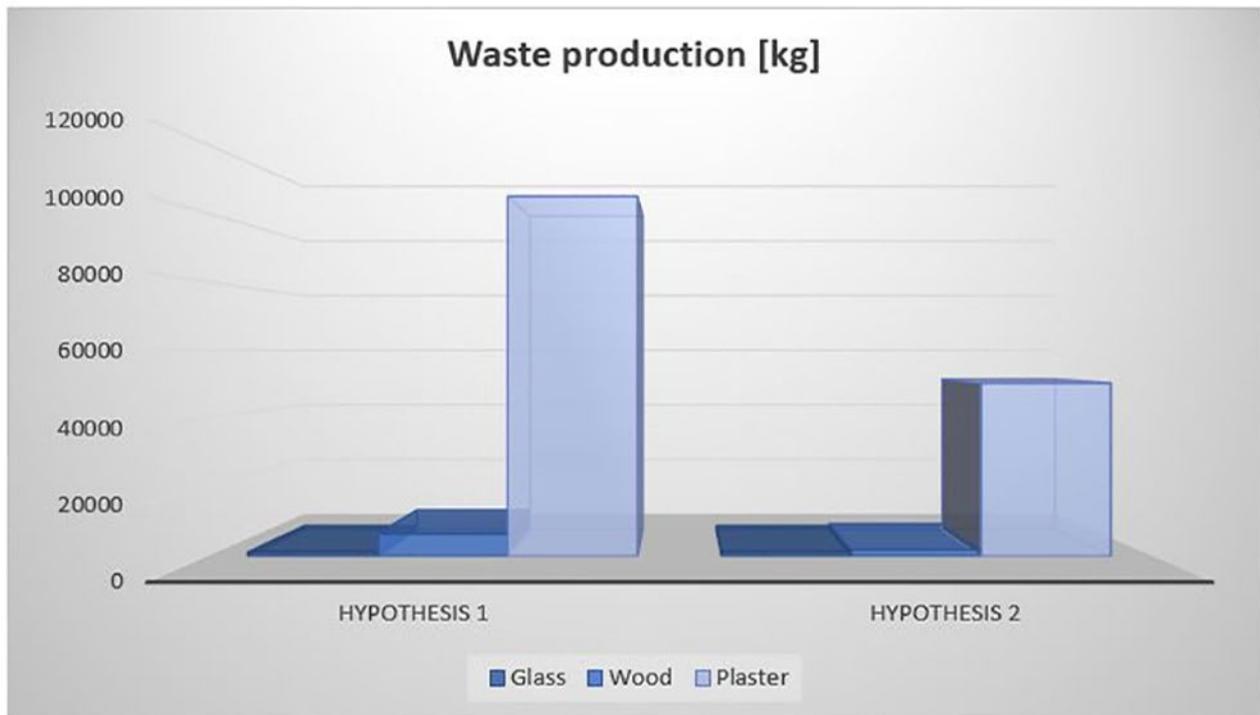


Figure 4: Quantity and type of “avoided” waste during the energy requalification of buildings for each of the hypothesised scenarios: 1) recycling of 90% of the glass fraction and recovery of 48% of the wood and plaster; 2) recycling of 90% of the glass and recovery of 85% of the wood and 75% of the plaster. *Source: authors’ elaboration.*

the users’ answers through questionnaires. Of the total of the frames (909) all in wood, 80% (722) have single glazing and the remaining 20% (187) double glazing. The average transmittance of the former is between 5-6 $W/(m^2 \cdot K)$; the proposed intervention consists in their replacement, bound to respect the morphological architectural characteristics of the existing materials and finishes. A possible solution is therefore the use of thermal break wooden window frames with thermal transmittance between 1.5 - 2 $W/(m^2 \cdot K)$. (Fig.3).

The quantity and type of C&D waste produced following the energy requalification of buildings: wood (12.7 tons), glass (12.6 tons) and lime mortar plaster (201.6 tons), are classified as special non-hazardous waste according to the European CER waste codes, which entered into force in 2015 (2014/955/EU) and updated in 2018. As regards their management, two scenarios have been envisaged taking into account the current management methods that provide for the separation of

the different types into fractions as homogeneous as possible, as they will then have to be treated and disposed of in different ways. In the first hypothesis, which we could define as non-selective management: recovering approximately 48% and transferring the remaining 52% to landfills. The second hypothesis foresees the separation of the different types through selective demolition capable of guaranteeing the recycling and recovery of 70-80% of the waste, reducing the quantities and transforming them from “problem to resource” (Fig 4).

4. ANALYSIS OF RESULTS AND CONCLUSIONS

The proposed energy redevelopment interventions lead respectively to a reduction in thermal energy consumption of about 15-20% (5 and 10% compared to the pre-intervention situation). As-

suming a percentage saving of 20% for masonry insulation and 10% for that on windows, an average annual reduction in natural gas consumption is estimated from 342,940 to 333,414 Nm³.

In the face of these appreciable results of reductions in consumption and emissions, there are 227 tons of waste that only if properly managed allow to make urban metabolism more efficient – by reducing the incoming flows (energy and raw materials) and the outgoing ones (CO_{2eq} emissions and waste) through the reuse, at least of part, of the waste produced – triggering those circular processes typical of natural ecosystems.

Energy redevelopment interventions are for obvious convenient reasons as they guarantee a reduction in consumption and emissions (even more if made for entire urban areas and not for individual buildings); but, in a circular economy perspective, they contribute significantly to the efficiency of urban metabolism only if the correct management of the waste produced through selective demolition is guaranteed at the same time. Even more if, through “dry” construction techniques, the off-site and digitalization are able to manage them by favoring their prevention (Fig. 5).

The metabolism of Urban Cell 1 of the Municipality of Trevignano Romano is therefore evaluated as the ratio between the total annual amount of energy from fossil fuels saved, the reduction of CO_{2eq} emissions, and the amount of waste avoided; therefore, if the Municipality intends to proceed, it can be considered that it constitutes an appreciable result. Taking into account the constraints present in the territory for electricity generation from renewable sources on site, other possible solutions for energy saving, assessed in their technical-economic convenience on a case-by-case basis according to a cost/benefit analysis during the entire life cycle, they could include a mix of solutions involving both the building envelope and the systems (heating, cooling, lighting and building automation). Furthermore, particular attention will be paid to the variation in lifestyles or the behaviour of users to be assessed in its repercussions on the

real savings achievable, as large differences have been detected between the energy performance of the buildings calculated in the design phase and the actual performance measured after the implementation of energy requalification interventions, identifying the main response in the user's action. The need to pay more attention by the designers towards the role of the occupants therefore increases, it is necessary to consider the influence of the so-called rebound effect. From the results of the scientific research conducted, it emerges that this phenomenon in some cases can have an influence of up to 20% on the actual energy performance of the system. (Haas, Biermayr, 2000).

With these “precautions” the proposed model can be exported to other national (but also international) realities, bearing in mind that the process of changing the construction sector involves some key steps: digitization of the entire building process; MMC - Modern Construction Methods (off-site production technologies to help minimize waste, inefficiencies, delays and errors by finding quality and forecasting capacity); a transition from construction costs to cost-benefit analysis throughout the building's life cycle. Beyond methods, procedures, calculations, the interest of this contribution – and the intent of those who proposed it – lies essentially in having rejected a single and standard model (valid everywhere but with poor concrete results) in favor of a model contextualized to the national reality that is changing in the face of new economic, social and environmental needs.

Finally, a proper mention of the hostility that unfortunately is currently being registered with regard to the recycling of waste that the decree unlocks construction sites has “blocked” stopping it from the types, technologies and products of 1998, ignoring the numerous innovative processes developed in a strategic sector; it approved regulations that block the development of new plants and new industrial activities that are ready to go and that would bring environmental, employment and economic advantages.



Figure 5: Historical centre, wooden windows fixtures. *Source: photos by authors.*

RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA E PRODUZIONE DI RIFIUTI: NUOVI PROCESSI DI METABOLISMO URBANO. IL CASO DI STUDIO DI TREVIGNANO ROMANO

1. INTRODUZIONE

Un distorto sviluppo urbano, edificato in assenza di normative specifiche, obbliga oggi a provvedere, con urgenza, alla programmazione di interventi di riqualificazione energetica (ma non solo).

Il problema non è facile perché il contesto è, oggi, profondamente mutato: un contesto (economico e normativo) che in Italia si sta avviando verso industria 4.0 regolato dal nuovo Codice degli Appalti (D.lgs 50/2016) da normative specifiche e relativi provvedimenti per ottenere incentivi e detrazioni fiscali; caratterizzato anche dalla digitalizzazione e dalla produzione off-site.

Appare quindi obbligato passare da una logica artigianale, ancorché evoluta, ad una paraindustriale ottenendo risultati più significativi e maggiori economie di scala intervenendo per la riqualificazione energetica non su singoli edifici ma su comparti urbani e cogliere l'occasione per mettere contestualmente a norma i fabbricati anche sul profilo statico e funzionale per soddisfare le nuove esigenze della società: invecchiamento, migranti, single (Cresme, 2019).

Come conseguenza di queste nuove esigenze, il paradigma sta cambiando: la casa viene valutata non più come un bene ma come un servizio – utilizzando a tal fine la domotica – fondamentale per i fruitori degli spazi, in grado di effettuare negli ambienti monitoraggi energetico-ambientali, acustici, emissioni di CO₂ e controllare le condizioni di salute delle persone (Ciribini, 2018).

Ad esempio, la stessa produzione di rifiuti è profondamente mutata: in altri termini, per semplificare, si registra un nuovo metabolismo urbano che connota la transizione delle città attuali verso insediamenti, anche, a basso impatto.

In questo campo non esiste un'unica metodologia per l'analisi e la gestione della transizione. Ad oggi sono stati messi a punto strumenti – nazionali ed internazionali – per misurare gli impatti sia alla scala edilizia che a quella urbana; ognuno con il

proprio set di indicatori descrittivi e/o prestazionali e procedure di calcolo.

L'analisi dei flussi in entrata e in uscita dalle città – fino ad ora poco o niente considerati nei processi di pianificazione – e l'individuazione di un equilibrio tra densità urbana e sostenibilità possono essere un buon punto di partenza.

Tali flussi, in natura, sono definiti metabolismo. Per metabolismo (dal greco μεταβολή = cambiamento) si intende il complesso delle reazioni chimiche e fisiche che avvengono in un organismo vivente e che ne determinano l'accrescimento, il rinnovamento, il mantenimento.

Si può comunque affermare che lo studio del metabolismo urbano è parte integrante degli studi che cercano di analizzare lo stato dell'ambiente, il suo evolversi ed i suoi limiti. Esso include informazioni sull'efficienza energetica, il ciclo dei materiali, lo smaltimento, riuso o riciclo dei rifiuti e le infrastrutture di un sistema urbano. Inoltre, è capace di fornire dati indicativi del grado di sostenibilità di una città o di un quartiere. I parametri del metabolismo urbano possono fornire degli indicatori significativi di sostenibilità urbana in quanto sono scientificamente validi, basati su dati comparabili nel tempo. In conclusione, l'analisi metabolica può essere usata per costruire nuovi strumenti delle politiche ambientali urbane e per concepire nuovi obiettivi nelle politiche di limitazione degli impatti (Butters, 2012).

Il metabolismo urbano quindi analizza le direzioni dei vari flussi e ne quantifica le entrate, le uscite e le parti immagazzinate nelle zone urbane.

Nello studiare il funzionamento di organismi artificiali complessi quali le città assimilandoli a quelli naturali, sono state elaborate definizioni e procedure sul metabolismo urbano per quantificare i flussi di materia e di energia in entrata ed in uscita al "sistema città".

Ad esempio, "flusso totale di materia attraverso il sistema in entrata (acqua, cibo, combustibili, materiali da costruzione) ed in uscita: acque reflue,

rifiuti solidi ed emissioni inquinanti” (Wolman, 1965); “la città è un ecosistema dove prevale il metabolismo eterotrofo dipendente da ampie aree limitrofe anche molto lontane e con un metabolismo molto intenso (per unità di area e per numero di abitanti) nel quale prevalgono gli organismi consumatori non in grado di autoalimentarsi” (Odum, 1983).

Dobbiamo invece puntare all'autosufficienza del sistema urbano.

Questi studi di fatto anticipano quelli sull'economia circolare secondo cui i processi sono appunto circolari e non lineari.

A fronte di tali reali e non rinviabili esigenze da soddisfare, di certo non basta solamente ripetere lo slogan di minimizzare l'uso di risorse quanto invece favorire la riciclabilità ed il contenimento dei rifiuti, la durata dei manufatti, ridurre le emissioni, promuovere l'uso di risorse rinnovabili dal momento che purtroppo si è superato il consumismo e siamo ormai nel rifiutismo.

Secondo la legislazione dell'unione europea, rifiuto è “qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'intenzione o l'obbligo di disfarsi” (Directive 2008/98/EC).

La quantità di rifiuti prodotta dipende principalmente da alcuni fattori quali: 1) la popolazione; 2) il Prodotto Interno Lordo; 3) l'efficienza nei processi industriali e i modelli di comportamento (più o meno virtuosi) dei consumatori. Alcuni di questi fattori sembrano essere (allo stato attuale) fuori controllo.

Inoltre, per comprendere e valutare l'entità di rifiuti generata da ogni settore produttivo, e quindi anche di quello edilizio, sono state messe a punto procedure per effettuare il saldo fra i flussi di materia in entrata in un determinato segmento produttivo/economico e la quantità di rifiuti generata in uscita dallo stesso segmento; tali procedure tengono ovviamente conto anche del tipo di rifiuto essendo la gamma molto estesa (industriali, chimici, agricoli, elettronici, nucleari, da costruzione e demolizione, urbani, ecc.).

Partendo da tali considerazioni è possibile formulare valutazioni sufficientemente attendibili circa la quantità di rifiuti prodotti a livello mondiale dal complesso delle attività svolte nel settore delle costruzioni soprattutto da quelle di demolizione: tra il 40 ed il 50% in peso della produzione totale di rifiuti generati dalle attività umane; teoricamente si demolisce il 15% di quello che si costruisce; le

attività del settore inoltre comportano il consumo di circa il 50% in peso di tutti i materiali estratti dalla crosta terrestre.

Anche in edilizia quindi le criticità sono riconducibili alla dimensione degli interventi di demolizione, al volume dei rifiuti, alla virtuosità (per non dire onestà) degli operatori, al senso di responsabilità di chi deve effettuare i controlli, alla tipologia di rifiuto, molto diversificato e a volte anche pericoloso, ed infine alla sua scarsa (e comunque non sufficiente) differenziazione; in altri termini la demolizione finale non selettiva (ed egualmente per qualunque tipo di manutenzione in fase di esercizio) equivale alla raccolta non differenziata. La corrente gestione dei rifiuti, purtroppo, si focalizza principalmente soltanto nella fase finale di ciclo di vita, la fase nella quale prodotti/componenti/edifici diventano rifiuti con scarsa attenzione alle fasi di progettazione e realizzazione: gestire invece l'intera filiera del settore edile durante tutte le fasi del processo edilizio come un tutt'uno è essenziale per trovare risposte sostenibili al problema (Cumò et al., 2015).

Per concludere l'introduzione, all'interno di questo contesto si rilevano numerose ricerche (come quella che qui si illustra) (Cumò et al., 2012) che propongono interventi per rendere gli edifici a consumo quasi zero (Directive 2010/31/EU), per prevenire e gestire in modo sostenibile i rifiuti; ma spesso non determinati all'interno del loro specifico contesto e quindi con oggettive risultanze solamente parziali.

Il caso di studio che si presenta, proprio perché all'interno di una quota del territorio laziale (il Comune di Trevignano Romano) possiede una sua specificità: è stato studiato ed è in corso di sperimentazione in un contesto ben definito, gestito da una unica amministrazione. Uno spazio ben delimitato ed una unica governance consentono di amplificare e generalizzare le risultanze attese e nel contempo si propongono come attendibile test per ulteriori sperimentazioni da esportare ad altra scala e contesti diversi. Questo significa instaurare sinergie anche con i Comuni adiacenti, per attuare scambi ad una scala maggiore: in sintesi, per cercare di modificare concretamente ove possibile e con tempistiche adeguate l'attuale contesto.

Prima di entrare nello specifico del tema ed illustrare in dettaglio le operazioni tecniche effettuate, un breve accenno per anticipare e delineare il programma di lavoro.

2. METODOLOGIA

Entrando nella illustrazione della metodologia adottata, il calcolo del metabolismo urbano riferito ad uno specifico territorio, tiene conto in questo studio dei consumi energetici degli edifici e della quantità, tipologia e modalità di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) prodotti in seguito agli interventi di retrofit dell'involucro edilizio. Fondamentale, per la succitata specificità territoriale, la puntuale descrizione a 360° del territorio selezionato a campione per la esperienza di ricerca che qui si sintetizza. In questo studio è stato scelto un piccolo Comune (Trevignano Romano nella Regione Lazio) rappresentativo, per quanto attiene al numero di residenti, del 69% dei Comuni italiani (dati Anci 2019); e al suo interno è stata individuata una porzione – denominata *Urban Cell* – con edifici vincolati e tessuto urbano consolidato con limitate possibilità di interventi sugli edifici in quanto appartenenti ai centri storici.

Dagli studi condotti e dalle pubblicazioni prodotte anche da chi qui scrive è risultato agevole analizzare il territorio. Oggi si può affermare che il territorio è suddivisibile in celle urbane (*Urban Cell*), fondamentali per l'analisi del territorio stesso, perché tale partizione facilita lo studio ed il lavoro e viene dedotta (e confermata) attraverso l'analisi delle diversità ambientali ed urbanistiche.

Per quanto attiene alla metodologia per l'individuazione del perimetro delle *Urban Cell* è opportuno in questa sede ricordare che essa è frutto delle esperienze maturate nel corso della ricerca internazionale di durata triennale (2010-13) *SoURCE - Sustainable Urban Cells* promossa dal Ministero degli Affari Esteri (MAE), elaborata dal CITERA e dall'Istituto Svedese KTH e cofinanziata MIUR-CITERA. Nel corso della ricerca *SoURCE* è stata elaborata e validata sul campo una metodologia che individua quote di tessuto urbano (*Urban Cell*) al cui interno il saldo fra consumi energetici e produzione di energia da fonti rinnovabili sia ricompreso in un predeterminato range, privilegiando quindi gli aspetti energetici all'interno della tematica della sostenibilità ambientale e delle obbligate correlazioni fra questa e l'assetto del territorio. È stato in tal modo possibile, nello specifico del caso di studio che qui di seguito si presenta, individuare quattro *Urban Cell* distinte tra loro in funzione delle caratteristiche edilizie del costruito, dell'uso del suolo, della disponibilità di risorse energetiche

rinnovabili e del numero di abitanti: *Urban Cell* centro storico, *Urban Cell* lungo lago, *Urban Cell* collinare/residenziale e *Urban Cell* di espansione (Cumò, 2012).

Per quanto attiene alle operazioni di raccolta dati, la qualità costituisce un aspetto fondamentale privilegiando in questo studio i dati "primari" in quanto ottenuti da rilevamenti diretti effettuati sul posto. In sintesi, le operazioni di raccolta dati e procedure di calcolo relativa allo stato di fatto è articolata, per quanto riguarda ognuno degli aspetti analizzati, come segue:

1. territorio: dalle foto satellitari e dai dati forniti dall'amministrazione comunale sono state individuate: area complessiva (ha), area spazi aperti (ha); superficie edificata (m²), superficie spazi verdi (m²), numero di abitanti, numero di edifici.
2. clima: dai dati forniti dalla stazione meteorologica di Bracciano-Vigna di Valle, Servizio meteorologico dell'Aeronautica Militare, sono state definite: zona climatica, gradi giorno (GG), temperatura media (°C), piovosità media (mm/anno), radiazione solare media su piano orizzontale (kWh/anno), ventosità media (m/s).
3. edifici: dai rilievi effettuati sul posto sono state individuate le caratteristiche dimensionali, morfologiche e tecniche (anno di costruzione, orientamento, fattore di forma S/V, m², m³, ti-



Figura 1: Urban Cell 1: Centro Storico di Trevignano Romano. Fonte: elaborazione degli autori su immagine da Google Earth.



Figura 2: Vista degli edifici del centro storico del Comune. *Fonte: foto degli autori.*

pologia costruttiva e impiantistica).

4. consumi energetici: dall'analisi delle bollette e dai dati forniti dall'ente di distribuzione locale (riferite al periodo 2016, 2017, 2018), sono stati desunti i consumi energetici elettrici e termici degli edifici espressi in kWh.
5. emissioni di gas serra associate ai consumi energetici degli edifici: la quantità di CO₂ emessa per kWh di energia elettrica prodotta è stata calcolata secondo le modalità indicate dallo strumento kilowattene, sviluppato nel 2015 da Enea sulla base della composizione del mix energetico utilizzato per la produzione di energia elettrica in Italia nell'anno 2017 secondo i dati forniti dal Gestore dei Servizi Energetici (Gse).

Conclusa l'analisi dello stato di fatto si procede con la proposta di intervento per la riduzione complessiva dei consumi energetici, dei rifiuti da C&D e delle emissioni in aria.

La proposta di intervento è stata calibrata tenendo conto: a) delle iniziative già in corso nel Comune; b) delle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM, 2018); c) delle procedure per l'analisi dei costi-benefici degli interventi di retrofit energetico; d) della normativa in Italia per l'accesso alle detrazioni fiscali per le ristrutturazioni edilizie che comportano risparmio energetico (Enea, 2018), e) delle Linee guida per gli interventi in edifici con vincoli storico-architettonici (AAVV, 2015). Infine, f) della normativa per la gestione di rifiuti da costruzione e demolizione. (D.lgs.152/2006).

Obiettivo in estrema sintesi è il bilancio fra i benefici ottenuti dalla riqualificazione energetica e gli impatti causati dalla produzione di rifiuti inevitabilmente prodotti dagli interventi.

3. IL CASO STUDIO: IL COMUNE DI TREVIGNANO ROMANO

Il caso di studio che si presenta consente (oltre che con operatori esteri) di collaborare con i Comuni adiacenti. Situato sulla riva settentrionale del Lago di Bracciano, ad una quota di 173 metri sul livello del mare, ha un'estensione di 39,4 km², di cui il 99,9% sottoposta a vincoli paesaggistici. La popolazione insediabile è pari a 18.167 unità a fronte dei 5.949 della fine del 2010. Il Comune ha visto svilupparsi negli ultimi anni una serie di insedia-

menti residenziali, costituiti per la maggior parte da seconde case.

Come su anticipato, il territorio è stato suddiviso quattro Urban Cell; in questa sede si è scelto di lavorare a campione sulla Urban Cell 1 (termine che verrà utilizzato in seguito) per la sua articolazione urbanistica e per la presenza di numerosi vincoli. Il centro storico presenta una maggiore complessità d'intervento, in considerazione degli aspetti architettonici di tutela e salvaguardia ambientale oltre che per il raggiungimento di standard atti al miglioramento energetico (Fig. 1).

La Urban Cell 1 occupa 67.000 m² (dei 39,4 km² totali, ovvero lo 0,2%); ospita 600 abitanti in 112 edifici. Le caratteristiche climatiche (Zona D, temperature minime 9,6°C, massime 19°C) ed orografiche rendono il territorio privo di forti escursioni di termiche.

Con riferimento ai già menzionati 112 edifici analizzati, costruiti quasi tutti prima del 1945, risulta ad oggi, una disomogeneità edilizia, dimensionale e strutturale ed una alta concentrazione sul fronte del lungo lago, dove si rilevano il maggior numero di ristrutturazioni, realizzate per consentire l'inserimento di diversificate attività commerciali e ricettive (Fig. 2).

Considerando le tipologie degli edifici e la presenza di un vincolo storico, è stato necessario analizzare ognuno dei 112 edifici caso per caso, sottolineando le differenze morfologiche. Tale variabilità, apparentemente governata da logiche estetiche, è in realtà dovuta ad esigenze di ordine climatico, La Urban Cell 1 è costituita da edifici a 3 piani, con superficie media lorda per una singola unità abitativa di 80 m², realizzati in muratura portante in tufo vulcanico, gli spessori murari sono compresi tra 50 e 80 cm rivestiti esternamente in intonaco e/o mattoni faccia a vista. Il 70% degli infissi hanno il telaio in legno e vetri singoli. Si rileva la quasi totalità di impianti di tipologia autonoma con sistemi di riscaldamento, a gas metano, posizionato all'esterno delle abitazioni. Gli impianti elettrici per il condizionamento sono circa 1 ogni 2 unità abitative.

Per ognuno dei 112 edifici del centro storico è emerso quindi che circa il 90% di essi sono alimentati da impianti di riscaldamento costituiti da una caldaia a metano come generatore e da radiatori come terminali. I consumi elettrici e termici sono stati desunti dall'analisi delle bollette energetiche degli edifici per gli anni 2016, 2017 e 2018. Il con-

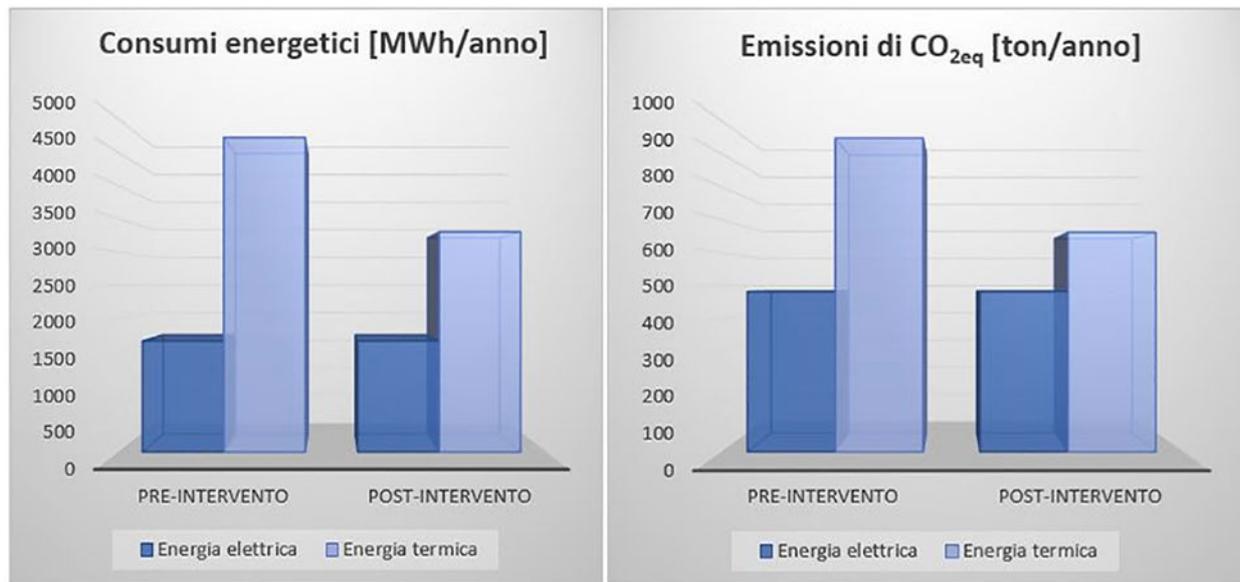


Figura 3: Confronto fra le emissioni in tonnellate/anno di CO_{2eq} causate dai consumi energetici degli edifici durante la fase di esercizio prima e dopo gli interventi di riqualificazione *Fonte: elaborazione degli autori.*

sumo medio annuo di energia elettrica, calcolato come media per le tre annualità, è di 1.665 MWh, mentre il consumo medio annuo di gas naturale è di 476.305,5 Nm³.

L'emissioni di CO_{2eq} associate ai consumi elettrici (tenendo conto del fattore di emissione = 290 grammi per kWh di energia elettrica, ricavato dai dati 2017 del Gestore dei Servizi Energetici e dell'Ente Nazionale per le Energie Alternative Enea) è di circa 483 tonnellate di CO_{2eq} ogni anno. Mentre per i consumi termici (calcolata la quantità media di gas consumata in un anno dal consumo fornito dalle bollette e tendo conto del fattore di emissione pari a 2,75 kg di CO₂ per kg di gas metano) l'emissioni associate sono poco più di 943 tonnellate di CO_{2eq} ogni anno.

Conclusa l'analisi dello stato di fatto si procede con la proposta degli interventi per l'efficienza energetica, la riduzione dei consumi, delle emissioni e la corretta gestione dei rifiuti prodotti in seguito agli interventi.

Durante l'elaborazione della proposta occorre tenere presente che ogni intervento all'interno di un contesto di valore storico, artistico o architettonico, richiede un approccio attento ed un'approfondita valutazione, che abbia come finalità la sua

salvaguardia. In questo contesto, gli interventi per il miglioramento dell'efficienza energetica debbono essere considerati come un mezzo di tutela, piuttosto che una vera modifica del bene stesso. Andrebbe ricordato che per una economia di scala, gli interventi di messa a norma sotto il profilo energetico, quando possibile, andrebbero abbinati con altri interventi di messa a norma, rifunzionalizzazione, manutenzione straordinaria, ecc. Non sarà sempre possibile soddisfare le diversificate esigenze di tutela ed efficienza architettonica, di conseguenza le scelte progettuali saranno il frutto di una giusta mediazione, a seguito di uno studio "caso per caso".

Risulta fondamentale per il caso studio prendere in considerazione solo alcuni degli interventi applicabili per il miglioramento energetico dell'edificio. La procedura da seguire si basa su di azioni preliminari, mirate a una corretta diagnosi energetica, a valle della quale deve essere calcolato l'indice di prestazione energetica dello stato di fatto. La diagnosi deve essere anche utilizzata per valutare le possibili azioni di miglioramento. (UNI/TS 11300-2, 2019).

Questa valutazione di "confronto analisi - valutazione" rappresenta il punto cardine delle scelte

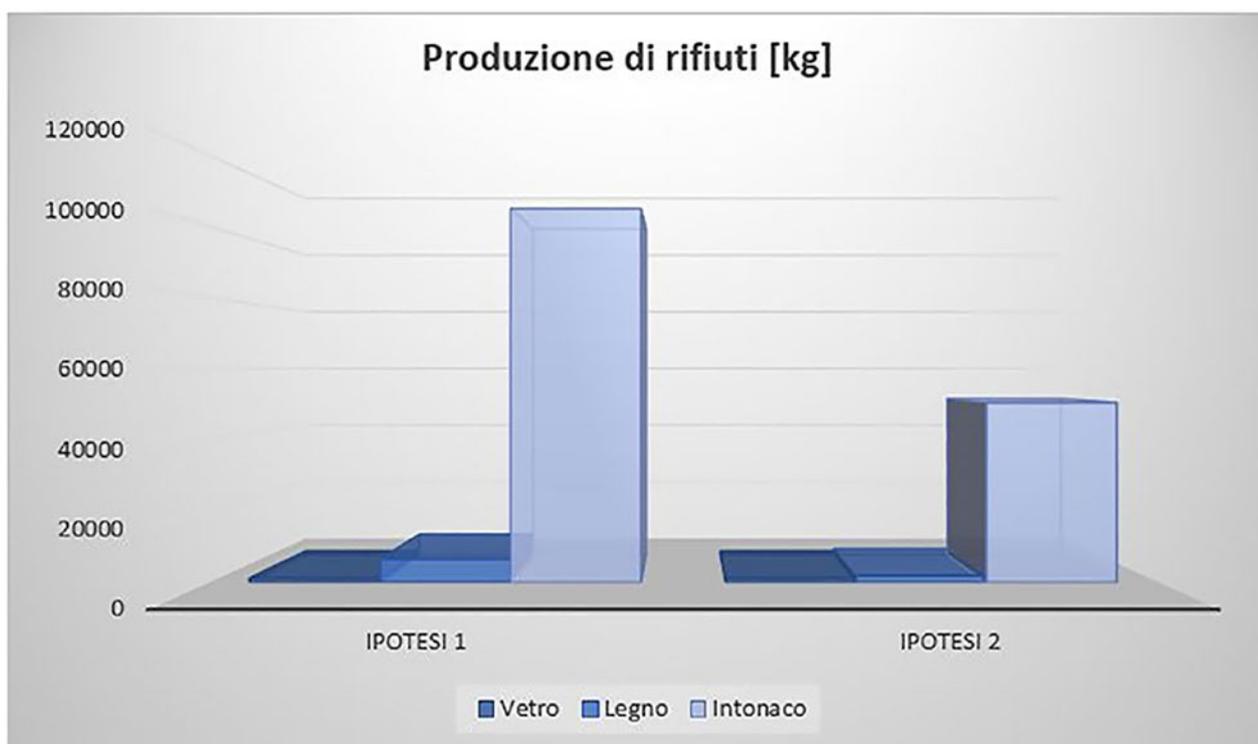


Figura 4: Quantità e tipologia dei rifiuti “evitati” durante gli interventi di riqualificazione energetica degli edifici per ognuno degli scenari ipotizzati: 1) riciclo del 90% della frazione in vetro e recupero del 48% del legno e dell’intonaco; 2) riciclo del 90% del vetro e recupero dell’85% del legno e del 75% dell’intonaco. *Fonte: elaborazione degli autori.*

progettuali per l’individuazione degli interventi. Per quanto attiene alla possibilità di ridurre i consumi di energia da fonte fossile utilizzando le fonti rinnovabili, occorre tenere presente che l’area di studio è caratterizzata da una ventosità media tale da non garantire adeguate condizioni né tecniche né economiche per la produzione di energia da fonte eolica.

Per quanto attiene all’uso dell’energia solare anche se la radiazione incidente rende il territorio adatto, risulta di contro, una scarsa potenzialità di captazione dovuta all’ombreggiamento reciproco dei palazzi e alle zone alberate, oltre ad uno sfavorevole rapporto di cubatura e superficie di copertura disponibile.

In ultimo, la presenza del lago non risulta adatta allo sfruttamento dell’energia idrica, a causa della mancanza di dislivelli naturali e dell’impossibilità di sfruttamento dell’energia cinetica dell’acqua. Da tale valutazione, ne consegue la non idoneità all’installazione di alcun tipo di impianti per la

produzione in loco di energia rinnovabile. Ne consegue la possibilità di intervenire, sugli impianti e sull’involucro; in questa sede sono stati ipotizzati interventi per il miglioramento della prestazione termica dell’involucro edilizio, vincolati però al rispetto delle facciate del centro storico.

La scelta dell’isolante termico ha tenuto conto anche del tipo di materiale, preferendo quelli naturali con conducibilità termica compresa tra 0,030 e 0,045 W/(m*K), spessori fra 4 e 10 cm e densità tra 50 e 150 kg/m³.

Per quanto attiene agli infissi, su 112 edifici analizzati, sono stati eseguiti 67 sopralluoghi; i dati dei restanti edifici sono stati ottenuti direttamente dalle risposte degli utenti attraverso questionari. Del totale degli infissi (909) tutti in legno, l’80% (722) ha vetri singoli e il restante 20% (187) vetri doppi. La trasmittanza media dei primi è compresa tra 5-6 W/(m²*K); l’intervento proposto, consiste nella loro sostituzione, vincolata al rispetto delle caratteristiche morfologiche architettoniche

dei materiali e delle finiture esistenti. Una possibile soluzione quindi è l'utilizzo di infissi in legno a taglio termico con trasmittanza termica compresa fra 1,5 - 2 W/(m²*K) (Fig.3).

La quantità e la tipologia dei rifiuti da C&D prodotta in seguito agli interventi di riqualificazione energetica degli edifici: legno (12,7 ton), vetro (12,6 ton) e intonaco in malta di calce (201,6 ton), sono classificati come rifiuti speciali non pericolosi secondo i codici europei dei rifiuti CER, entrati in vigore nel 2015 (2014/955/UE) e aggiornati nel 2018. Per quanto attiene alla loro gestione, sono stati ipotizzati due scenari tenendo conto delle modalità correnti di gestione che prevedono la separazione dei diversi tipi in frazioni il più omogenee possibili, in quanto dovranno poi essere trattati e smaltiti in modi differenti. Nella prima ipotesi, che potremmo definire di gestione non selettiva: recuperando circa il 48% e conferendo in discarica il restante 52%. La seconda ipotesi prevede la separazione dei diversi tipi attraverso la demolizione selettiva in grado di garantire il riciclo e il recupero del 70-80% degli scarti, riducendo le quantità e trasformandoli da "problema a risorsa" (Fig.4).

4. ANALISI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

Gli interventi di riqualificazione energetica proposti comportano rispettivamente una riduzione dei consumi di energia termica di circa il 15-20% (il 5 e 10% rispetto alla situazione pre-interventi). Ipotizzando un risparmio percentuale pari al 20% per l'intervento di isolamento delle murature e del 10% per quello sugli infissi, si stima una riduzione del consumo medio annuo di gas naturale da 342.940 a 333.414 Nm³. A fronte di questi apprezzabili risultati di riduzioni dei consumi e delle emissioni, ci sono 227 tonnellate di rifiuti che soltanto se adeguatamente gestiti consentono di rendere il metabolismo urbano più efficiente - riducendo i flussi in entrata (energia e materie prime) e quelli in uscita (emissioni di CO_{2eq} e rifiuti) attraverso anche il riutilizzo, almeno di una parte, dei rifiuti prodotti - innescando (almeno in parte) quei processi circolari propri degli ecosistemi naturali.

Gli interventi di riqualificazione energetica sono per ovvi motivi convenienti in quanto garantiscono

riduzione dei consumi e delle emissioni (ancor di più se realizzati per interi comparti urbani e non per singoli edifici); ma, in una ottica di economia circolare, contribuiscono in modo significativo all'efficientamento del metabolismo urbano soltanto se viene garantita, contestualmente, la corretta gestione dei rifiuti prodotti attraverso la demolizione selettiva. Ancor di più se, attraverso tecniche costruttive "a secco", l'off-site e la digitalizzazione si è in grado di gestirli privilegiandone la prevenzione (Fig. 5).

Il metabolismo della Urban Cell 1 del Comune di Trevignano Romano è valutato quindi come il rapporto tra la quantità complessiva annuale di energia da fonte fossile risparmiata, la riduzione delle emissioni di CO_{2eq} e la quantità di rifiuti evitati; se quindi il Comune intenderà procedere, si può ritenere che costituisce un apprezzabile risultato.

Tenendo conto dei vincoli presenti nel territorio per la generazione elettrica da rinnovabili in loco, altre possibili soluzioni per il risparmio di energia, valutati nella loro convenienza tecnico-economica caso per caso secondo un'analisi costi/benefici durante l'intero ciclo di vita, potrebbero includere un mix di soluzioni che coinvolgono sia l'involucro edilizio sia gli impianti (riscaldamento, raffrescamento, illuminazione e il building automation). Inoltre, particolare attenzione andrà posta nella variazione degli stili di vita ovvero al comportamento dell'utenza da valutare nelle sue ripercussioni sui risparmi reali raggiungibili, in quanto sono state rilevate grandi differenze fra le prestazioni energetiche degli edifici calcolate in fase progettuale e le prestazioni effettive misurate successivamente alla realizzazione di interventi di riqualificazione energetica, individuando nell'azione dell'utente la risposta principale.

Aumenta dunque la necessità di rivolgere maggiore attenzione da parte dei progettisti verso il ruolo degli occupanti, occorre considerare l'influenza del cosiddetto *rebound effect*, ovvero "effetto rimbalzo".

Dai risultati delle ricerche scientifiche condotte, emerge che tale fenomeno in alcuni casi può avere un'influenza pari addirittura al 20% sulle prestazioni energetiche effettive del sistema. (Haas & Biermayr, 2000). Con queste "accortezze" il modello proposto può essere esportato in altre realtà nazionali (ma anche internazionali), tenendo conto che il processo di cambiamento del comparto edile prevede alcuni passaggi chiave: digitalizzazione di tutto il processo edilizio; MMC - Moderni

Metodi di Costruzione (tecnologie di produzione off-site per aiutare a minimizzare lo spreco, le inefficienze, i ritardi e gli errori ritrovando qualità e capacità previsionale); un passaggio dai costi di costruzione all'analisi dei costi-benefici in tutto il ciclo di vita dell'edificio. Lo si ripete: al di là di metodi, procedure, calcoli, l'interesse di questo contributo – e l'intento di chi lo ha proposto – risiede essenzialmente nell'aver rifiutato un modello unico e standard (valido ovunque ma con scarsi risultati concreti) a favore invece di un modello contestualizzato alla realtà nazionale che sta mutando

a fronte di nuove esigenze economiche, sociali ed ambientali.

Infine, un doveroso accenno all'ostilità che purtroppo attualmente si registra nei confronti del riciclo dei rifiuti che il decreto sblocca cantieri ha "ingessato" fermandolo alle tipologie, tecnologie e prodotti del 1998 ignorando i numerosi processi innovativi messi a punto in un settore strategico; approvando norme che bloccano lo sviluppo di nuovi impianti e nuove attività industriali che sono pronte a partire e che porterebbero vantaggi ambientali, occupazionali ed economici.



Figura 5: Centro storico, infissi in legno. *Fonte: foto degli autori.*

REFERENCES

- A.A.V.V. (2015). Linee guida di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale. Retrieved from: <http://soprintendenza.pdve.beniculturali.it>
- Butters, C. (2012). A holistic tool for evaluating sustainability. In T. Hass (Ed.), *Sustainable Urbanism and Beyond* (pp.111-116). New York, US: Rizzoli.
- Ciribini, A. (2018). Un decalogo per la cultura industriale nel settore delle costruzioni dell'era digitale. *Ingenio*. <https://www.ingenio-web.it/20519>
- CRESME (2019). XXVI Rapporto congiunturale e previsionale. Il mercato delle costruzioni 2019. Lo scenario di medio periodo 2018-2023. Roma, IT: CRESME.
- Cumo, F., Sferra, A. S., Pennacchia, E. (2015). *Usa Disusa Riuso. Criteri e modalità per il riuso dei rifiuti come materiale per l'edilizia*. Milano, IT: FrancoAngeli.
- Cumo, F. (Ed.) (2012). *La sostenibilità ambientale del comune di Trevignano Romano - dalla Urban Cell alla smart grid*. Roma, IT: Ugo Quintily S.p.A.
- Cumo, F., Astiaso, D., Calcagnini, L., Rosa, F., & Sferra A.S. (2012). Urban policies and sustainable energy management. *J. Sustainable Cities and Society*, 4, 29-34. doi: 10.1016/j.scs.2012.03.003
- Decreto Legislativo 50/2016, Attuazione delle direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, GU Serie Generale n.91 del 19-04-2016 - Suppl. Ordinario n. 10.
- Decreto Legislativo 152/2006, Norme in materia ambientale, G.U. n. 88 del 14 aprile 2006.
- Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 17 gennaio 2018. Norme tecniche per le costruzioni, G. U, Serie generale n. 42 del 20-02-2018
- Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance).
- Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings.
- Enea (2018). Guida per la trasmissione dei dati relativi agli interventi edilizi e tecnologici, detrazioni fiscali per le ristrutturazioni edilizie che comportano risparmio energetico e/o l'utilizzo delle fonti rinnovabili di energia. *Enea*. Retrieved from: <http://www.acs.enea.it/doc/ristrutturazioni.pdf>
- Haas, R., & Biermayr, P. (2000). The rebound effect for space heating Empirical evidence from Austria. *Energy Policy*, 28(6-7), 403-410. doi: 10.1016/S0301-4215(00)00023-9
- Odum, E. P. (1983). *Basic Ecology*. New York, US: CBS College Publishing.
- Wolman, A. (1965). The metabolism of the cities. *Scientific American*, 213(3), 178-190. doi: 10.1038/scientificamerican0965-178
- UNI/TS 11300-2:2019. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali. *UNI Ente Italiano di Normazione*. Retrieved from: <http://store.uni.com/catalogo/index.php/uni-ts-11300-2-2019.html>