

Refurbishment in a life cycle perspective for an eco-oriented public planning

Antonello Monsù Scolaro*, Ernesto Antonini

Highlights

State of the art of energy saving interventions of building stock and limits of procedures for analyzing related environmental impacts.

Overview of the targets achieved in Italy thanks to the tax incentives for the building stock refurbishment.

Evaluation procedure of building materials flows within refurbishment design and urban regeneration plan.

Classification of existing buildings according to their residual performances, material consistency and expected material flows from their refurbishment.

Abstract

The building stock refurbishment is achieving more and more energy savings goals, but the impacts associated with the building activities are not always considered: i.e. the waste' production of construction and demolition as well as from addition of high-tech materials. This paper describes the extension to the urban scale an already applied and developed procedure for individual buildings, which aims to maximizing the exploitation of the existing building components and materials, in a life cycle perspective. The outcome is a tool by which a first survey can be carried on an urban area to guide further refurbishment process.

Keywords

Refurbishment, Energy Saving, Environmental balance, Construction wastes, Reuse

1. ENVIRONMENTAL EFFICACY IN (ENERGY) IMPROVEMENT OF BUILDING HERITAGE

About a third of water and half of the total primary resources extracted in EU are depleted for the construction and maintenance of buildings, causing over 36% of CO₂ emissions. More than a third of the European buildings are more than 50 years old, and almost 75% of the building stock is considered as energy inefficient. Within the 8 EU countries for which data are available, between 1980 and 2005, only 0.1% of the building stock was annually demolished, while new constructions fluctuated between 1 and 1.5% [2], with higher values in Spain, Poland, Ireland and Finland [3].

Due to the old age and low renewal rate, over half of the approximately 210

Antonello Monsù Scolaro

DADU - Dipartimento di Architettura, Design ed Urbanistica Università di Sassari, piazza Duomo 5, Alghero, 0704, Italia

Ernesto Antonini

DA - Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, viale Risorgimento 2, Bologna, 40136, Italia

* Corresponding author
Tel.: +39-331-1715625;
e-mail: amscolaro@uniss.it

million buildings of the European building stock is a potential subject of refurbishment. The growth of the average annual refurbishment rate from 1% to 3% would increase of 50% the construction market turnover and reduce of about 100 TWh/year the energy demand. This means 80% saving of current heating consumption [4], [5] with a subsequent reduction of CHG emissions for residential and non-residential sectors of 62.9 and 73%, respectively [6].

However, building renovation can achieve these effects only by adopting an effective design approach in a life cycle perspective, being able to combine energy saving, cost control and reduction of environmental impacts associated with all the process stages [7]. The management of the related large amount of waste [8], and the environmental impacts of the whole process represent the most critical issues. Indeed, there is a high risk that the primary energy embodied in the materials, necessary to improve the building energy efficiency, could cause negative impacts. This could reduce, sometimes to zero, the environmental benefits expected from the refurbishment [9].

However, the higher the reuse rate of pre-existing components and materials is, the better the environmental profile of the renovation is going to be, as a result of the preserved embodied energy of the building elements, the waste reduction and the lower use of new materials [10].

Since the energy performance of the building operation stage guides much of the design choices today, additional parameters are needed to assess all the environmental impacts related to the intervention [11]. As emphasized by many authors, refining the assessment methods is necessary to allow effective resource balances, making their calculation easy, within a unified regulation framework. [12] [13].

2. SOCIAL, ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC VALUES AND PERSPECTIVES IN THE RENOVATION OF THE ITALIAN BUILT ENVIRONMENT

The Italian building stock accounts for more than 31 million dwellings in over 12 million buildings, 65% of which was built before 1976, when the first energy saving regulation came in force. In 2015, the State Property Agency estimated that among the 47,042 public assets there are 32,691 buildings, of which almost a third (9,137) are available for rehabilitation. The conditions are quite similar for the private building park, only 20% of which was built after 1980.

Then, more than half of the building stock consists of buildings that have exceeded their life cycle for which they were designed and built; so it should

I. MARGINI DI EFFICACIA AMBIENTALE NELLA RIQUALIFICAZIONE (ENERGETICA) DEL PATRIMONIO EDILIZIA

Per la costruzione e il mantenimento in servizio degli edifici, nella UE si consumano circa un terzo dell'acqua e la metà del totale delle risorse primarie estratte, generando oltre il 30% del volume totale dei rifiuti prodotti a scala europea [1]. Inoltre, nella fase d'uso, al patrimonio edilizio europeo è imputato il consumo del 40% di energia e del 36% di emissioni di CO₂; circa il 35% degli edifici ha oltre 50 anni e quasi il 75% dello stock edilizio è considerato energeticamente inefficiente. Tra il 1980 e il 2005, negli 8 Paesi dell'Unione per cui erano disponibili i dati, è stato demolito annualmente solo lo 0,1% del parco edilizio, mentre l'incremento dovuto a nuove costruzioni è oscillato tra l'1 e l'1,5% [2], con valori più alti solo in Spagna, Polonia, Irlanda e Finlandia [3].

A causa dell'elevata età media e del basso tasso di rinnovo, oltre la metà dei circa 210 milioni di edifici che costituiscono lo stock europeo è potenzialmente da sottoporre a riqualificazione. L'aumento dall'1% al 3% del tasso medio annuo di riqualificazione produrrebbe entro il 2030 un incremento del 50% del valore economico del mercato delle costruzioni, una riduzione di circa 100 TWh/annui di fabbisogno energetico, ovvero il risparmio dell'80% degli attuali consumi per riscaldamento [4], [5] e un conseguente abbattimento delle emissioni di GHG del 62,9% nel settore residenziale e del 73% nel non residenziale [6].

Tuttavia, l'intervento di riqualificazione può ottenere questi effetti solo adottando un efficace approccio progettuale in chiave life cycle, capace di combinare risparmio energetico, controllo dei costi e riduzione degli impatti ambientali associati a tutte le fasi del processo [7]. La gestione della grande quantità di rifiuti generati, stimata fra il 30 e il 50% del totale a scala europea [8], e il bilancio ambientale dell'intero processo sono tra gli aspetti più critici. Infatti, è alto il rischio che l'energia primaria incorporata nei materiali con elevate prestazioni di isolamento, impiegati per migliorare l'efficienza energetica dell'edificio, generi impatti negativi che riducono, a volte fino ad azzerarli, i benefici ambientali attesi dalla riqualificazione [9].

Per cui, più elevato è il tasso di mantenimento in servizio e riutilizzo di componenti e materiali preesistenti, più migliora il profilo ambientale dell'intervento di riqualificazione, grazie alla valorizzazione dell'energia incorporata negli elementi costruttivi che vengono preservati, alla riduzione dei rifiuti e al minore ricorso a nuovi materiali [10].

Quindi, all'indicatore della prestazione energetica in esercizio, il cui valore oggi guida buona parte delle scelte progettuali, appare

need an improvement of technological and functional performances. The inadequacy invests not only the technical aspects, but also the usability, especially for housing: today's households have in average two components, while more than 65% of the existing dwellings is of over 80 square meters flats. This is a big challenge for renovation projects, since the scaling could lead to both improve habitability and reduce operating costs [14].

The 27th December 1997, n. 449 Law (art. 1, clauses 5 and 6) has started a strategy for the building renovation in Italy, by establishing a system of tax incentives which supports the energy efficiency upgrading of the existing buildings. The measure consists of a tax deduction for a share of the refurbishment costs: the deduction was up to 41% for the '98 and '99 tax years, then it dropped to 36%, to re-jump to 41% in 2006.

Since 2011, the incentive has been stabilized and in the case of retrofitting or seismic improvement of housing buildings (sites in zones 1 and 2 with high seismic risk), the maximum ceiling was raised to 65%, then reduced to 50% (2018 Budget law) [15].

According to ISTAT, ANCE and CRESME surveys, the renovation of built heritage showed a positive trend from 2014 to 2018, involving in particular the housing refurbishment, which has reached 38% of the total investments in the construction sector.

The expenses for extraordinary maintenance have doubled within the decade 2007-2018, reaching 46.5 billion Euros in 2016, while more than 12.5 million refurbishment operations were carried out from 1998 to 2015, with an investment of 11 billion Euros per year [14].

With regard to energy savings, 60% of the expenses is due to interventions classified as “*Shallow Renovation*” [16], namely 40% for the replacement of 2.6 million window frames (with 6 billion Euro investment); 25% for walls and floors insulation (clause 345a: 2.1 billion Euro); about 20% for heating system replacement (clause 347); about 9% for other measures reducing energy demand for heating (clause 344) [17]. About 80% of the buildings built before the 80's has had at least one intervention, while a quarter of the operations involved the 60's building stock, between detached houses (40%) and multi-story buildings (35%).

However, further stronger actions are needed in order to get the 80% reduction in CO₂ emissions by 2050 according to the EU agreements, improving the energy saving rates at least by 15–25% [16]. This means more retrofitting interventions, involving more in depth both every single building and wide portions of the building stock.

As a result, a relevant energy saving will be achieved, but an increase

opportuno affiancare altri parametri attraverso i quali ottimizzare le strategie di intervento verificando gli impatti ambientali ad esse associati [11]. Come riconosciuto da molti autori, per consentire l'adozione di questa pratica sono necessari affinamenti delle metodiche di valutazione e un deciso miglioramento della loro facilità di applicazione, nel quadro di normative adeguate ad unificare le procedure e regolarne l'utilizzazione [12] e [13].

2. VALORI E PROSPETTIVE ECONOMICHE, SOCIALI ED AMBIENTALI NELLA RIQUALIFICAZIONE DELL'AMBIENTE COSTRUITO IN ITALIA

Dai dati ISTAT, in Italia sono presenti 12.187.698 edifici e oltre 31 milioni di abitazioni, di cui il 15% è stato realizzato prima del 1918 e circa il 65% è precedente al 1976, anno in cui si introducevano i primi criteri sul risparmio energetico. L'Agenzia del Demanio, nel 2015, ha stimato il patrimonio pubblico in 47.042 unità, di cui 32.691 edifici, quasi un terzo dei quali (9.137) da riconvertire; nel nostro Paese, quindi, soltanto il 20% del patrimonio edilizio privato è stato realizzato dopo il 1980. Oltre la metà del parco, è pertanto costituita da edifici che hanno superato il ciclo di vita per cui erano stati progettati e costruiti e richiederebbero interventi di riqualificazione prestazionale e adeguamento funzionale. Nel caso del patrimonio abitativo, l'inadeguatezza riguarda anche la fruibilità: a fronte di nuclei di utenza oggi costituiti per oltre il 60% da non più di due componenti, oltre il 65% degli alloggi ha una superficie superiore agli 80 m², per cui la riqualificazione e il ridimensionamento potrebbero produrre anche un miglioramento dell'idoneità all'uso e una riduzione dei costi di esercizio [14].

In Italia, la strategia per promuovere gli interventi di riqualificazione ha avuto avvio con la Legge 27 dicembre 1997, n. 449 (Art. 1, commi 5 e 6), che ha introdotto per la prima volta un sistema di incentivi fiscali per la riqualificazione del patrimonio edilizio, consentendo una detrazione fino al 41% dei costi di intervento per gli anni d'imposta '98 e '99, poi scesa al 36% e riportata al 41% soltanto per il 2006.

Dal 2011, l'incentivo è stato stabilizzato, e nel caso di interventi di adeguamento o miglioramento sismico di edifici per abitazione (siti nelle zone 1 e 2 ad elevata pericolosità sismica), il tetto massimo è stato portato al 65%, poi ridotto al 50% (legge di Bilancio 2018) [15]. ISTAT, ANCE e CRESME concordano sul trend positivo che dal 2014 al 2018 ha interessato la riqualificazione del parco abitativo italiano, che ha raggiunto il 38% del valore complessivo degli investimenti nel settore delle costruzioni; nel decennio 2007-2018 gli investimenti in manutenzione straordinaria sono raddoppiati, raggiungendo 46,5 miliardi di Euro nel 2016,

of environmental impacts, due both to the generated construction and demolition's wastes and the demand for new materials has to be expected too. For these reasons, the refurbishment should adopt *“a lifecycle approach that optimizes the buildings' useful lifetime, integrating the end-of-life phase in the design and uses of new ownership models where materials are only temporarily stored in the building, which acts as a material bank”* [18]. The energy efficiency goals should be integrated with those of environmental effectiveness, by reducing the material flows -into and out- and exploiting the maximum of the existing buildings' embodied material and energy [19].

3. EXTENSION OF THE SCOPE OF ENVIRONMENTAL IMPACT CONTROL TO URBAN AREAS REDEVELOPMENT

The physical and functional serious decay of the building stock, the urgent rehabilitation needs, the extended phenomena of abandonment and disuse of urban and peri-urban areas, suggest looking at the built environment as a *“urban mine”* [20]. According to a broader environmental vision, the building stock appears in fact as a great amount of resources (energy and matter) to exploit and valorize. The value of these resources can be enhanced by putting them again into the system, adopting suitable methods and operational means in refurbishment projects.

The refurbishment process is often targeted to: a) remove the part of the technological elements that are no longer suitable; b) maintain a share of pre-existing building materials; c) add new materials, layers or elements [21], [22]. Adopting the principles of *“urban metabolism”* [23], a refurbishment intervention can be assumed as a guide for matter and energy flows, whose environmental effects must be assessed, in order to identify the more effective intervention strategies and design choices in terms of reducing the impacts.

Several experimentations of preliminary environmental balance are documented in literature, providing some useful references for performing impact assessment by which different design options can be compared [24], [25]. For this purpose and referring to that protocols, a method have been developed by the Authors, which begins with the estimation of the residual performance of the pre-existing building elements, in order to maximize their exploitation, thus reducing the avoided environmental impacts due to both demolishing and implementing the required features.

This paper summarizes the developed procedure, which consists of the environmental efficiency estimation of a refurbishment project by measuring the embodied energy (MJ/kg) of all building materials and components involved

mentre dal 1998 al 2015, sono stati realizzati oltre 12,5 milioni di interventi (circa 700 mila all'anno) con un investimento di 11mld di euro all'anno [14]. Relativamente al risparmio energetico ottenuto, il 60% del totale è dovuto ad interventi di *“shallow renovation”* [16]: dei quali il 40% per la sostituzione di 2,6 milioni di serramenti (con 6 miliardi di Euro di investimento); il 25% per la coibentazione di pareti e solai (comma 345a: 2,1 miliardi di Euro); circa il 20% per la sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale (Comma 347); circa il 9% per la riduzione del fabbisogno energetico per il riscaldamento dell'intero edificio (Comma 344) [17]. Complessivamente, gli interventi hanno riguardato per l'80% edifici costruiti prima degli anni '80: un quarto di essi ha interessato il patrimonio degli anni '60, distribuendosi fra edifici isolati mono-bifamiliari (40%) e edifici multialloggio (35%).

Tuttavia, per conseguire la riduzione dell'80% delle emissioni di CO₂ entro il 2050 prevista dagli accordi UE, saranno necessarie azioni più incisive, con tassi di riduzione dei consumi sensibilmente superiori rispetto al 15–25% attuale [16] e più consistenti sia per numero che per scala di intervento, da interi edifici a complessi edificati. Ciò, insieme ai positivi impatti attesi in termini di riduzione dei fabbisogni energetici, comporterà invece possibili impatti ambientali dovuti sia alla produzione di rifiuti generati dalle attività edilizie che alla domanda di nuovi materiali. In quest'ottica, gli interventi di riqualificazione dovrebbero adottare *“a lifecycle approach that optimizes the buildings' useful lifetime, integrating the end-of-life phase in the design and uses new ownership models where materials are only temporarily stored in the building that acts as a material bank”* [18]; bisognerebbe dunque integrare gli obiettivi di efficienza energetica con quelli di efficacia ambientale, per ridurre i flussi di materia in uscita e in entrata e massimizzare i materiali e l'energia già incorporati nell'esistente [19].

3. ESTENSIONE ALLA SCALA URBANA DEL CONTROLLO DEGLI IMPATTI AMBIENTALI DELLA RIQUALIFICAZIONE DELL'ESISTENTE

Oggi, sia il degrado del patrimonio edilizio e l'urgente necessità di adeguarlo, sia gli estesi fenomeni di abbandono e disuso, urbani e periurbani, propongono l'ambiente costruito quale miniera urbana [20]; come un insieme di risorse (energetiche e materiche) da valorizzare secondo una sempre più ampia visione ambientale dei processi di intervento.

Questo giacimento di risorse da rimettere a sistema, per stato di conservazione e condizioni operative, permette un'ampia gamma di interventi di riqualificazione, shallow o deep, da cui dipendono i possibili gradi di miglioramento

within the process. This means that both retained or reused and discarded or disposed materials are considered, as well as those which are added with the aim of implementing the performance of the building components until it reaches the required levels. Different design options are compared, showing the relevant effects that the design strategy can induce on the environmental balance. The assessment is limited to the “from cradle to gate” life cycle phase only. The experimental application to some case studies has shown that a plausible “environmental profile” of the refurbishment intervention seems possible to define, suggesting it as a useful mean for guiding the design strategies [26]. The impact intensities calculated in different scenarios confirm the initial assumptions: to equal the performances achieved after intervention, it is environmentally suitable to maintain a greater quantity of materials and components and extending their in-use lifespan. This reduces both the production of demolition waste and the need of adding new materials, that positively affect the overall environmental balance.

Having previously verified the assumption at building scale, this study mainly focuses on its extension to a broader scale, concerning building complexes or portions of built-up fabrics, whose big size and widespread decay bring a great amount of matter and energy when the refurbishment is performed. The aim is providing a useful tool to estimate the availability of valuable resources, in terms of building materials and components that can be harvested within the area, being able to feed the retrofitting process with minimum environmental impact.

The procedure concerns the replication of the protocol which we developed for estimating the residual performance of the building components, by extending its application to all the artifacts available within the area of interest. Dismantled fractions from each building are assumed to be re-used within the same or other artifacts, according to their features and estimated residual performances. This means managing an interchange process of material and components within the intervention area, which is expected to limit the needs for new added materials and to prevent bringing into the landfill a relevant share of elements, as well.

At its first test stage, the evaluation procedure has been limited to the materials needed for the improvement of the building envelope thermal transmittance (W/m^2K), to guarantee the “Minimum Requirements” compliance, as established by the Italian Minister Decree 25.06.2015.

The survey is carried out by previously identifying three main classes of envelope elements, namely vertical elevation structures, roof and ground floor slabs, according to UNI 8290:1981 technical specification.

prestazionale. Operativamente, il processo di intervento è riconducibile ad uno schema che può prevedere: a) l'eliminazione di una quota più o meno grande di elementi non più tecnologicamente idonei; b) il mantenimento in uso di una altrettanto variabile quota di materia preesistente; c) l'aggiunta di nuovi materiali, strati ed elementi [21], [22]. Quindi, dall'edificio al comparto urbano, le attività di recupero mobilitano grossi flussi di materia ed energia che, secondo un concreto criterio di “metabolismo urbano” [23], oggi impongono un'accurata valutazione degli effetti ambientali associati, da svolgere in parallelo all'individuazione delle strategie di intervento e alla progressiva definizione delle scelte progettuali.

In letteratura, a scala di singolo edificio, sono documentate sperimentazioni di bilanci ambientali preventivi all'intervento di riqualificazione, allo scopo di fornire elementi utili per considerare gli impatti ambientali associati alle diverse opzioni progettuali [24] e [25]. Un approccio simile è stato sviluppato dagli Autori a partire dalla stima delle prestazioni tecnologiche residue degli elementi tecnici preesistenti e del potenziale di impatti ambientali evitati grazie al loro mantenimento.

La procedura prevede di stimare l'efficienza ambientale di un intervento di riqualificazione misurando l'indicatore di energia incorporata in materiali e componenti (embodied energy, MJ/kg), che viene determinata considerando sia quelli mantenuti o reimpiegati, sia quelli dismessi e smaltiti, sia quelli aggiunti per l'implementazione prestazionale degli elementi tecnici, limitandosi per questi ultimi, soltanto alla fase “from cradle to gate” del loro ciclo di vita. L'applicazione sperimentale a diversi casi studio ha dimostrato la possibilità di stilare un plausibile “profilo ambientale” dell'intervento di riqualificazione in base al quale orientare le ipotesi progettuali di configurazione degli elementi tecnici [26]. Le intensità degli impatti calcolati nei diversi scenari confermano le ipotesi iniziali: a parità di prestazioni funzionali conseguite post-intervento, mantenere in esercizio una maggiore quantità di materiali e componenti ancora idonei, prolungandone la vita utile, permette di ridurre sia la produzione di rifiuti da demolizione che l'aggiunta di nuovi materiali, che incidono maggiormente sul bilancio ambientale complessivo.

L'ipotesi qui esplorata è se sia possibile applicare quell'approccio a valutazioni da eseguire su una scala più ampia, riguardante complessi di edifici o porzioni di tessuto edificato che, in ragione dello stato di inadeguatezza diffusa del patrimonio costruito, mettono in gioco grandi quantità di materia ed energia durante i processi di riqualificazione. L'obiettivo è di disporre di uno strumento utile a stimare la disponibilità di risorse valorizzabili, ovvero di materiali e

The operational procedure concerns the following stages:

- visual inspection of the buildings, identification of the building elements. If the direct survey is impossible, building elements are assumed by analogy according to the literature;
- check of building elements decay and assignment of each of them to a class of material consistency, according to the percentage of missing material in relation to the integral elements;
- calculation of the thermal transmittance;
- evaluation of the matter flows, relating to: 1) demolition and dismantling of materials and components no longer eligible; 2) addition needed to restore the original building element integrity and/or to get the required thermal transmittance.

The quantification of the matter flows is estimated on the basis of standard configurations retrieved from literature for each element [27]. Each building can be thus assigned to a class of material consistency, referring to the residual performance of its constituent elements. By iterating the calculation for each building, the entire urban sector can be classified.

By retrieving two or more standard suitable solutions from the literature, different intervention scenarios can be simulated, comparing their effects at both the building scale and the sector or area scale. This can promote the selection of a set of options able to reduce/reuse/recycle the demolition waste and to optimize the exploitation of the existing resources, according to an “urban mining approach”, also in a circular economy perspective.

4. FIRST EXPERIMENTATIONS

Due to its high rate of building’ abandonment, the Municipality of Samugheo (OR) have been selected for a first testing of the protocol application.

componenti edilizi presenti in aree edificate caratterizzate da estesi fenomeni di degrado fisico, per poter orientare processi di riqualificazione a minimo impatto.

La procedura consiste nel replicare la verifica delle prestazioni residue dei componenti edilizi del singolo edificio a tutti i manufatti presenti nell’area di interesse. Il miglioramento prestazionale di ciascun edificio, obiettivo dell’intervento di riqualificazione, è raggiunto attraverso il reimpiego di frazioni dismesse da altri manufatti o l’interscambio di componenti fra uno e l’altro di essi, riducendo la quota di nuovi materiali aggiunti. I risultati permettono di mappare i flussi locali di materia - e conseguentemente di energia incorporata - attivabili e le movimentazioni infra-comparto, in un’ottica di circolarità delle risorse. La procedura si limita soltanto all’analisi dei flussi di materia dovuta al miglioramento della trasmittanza termica (W/m^2K) degli involucri edilizi secondo i parametri del DM 25.06.2015 “Requisiti minimi”. Per chiarezza dimostrativa, si interessano soltanto gli elementi tecnici di involucro ovvero le murature perimetrali e le chiusure superiori, individuate secondo la norma UNI 8290:1981. Operativamente, la procedura si basa su:

- rilievo a vista degli edifici e delle soluzioni costruttive. Qualora non sia possibile il rilievo diretto si assumono configurazioni costruttive note in letteratura riferite all’area geografica di appartenenza;
- verifica del degrado fisico degli elementi tecnici e attribuzione di una classe di consistenza materica in funzione della percentuale di materia mancante rispetto all’elemento integro;
- stima della trasmittanza termica residua degli elementi tecnici;
- stima del potenziale flusso di materia relativo a: 1) demolizioni e smontaggi di materiali e componenti non più idonei; 2) materiali da aggiungere per ripristinare l’integrità dell’elemento tecnico



Figure 1. (a, b) Inner city and urban expansion (red and fuchsia line).(drawing by Paloma Deidda).

Samugheo is located in western Sardinia, within the historical sub-region of “Barbagia of Mandrolisai”.

The settlement structure has remained unchanged until the 60’s of XX century, when the urban area begun to enlarge, despite a negative demographic trend: from about 4000 inhabitants in the 70’s, the population downed to less than

*e/o raggiungere la trasmittanza termica richiesta.
Le soluzioni costruttive di riferimento in base alle quali si verificano i flussi di materia necessari al ripristino degli elementi tecnici, si rifanno a repertori di soluzioni-tipo [27].
Tenendo conto della prestazione residua degli elementi tecnici, è possibile assegnare ogni edificio ad*

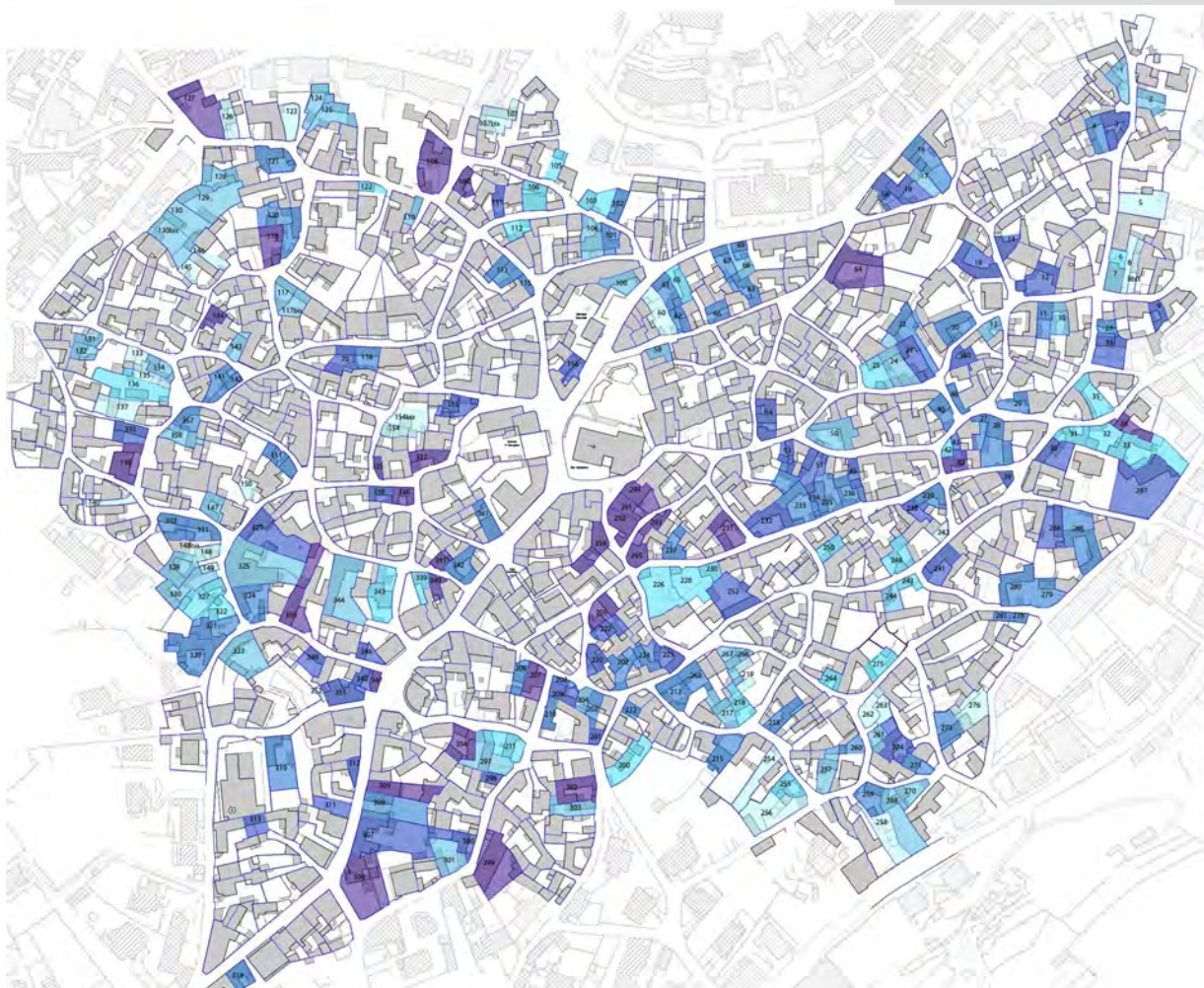


Figure 2. Mapping of material consistency of disused buildings (drawings by Paloma Deidda)idda).






Classe di Consistenza materica	A (100-81)%	B (80-61)%	C (60-41)%	D (40-21)%	E (20-0)%
	71 edifici	43 edifici	63 edifici	26 edifici	14 edifici
					

Figure 3. Classification of disused buildings (drawings by Paloma Deidda).

3000 today, due to a low birth rate and significant migration flows of the inhabitants, who have started looking for work elsewhere.

The main inhabited center covers an area of about 22.5 ha, with 69 blocks of which 18 belong to the city center (area “A”), while the remaining 51 are located within the expansion zones “B1” and “B2” (fig. 1), which hosts around 60% of the population (around 1,800 inhabitants).

The survey has mapped 718 buildings, of which 497 in use (even if not all continuously) and the remaining 221 not in use (217 residential and 4 commercial).

The analysis of material flows was carried out only on abandoned buildings in homogeneous areas A, B1 and B2, assessing material consistency and residual performances, in order to establish at which level these buildings can be classified as “urban mine”.

The buildings have been classified from A to E based on the calculated indexes for each building, assuming that small variation in consistency does not affect the residual performances (fig. 2 and 3). The mapping gave a first level of knowledge at urban scale, allowing to combine the variety of situations detected.

Regarding the performance improvement of the building envelopes, the estimation of matter flows has been done by selecting a sample of 10% of the buildings of each class, 7 building for the A Class; 4 for B; 6 for C; 3 for D and 2 for E. Special attention has been paid to ensure a suitable level of representativeness of the samples, with respect to the very variable performance levels recorded within each category.

The thermal transmittance (W/m^2K) of external walls and roofs of each building was estimated referring to standard solutions retrieved within the repertory [28]. The external walls, which are mostly made of trachyte stone blocks (rough or square) from 50 to 60 cm thick, generally have both high thermal transmittance ($U = 2,11-2,49 W/m^2K$) and high thermal capacity, which assures over 14 hours of thermal wave lag in summer.

The same approach has been adopted for the roofs, which have mostly a wooden main structure, and also a wooden secondary structure for the wider spans, all covered by simple roofing tiles; without insulation, the roofs have thermal transmittances ($U > 4,5 W/m^2K$) and phase shift ($\Phi < 3h$) much higher than the standard limits.

For both vertical envelope and roofs, based on standard constructive repertory solutions, have been evaluated as percentage:

- the material flows due to the removals or dismantling of materials decayed (loss of materials);

una classe di consistenza materica, schedando progressivamente un comparto urbano in funzione dei flussi di materia conseguenti ad un intervento di riqualificazione e delle possibili compensazioni tra edifici in chiave circular. Inoltre, anche attraverso il confronto tra due o più opzioni di repertorio, è possibile simulare differenti scenari di intervento valutando gli effetti sia a scala di singolo edificio che (soprattutto) di intero comparto, definendo, in ottica urban mining, uno schema complessivo delle possibilità di riduzione/riutilizzo/riciclo dei rifiuti da demolizione ed ottimizzazione delle risorse presenti.

4. PRIME SPERIMENTAZIONI

La procedura sperimentale di mappatura dei flussi potenziali di materia, in ragione dell'alto tasso di abbandono del costruito, è stata applicata al Comune di Samugheo (OR), situato nella sub-regione storica della Barbagia del Mandrolisai. La struttura insediativa si è mantenuta pressoché invariata fino agli anni sessanta del XX Secolo, quando l'area insediata ha iniziato ad espandersi, nonostante un trend demografico negativo: dai circa 4000 abitanti degli anni '70, la popolazione si è oggi ridotta del 25%, per bassissima natalità e abbandono del paese in cerca di lavoro altrove. Il nucleo centrale dell'abitato copre un'area di circa 22,5 ha in cui ricadono 69 isolati di cui 18 appartenenti al centro storico in zona omogenea “A”; i restanti 51 sono distribuiti all'interno delle zone omogenee “B1” e “B2” (fig. 1), dove risiede circa il 60% della popolazione (1.800 abitanti).

L'indagine ha permesso una preliminare mappatura di 718 edifici, dei quali 497 in uso (anche se non di continuo) e i restanti 221 in disuso, di cui 217 ad uso abitativo e 4 a destinazione commerciale.

L'analisi dei flussi di materia in funzione della consistenza materica e dei residui di prestazione è stata eseguita soltanto sugli edifici in abbandono nelle aree omogenee A, B1 e B2 assumendo tali manufatti come una concreta “miniera urbana”. La mappatura ha restituito un primo livello di conoscenza a scala urbana dello stato di consistenza degli edifici (fig. 2 e 3) suddivisi per classi, da A ad E, secondo valori di scarto del 20% tra ogni classe per aggregare la varietà delle fattispecie incontrate, considerato che piccole variazioni della consistenza materica non influiscono sul calcolo delle prestazioni residue.

La stima dei flussi di materia indotti dal miglioramento prestazionale degli elementi tecnici di involucro è stata condotta selezionando un campione di edifici pari al 10% di ogni classe: 7 per la A; 4 per la B; 6 per la C; 3 per la D e 2 per la E, allo scopo di rappresentare situazioni e livelli prestazionali molto variabili all'interno di ogni categoria. Il valore di trasmittanza termica (W/m^2K) delle murature esterne, della copertura e dei solai di base di ogni

- the material flows due to restore lacks of matter in the building element (addiction of materials).

The value of 100% shows that is unnecessary any addition of material: i.e. in case of simple maintenance interventions on surfaces.

In addition, have been calculated as percentage the material flows needed to reach thermal insulation limits, as the difference between the required levels and the features provided by the existing configurations: i.e. the value of 100% indicates the need to fully integrate the thermal insulation the building' element considered.

A set of indexes has been therefore associated to each building and the values are always expressed in percentage compared to the indicator investigated: material consistency; residual performance; incoming and outgoing matter flows.

Three examples of data summaries are showed in the table below, referred to buildings belonging to different categories. The table shows that both the levels of residual performance and matter flows can differ within the same

edificio è stato stimato riferendosi anche a soluzioni costruttive da repertorio [28]. Le murature esterne, generalmente in blocchi di trachite sbozzati o squadrati, hanno un alto valore di trasmittanza termica ($U = 2,11-2,49 \text{ W/m}^2\text{K}$), ma presentano mediamente un buon comportamento estivo dovuto a buoni valori di sfasamento termico superiori alle 14 ore, grazie allo spessore delle murature ($>50/60\text{cm}$). Le coperture, in prevalenza realizzate su struttura principale e secondaria (per le luci maggiori) in legno, con semplice manto di tegole, senza isolamento, presentano trasmittanze ($U > 4,5\text{W/m}^2\text{K}$) e sfasamenti ($\phi < 3\text{h}$) molto superiori ai limiti di norma.

Sulla base delle soluzioni costruttive-tipo di repertorio, per le strutture di elevazione verticale e le coperture sono stati valutati in percentuale:

- i flussi dovuti a rimozioni di materiali in avanzato stato di degrado;
- i flussi dovuti al risarcimento di vuoti o al ripristino della configurazione originaria dell'elemento costruttivo. Il valore 100% si riferisce all'elemento tecnico integro, quindi per valori inferiori al massimo crescono i flussi di

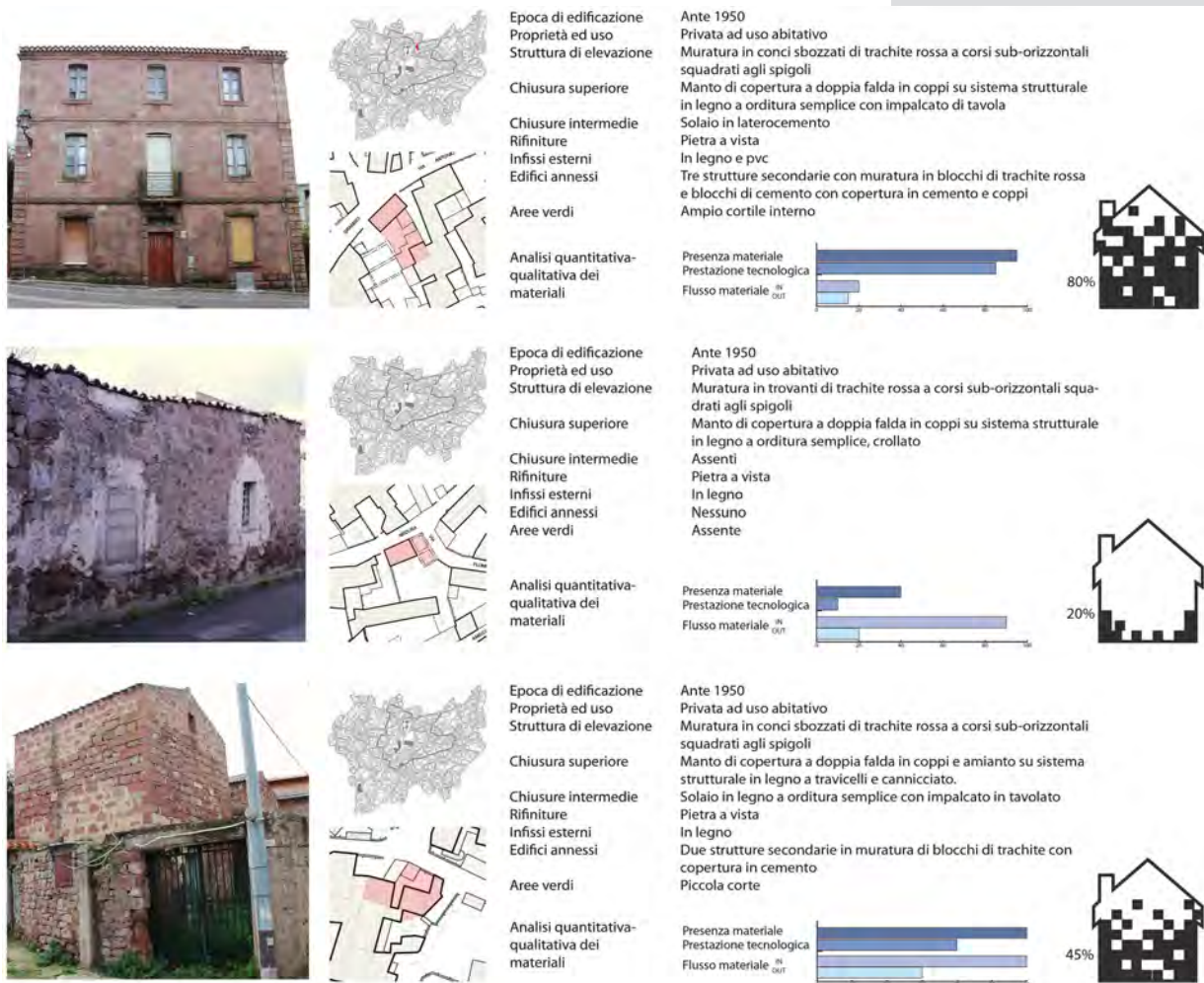


Figure 4. Filing of building: material consistency; residual performances; in and out material flow (drawings by Paloma Deidda).

class of material consistency, depending on the preservation/decay status of the building elements. A low material consistency levels (10-20-45%) appears to be quite linearly related to the incoming matter flows. On the other hand, significant outgoing matter flows can origin from buildings classified as having medium-high material consistency (60%), which are often affected by extensive decays, that may require input flows equal or even bigger than the share of preserved material, to compensate for demolitions or removals of incongruous elements. Similarly, high levels of material consistency does not always correspond to equally high residual performance.

Finally, significant matter flows incoming to buildings with low material consistency (< 10/15%), may suggest considering their complete dismantling and the reuse reclaimed materials in other buildings, by applying the “building as a mining” option.

5. CONCLUSIONS

Starting from every single building, by iterating the described procedure, the entire urban area or sector can be analyzed, drawing a sort of first eco-oriented mapping. Therefore, as urban regeneration interventions lead to extensive refurbishment of existing buildings, the extending procedure to the large scale would allow the real flow of building materials to be assessed. In addition, these flows could help to optimize the materials embodied in the built environment, both on the basis of an urban mining perspective and a real resources’ circularity. However, mutual relations between constructive configurations, pre-existing materials and residual performances would require the introduction of the embodied energy parameters to accurately evaluate the life cycle’s impacts associated with design choices.

The procedure can also be implemented to include other indicators and indexes relating to structural issues and new functions alternatives. In closing, it could become a support tool to better define the regeneration strategies taking into account the environmental impacts associated with.

6. REFERENCES

- [1] COM(2014) 445 final, *Opportunità per migliorare l'efficienza delle risorse nell'edilizia*. Bruxelles
- [2] Itard L., Meijer F., *Towards a sustainable Northern European housing stock: figures, facts and Future*. Amsterdam: IOS Press, 2008.
- [3] Artola I., [et al.], *Boosting Building Renovation: What potential and value for Europe?* Brussels: ITRE, 2016.
- [4] Ecofys, *Renovation tracks for Europe until 2050 – building renovation in Europe – what are the choices?* Köln, DE, 2012.
- [5] Ecofys, *The role of energy efficient buildings in the EUs future power system*. Köln, DE, 2015.
- [6] Openexp. *Energy Transition of the EU Building Stock. Unleashing the 4th Industrial*

materia in ingresso.

Invece, con riferimento a soluzioni-tipo per il raggiungimento dei limiti di trasmittanza termica ammissibili degli involucri murari e delle coperture, è stato calcolato il valore percentuale di prestazione da integrare. Il valore 100% indica che la prestazione “isolamento termico” raggiunge valori ininfluenti che richiedono una radicale integrazione prestazionale.

Quindi, per ogni edificio analizzato è stata redatta una scheda riportante in percentuale l'integrità materica; il residuo di prestazione riferito soltanto agli involucri edilizi; le percentuali di flusso di materia - in e out - come sopra espressi. Si riportano di seguito tre schede delle cinque categorie analizzate, in cui le percentuali sono sempre espresse in valore assoluto rispetto all'indicatore indagato: consistenza materica; prestazione residua; flusso di materia in ingresso e in uscita (fig. 4).

Dalla schedatura emerge che non sempre all'interno della stessa classe di consistenza materica si riscontrano identici livelli di prestazioni tecnologiche residue né analoghi flussi di materia: ciò dipende dallo stato di conservazione/degrado degli elementi tecnici che influenza la prestazione residua e induce flussi di materia - in e out - molto diversi. Generalmente, ad un edificio di bassa consistenza materica (10-20-45%), corrispondono consistenti flussi di materia in ingresso, quasi linearmente proporzionali alla materia mancante necessaria al ripristino della configurazione originale. Grandi flussi di materia in uscita possono essere associati ad edifici di consistenza materica medio-alta (60%) a causa di estesi degradi o dissesti, che possono richiedere flussi in ingresso anche superiori al 50% per compensare le demolizioni o le rimozioni di materiali incongrui. Analogamente, ad una consistenza materica alta non sempre corrispondono linearmente prestazioni residue altrettanto alte. In ultimo, nel caso di alti flussi di materia in ingresso per il ripristino di edifici a bassa consistenza materica (< 10/15%), è possibile valutare l'ipotesi dello smontaggio e reimpiego dei materiali in altri edifici, realizzando l'opzione “edificio cava”.

5. CONCLUSIONI

La procedura sviluppata permette di disegnare alla scala urbana una prima mappatura dell'esistente eco-orientata, utile a stimare i flussi di materia indotti dagli interventi di riqualificazione degli involucri edilizi ed ottimizzare le risorse materiche preesistenti in ottica urban mining. Tuttavia, le mutue relazioni tra configurazioni costruttive, materiali preesistenti e prestazioni residue richiederebbe l'introduzione dell'indicatore di energia incorporata per valutare adeguatamente in chiave life cycle gli impatti associati alle scelte di intervento, al momento invece

- Revolution in Europe. 2016
- [7] Pombo O., [et al.], The challenge of sustainable building renovation: assessment of current criteria and future outlook. «Journal of Cleaner Production», 123 (2016), p. 88-100.
- [8] EEA, The European Environment state and outlook 2010. Materials resources and waste. Luxembourg, 2012.
- [9] Munarim U., Ghisi E., Environmental feasibility of heritage buildings rehabilitation, «Renewable and Sustainable Energy Reviews», 58(2016), pp. 235-249.
- [10] CEN, Conservation of Cultural Heritage – Guidelines for Improving the Energy Performance of Historic Buildings, TC 346, EN 16883:2017.
- [11] BRE, Sustainable refurbishment – how to better understand, measure and reduce the embodied impacts, <<https://www.bre.co.uk/filelibrary/Briefing%20papers/98660-Sustainable-Refurb-Briefing-Paper.pdf>> (ultima consultazione 24.04.2016).
- [12] Bocken N.M.P., [et al.], Taking the circularity to the next level: a special issue on the circular economy. J. Ind. Ecol. 21(2017), p.476-482.
- [13] Lacy P., Rutqvist J., *Waste to Wealth: the Circular Economy Advantage*. New York: Palgrave Macmillan, 2015.
- [14] ENEA, Rapporto Annuale Efficienza Energetica. Roma: Unità Tecnica Efficienza Energetica, 2016
- [15] Il recupero e la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio: una stima dell’impatto delle misure di incentivazione - Documentazione e ricerche - Prima edizione, n. 32, 19 novembre 2018. Roma: Camera dei deputati
- [16] Ecofys, Deep renovation of buildings. An effective way to decrease Europe’s energy import dependency. Köln, DE, 2012.
- [17] ENEA, Rapporto Annuale Efficienza Energetica. Roma: Unità Tecnica Efficienza Energetica, 2018
- [18] Leising E., [et al.], Circular Economy in the building sector: Three cases and a collaboration tool. «Journal of Cleaner Production», 176 (2018), p. 976-989.
- [19] European Environment Agency, More from less — Material resource efficiency in Europe. 2015 overview of policies, instruments and targets in 32 countries, Report No 10/2016. Copenhagen.
- [20] Zanella E., Castiglioni A., *Urban mining-Rigenerazioni Urbane*. Mantova: Corraini Edizioni, 2016.
- [21] Douglas J., *Building Adaptation*. Oxford Burlington: Elsevier, UK, 2006.
- [22] Dirk E., [et al.], *Building from waste. Recovered materials in architecture and construction*. Basel: Birkhauser Verlag GmbH, DE, 2014.
- [23] Russo M., Ripensare la resilienza, progettare la città attraverso il suo metabolismo, «Technè», 15 (2018), p. 39-44.
- [24] Menzies G.F., Embodied energy considerations for existing buildings, Technical Paper 13 of Historic Scotland Research, Heriott-Watt University, Edinburgh, 2011.
- [25] Filippi M., Remarks on the green retrofitting of historic buildings in Italy, «Energy and Buildings», 95(2015), p. 15-22.
- [26] Monsù Scolaro A., Antonini E., Valutazione della sostenibilità ambientale di interventi di riqualificazione edilizia, secondo un approccio LCA. In: Colloqui.AT.e. 2018 - Edilizia Circolare, Cagliari 12-14 settembre 2018, a cura di Cuboni F., Desogus G., Quaquero E. Monfalcone: Edicom, 2018.
- [27] AA.VV. *Manuale del recupero di città di Castello*. Roma: DEI, 2011.
- [28] Ortu G., (a cura di), *Atlante delle culture costruttive della Sardegna*, vol. 1 e 2. Roma: DEI, 2011.

assunte da soluzioni di repertorio. Questo è l’obiettivo verso il quale ulteriormente estendere la procedura, anche per interpretare gli attuali orientamenti normativi che spingono sempre più verso la verifica dell’efficienza ambientale degli interventi di riqualificazione edilizia e urbana.