

# TECHNE

Journal of Technology for Architecture and Environment

16 | 2018

Poste Italiane spa - Tassa pagata - Piego di libro  
Aut.n. 072/DCB/FI/VF del 31.03.2005

on line ISSN 2239-0243



# MATERIA È PROGETTO

matter is design

SIT<sub>dA</sub>

# TECHNE

Journal of Technology for Architecture and Environment

Issue 16  
Year 8

**Director**  
Maria Teresa Lucarelli

**Scientific Committee**  
Tor Broström, Gabriella Caterina, Pier Angiolo Cetica, Gianfranco Dioguardi, Stephen Emmitt, Paolo Felli, Luigi Ferrara, Cristina Forlani, Rosario Giuffré, Helen Lochhead, Mario Losasso, Lorenzo Matteoli, Gabriella Peretti, Fabrizio Schiaffonati, Maria Chiara Torricelli

**Editor in Chief**  
Emilio Faroldi

**Editorial Board**  
Ernesto Antonini, Eliana Cangelli, Tiziana Ferrante, Massimo Lauria, Elena Mussinelli, Riccardo Pollo, Marina Rigillo

**Assistant Editors**  
Alessandro Claudi de Saint Mihiel, Paola Gallo, Francesca Giglio, Maria Pilar Vettori

**Editorial Assistants**  
Viola Fabi, Serena Giorgi, Luca Magnani, Valentina Puglisi, Flavia Trebicka

**Graphic Design**  
Veronica Dal Buono

**Editorial Office**  
c/o SITdA onlus,  
Via Toledo 402, 80134 Napoli  
Email: [redazionetechne@sitda.net](mailto:redazionetechne@sitda.net)

**Issues per year:** 2

**Publisher**  
FUP (Firenze University Press)  
Phone: (0039) 055 2743051  
Email: [journals@fupress.com](mailto:journals@fupress.com)

Journal of SITdA (Società Italiana della Tecnologia dell'Architettura)

# SIT<sub>d</sub>A

Società Italiana della Tecnologia  
dell'Architettura



# MATERIA È PROGETTO MATTER IS DESIGN

## NOTA NOTE

- 7 | **Nota**  
**Note**  
Maria Teresa Lucarelli

## PROLOGO PROLOGUE

- 9 | **La materia architettonica come nota musicale del costruire**  
*Architectural matter as musical note of construction*  
Emilio Faroldi

## DOSSIER a cura di/edited by Ernesto Antonini, Massimo Rossetti, Francesca Giglio

- 17 | **Introduzione**  
**Introduction**  
Ernesto Antonini, Massimo Rossetti, Francesca Giglio
- 20 | **L'estetica del green: l'espressione materica nell'architettura sostenibile**  
*The aesthetics of green: material expression in sustainable architecture*  
Blaine Brownell
- 29 | **Off-cells: un luogo del lavoro per le Foreste Casentinesi**  
*Off-cells: a place of work for Casentinesi Forests*  
Simone Gheduzzi

## SCATTI D'AUTORE ART PHOTOGRAPHY a cura di/edited by Marco Introini

- 43 | **Densità**  
**Density**

## CONTRIBUTI CONTRIBUTIONS

### SAGGI E PUNTI DI VISTA ESSAYS AND VIEWPOINTS

- 60 | **Per un archivio dei materiali da demolizione nei territori della ricostruzione**  
*A repository of recovered materials from post-earthquake reconstruction areas*  
Filippo Angelucci, Cristiana Cellucci, Michele Di Sivo, Daniela Ladiana
- 68 | **Due modelli costruttivi in legno: tradizione senza innovazione o innovazione senza tradizione?**  
*Two timber construction models: tradition without innovation or innovation without tradition?*  
Paola Boarin, Marta Calzolari, Pietromaria Davoli
- 79 | **Gli architetti dell'altro materialismo**  
*The architects of the other materialism*  
Filippo Bricolo
- 86 | **Progettare il ciclo di vita della materia: nuove tendenze in prospettiva ambientale**  
*Designing the life cycle of materials: new trends in environmental perspective*  
Andrea Campioli, Anna Dalla Valle, Sara Ganassali, Serena Giorgi
- 96 | **Architettura on demand. Nuovi scenari per il progetto e l'industria delle costruzioni**  
*Architecture on demand. New scenarios for the design project and the construction industry*  
Eliana Cangelli, Michele Conteduca
- 105 | **Il ruolo dell'innovazione nella definizione di nuovi paradigmi formali in Architettura**  
*The role of the innovation in the definition of new formal paradigms in Architecture*  
Fabio Conato, Valentina Frighi
- 113 | **Il progetto del bianco e la materia dell'architettura**  
*The design of white and the architecture matter*  
Paolo De Marco, Antonino Margagliotta

- 122 | Low Tech e materiali non convenzionali. Misura, Tempo, Luogo  
*Low Tech and unconventional materials. Measure, Time, Place*  
Francesca Giglio
- RICERCA E SPERIMENTAZIONE *RESEARCH AND EXPERIMENTATION*
- 131 | Algoritmi Genetici per il Project Management e la progettazione esecutiva nelle costruzioni  
*A Genetic Algorithm-based approach for Project Management and developed design of construction*  
Sara Tiene, Marco Alvise Bragadin, Andrea Ballabeni
- 142 | Superuse e upcycling dei materiali di scarto in architettura: progetto e sperimentazione  
*Waste materials superuse and upcycling in architecture: design and experimentation*  
Serena Baiani, Paola Altamura
- 152 | Integrazione di sistemi termo-attivi nella rigenerazione dell'involucro edilizio in area Mediterranea  
*Thermally active surface integration in the regeneration of building envelope in Mediterranean area*  
Alessandra Battisti, Egle Ministeri
- 164 | Schermare dinamicamente. Osservazione, riscontro e progetto  
*Shading dynamically. Observation, feedback and design*  
Roberto Bolici, Carlo Micono
- 177 | BLOCK\_PLASTER: involucro in laterizio a elevate prestazioni energetico-ambientali  
*BLOCK\_PLASTER: high energy/environmental performance brick building envelope*  
Corrado Carbonaro, Silvia Tedesco, Stefano Fantucci
- 187 | Progetto di un sistema di rivestimento metallico per l'involucro edilizio  
*Design of a metal cladding system for building envelopes*  
Massimiliano Condotta, Valeria Tatano
- 196 | Processi virtuosi: sistemi di copertura in bio-composito per la rigenerazione del territorio  
*Virtuous processes: biocomposite roofing systems for territorial re-generation*  
Vittorio Fiore, Stefania De Medici, Carla Senia
- 207 | Metodologie integrate di valutazione applicate ai materiali di un edificio ad alta quota  
*Integrated assessment methods applied to the materials of a high-altitude building*  
Roberto Giordano, Francesca Thiebat, Valentina Serra, Ema Madalina Budau
- 218 | Sviluppo di un prototipo di facciata continua con comportamento dinamico (SmartSkin)  
*Development of a curtain wall prototype with dynamic behaviour (SmartSkin)*  
Luca Guardigli, Francesco Della Fornace, Oscar Casadei, Fabio Frani, Luca Nicolini, Gian Marco Revel, Marco Arnesano
- 226 | Embodied Energy e prestazione residua: misurare il valore ambientale dell'esistente  
*Embodied Energy and residual performances: assess environmental value of existing buildings*  
Antonello Monsù Scolaro
- 235 | Le membrane strutturali in architettura: una soluzione eco-efficiente per il futuro?  
*Structural membranes in architecture: an eco-efficient solution for the future?*  
Carol Monticelli, Alessandra Zanelli
- 247 | Efficiamento dell'involucro edilizio: interazione tra energia inglobata ed energia operativa  
*Improving building envelope efficiency: interaction between embedded energy and operational energy*  
Elisabetta Palumbo, Stefano Politi
- 258 | Materiali e metodologie innovative per il recupero dei paramenti in calcestruzzo faccia a vista  
*Materials and innovative methodologies for restoring fair faced concrete*  
Claudio Piferi
- 270 | MSOT: ottimizzare la scelta dei materiali nel LEED v4 - un caso di studio con il BIM  
*MSOT: materials selection optimization in the LEED v4 protocol - a case study with BIM*  
Alberto Raimondi, Mabel Aguerre
- 281 | Sviluppo di membrane bituminose fonoisolanti e fonoassorbenti contenenti materiali di riciclo  
*Development of soundproofing and sound-absorbing bituminous membranes containing recycled materials*  
Massimo Rossetti, Alberto Bin
- 289 | Materiali e soluzioni tecniche per il wayfinding nei musei  
*Materials and technical solutions for wayfinding in museums*  
Teresa Villani
- 299 | Oltre la Materia: la sperimentazione di bio-based grown materials dai miceli  
*Beyond Materials: the experimentation of bio-based grown materials from mycelia*  
Antonella Violano

- 308 | Definizione di scenari materiali innovativi attraverso processi di digitalizzazione  
*Definition of innovative material scenarios through digitization processes*  
Sara Codarin, Marco Medici
- 317 | Sperimentazione di materiali compositi con fibre vegetali per il settore costruttivo  
*Experimentation of composites materials reinforced with vegetable fibres for the construction sector*  
Giulia Savoja

### DIALOGHI *DIALOGUES* a cura di/edited by Maria Pilar Vettori

- 325 | Un "dialogo antico" tra materia, tecnica e progetto  
*An "ancient dialogue" between matter, technique and design*  
Un Dialogo tra | *A Dialogue between* Barbara Bogoni e | *and* Eduardo Souto de Moura

### RECENSIONI *REVIEWS* a cura di/edited by Francesca Giglio

- 339 | Blaine Brownell, *TRANSMATERIAL Next- A Catalog of Materials That Redefine Our Future*  
Ingrid Paoletti
- 340 | Andrea Lupacchini, *La sensorialità dei materiali*  
Cristina Conti
- 342 | Alberto Campo Baeza, *La suspensión del tiempo. Diario de un arquitecto*  
Maria Pilar Vettori
- 344 | Fabrizio Schiaffonati, Elena Mussinelli, Arturo Majocchi, Andrea Tartaglia, Raffaella Riva, Matteo Gambaro, *Tecnologia, Architettura, Territorio. Studi ricerche progetti*  
Adolfo Baratta

### INNOVAZIONE E SVILUPPO INDUSTRIALE *INNOVATION AND INDUSTRIAL DEVELOPMENT*

a cura di/edited by Alessandro Claudi de Saint Mihiel

- 346 | Il contributo dell'area tecnologica alla ricerca industriale  
*Technological area contribution to industrial research*  
Alessandro Claudi de Saint Mihiel
- 348 | Innovazione e cultura imprenditoriale per la produzione edilizia ad elevata qualità ambientale  
*Innovation and entrepreneurial culture for high environmental quality building production*  
Paola Gallo



Antonello Monsù Scolaro,

Dipartimento di Architettura, Design ed Urbanistica, Università di Sassari, Italia

amscolaro@uniss.it

**Abstract.** La riqualificazione del costruito esistente rappresenta un'importante opportunità ambientale per contribuire alla riduzione del consumo di risorse primarie, suolo ed energia. L'energia primaria e le risorse ancora disponibili come "capacità residua" di fornire prestazioni tecnologiche da parte dei componenti edilizi costituiscono un aspetto cruciale, sebbene ancora non pienamente indagato, per definire il valore ambientale dell'esistente. Si riportano i primi risultati di una ricerca che, sulla base degli eco-inventari oggi disponibili e sul calcolo delle prestazioni tecnologiche residue degli elementi tecnici, definisce il concetto di *embodied energy efficace*, assumendolo quale indicatore del valore ambientale nell'ottica di una riqualificazione eco-orientata dell'esistente.

**Parole chiave:** *Embodied Energy*; Prestazione residua; Riutilizzo di materia; *Decoupling resources*.

## Introduzione

Dai primi interventi di recupero edilizio degli anni '70 ai piani integrati a scala urbana degli anni '90, il progetto del costruito ha richiesto più competenze multidisciplinari per rivelarne i valori nascosti tra efficienza economica, coesione sociale ed equilibrio ecologico (Caterina, 2016). Le «possibili gradazioni del progetto sull'esistente» (Giebler e Kahlfeldt, 2009) inducono connotazioni sempre più complesse ed ambiente-correlate, che richiedono sia la conoscenza delle relazioni "immateriali" tra luogo ed abitante che "materiali", relative al comportamento fisico e bioclimatico dell'involucro, sia dei margini di adattabilità a nuovi utilizzi (Douglas, 2011).

Seppure arricchito da questa pluralità di valenze, il recupero materiale del costruito costituisce una condizione essenziale perché dalla sua riqualificazione discenda effettivamente un alto valore ambientale aggiunto, massimizzando la quota di materia ed energia incorporata nei materiali preesistenti che viene riutilizzata e riducendo quella da aggiungere o integrare.

Da queste considerazioni muove la sperimentazione condotta su

due edifici campione – di cui si presentano qui i primi risultati – che ha sviluppato ed applicato una metodologia per attribuire valore ambientale al costruito esistente in base alla capacità dei suoi componenti di fornire prestazioni tecnologiche residue, sfruttando quanta più materia ed energia in essi incorporata. Utilizzando i dati di *inventory* scelti tra quelli più adeguati alle indeterminanze del costruito esistente, si è calcolata l'*embodied energy* degli elementi di involucro, che è stata poi messa in relazione alle prestazioni tecnologiche residue della frazione di materia ancora utilizzabile. I risultati ottenuti rappresentano il valore ambientale potenziale del costruito, quindi la base per valutare le alternative tecnologiche di recupero e controllarne i relativi effetti ambientali in ottica *LCA based*.

## Attribuire valore ambientale al costruito esistente in ottica LCA

Soltanto in Italia, il patrimonio di edilizia abitativa comprende 10 milioni di edifici costruiti prima del 1990 (pari all'80% dello stock), di cui circa 1 milione sono abitazioni in disuso e da riqualificare (Scenari Immobiliari e Passpartout, 2018).

A fronte della drastica flessione della produzione di nuovi edifici, anche nel 2016 la riqualificazione segnala un trend positivo, con una quota di investimenti che supera il 73,1% dei 166,2 miliardi totali. Per le compravendite di edifici da ristrutturare, già in crescita del 19% nel 2017, si stima ancora un aumento dell'1,8% nel 2018 grazie sia alla legge di Bilancio 2017 sia al trend attivato dagli incentivi fiscali (ENEA, 2017).

Secondo il CRESME, il settore delle costruzioni è entrato nel suo «primo ciclo dell'ambiente costruito», in cui gli interventi di riqualificazione prevalgono sulla nuova costruzione, rifletten-

Embodied Energy and residual performances: assess environmental value of existing buildings

**Abstract.** The refurbishment of built heritage is a great environmental opportunity to contribute to the reduction of consumption of primary resources, soil and energy. The primary energy and the resources still available as "remaining capacity" to furnish technological performances by building components represent a crucial aspect, although still not fully valued to define the existing environmental value. Here are first results of a research that, both on the basis of eco-inventories data available and the calculation of residual technological performance of building elements, defines the concept of embodied energy "effective", hiring it as indicator of environmental value for an eco-oriented refurbishment of existing buildings.

**Keywords:** Embodied Energy; Residual technological performances; Building materials reuse; Decoupling resources.

## Introduction

From the early building restoration in the 70's to integrated plans on an urban scale in the 90's, the renovation design of built environment required multidisciplinary competences to discover the hidden values among economical efficiency, social cohesion and ecological balance (Caterina, 2016). The «possible gradations of the existing buildings design» (Giebler, Kahlfeldt, 2009) involve connotations increasingly complex and environmental-related; this requires the knowledge of "immaterial" and "material" relationships between place and inhabitant, related both to the physical and bioclimatic performances of the building envelope and to the margins of adaptability to new uses (Douglas, 2011). Even though enriched by different meanings, the renovation design of pre-existing building materials represents an

essential requirement so that emerge an high environmental value added from its refurbishment, optimising the share of matter and energy incorporated in pre-existing materials to be re-used and reducing the percentage to be added or integrated.

From these considerations it was developed and applied a methodology for attributing environmental value to existing buildings on the basis of capacity of its components to furnish residual technological performances, leveraging as much matter and energy embedded in them. This paper shows the first results of the experimentation carried out on two sample buildings. Using data of current eco-inventory chosen from among the most suited to the indefiniteness of pre-existing buildings, the *embodied energy* of building envelope elements was calculated first and then related to the



do anche il mutato profilo socio-economico e la consapevolezza ambientale della popolazione<sup>1</sup>.

Eppure, il settore delle costruzioni continua a causare un alto consumo di materie prime (40-50% del totale a scala europea, di cui 60% inerti e 25% metalli) per la produzione di componenti edili e, secondo i dati Eurostat del 2017, immette in ambiente circa 1/3 dei rifiuti globalmente prodotti. L'uso sostenibile delle risorse in edilizia, che la UE promuove da anni (Ecorys, 2014), anche attraverso il reimpiego di materia e lo sfruttamento dell'energia in essi incorporata promettono di generare un plusvalore ambientale (Ruuska, Häkkinen, 2014). Però, per attribuire valore ambientale alla riqualificazione dell'esistente è necessario quantificare sia il risparmio di risorse primarie ed energia sia la riduzione degli effetti ambientali associati.

Com'è noto, fin dagli anni '60 del secolo scorso, negli Stati Uniti si avviano le prime ricerche per comprendere e standardizzare i consumi energetici di alcuni processi produttivi tramite metodologie *LCA based*; in campo edile, nel 1976, Gartner e Smith calcolano l'energia spesa nei processi di produzione dei materiali confrontandone il dispendio energetico per unità di materiale (in MJ/m<sup>2</sup>) in differenti soluzioni costruttive. Nel 1979, l'*Advisory Council on Historic Preservation* pubblica il report *Assessing the Energy conservation benefits of historic preservation: Methods and examples* in cui l'*embodied energy* indica l'energia spesa per l'estrazione delle materie prime e la messa in opera del materiale finito, per dimostrare il risparmio di materia ed energia del recupero del costruito rispetto alla nuova costruzione. Oggi, nonostante la complessità dei fattori che concorrono alla quantificazione dell'*embodied energy* in funzione del contesto operativo di riferimento, si concorda sulle diverse quote componenti:

residual technological performances of fraction matter still usable. The obtained results represent the potential environmental value of pre-existing buildings, then the basis to evaluate technological alternatives of refurbish and control the environmental effects based on LCA approach.

#### **Environmental value to existing buildings in life cycle assessment**

Only in Italy, the housing estate includes ten million of buildings built before 1990 (the 80% of stock), about 1 million of them are unused and should be renovated (Scenari Immobiliari e Passpartout, 2018). In the face of the drastic reduction of the production of new buildings, also in 2016 the refurbishment reports a positive trend, the investments exceed 73.1% the total of 166.2 billion. Regarding sales of buildings to be renovated, already up 19% in

2017, it is estimated a growth of 1.8% in 2018 thanks to both Budget Bill 2017 and trend activated by tax incentives (ENEA, 2017).

According to CRESME, the construction sector entered its «first cycle of environmental built», in which the renovation projects prevail on projects of new buildings, also reflecting the changed socio-economical profile and the environmental awareness of the population<sup>1</sup>.

Yet, the constructions field keeps on causing an high consumption of raw materials (40-50% of total in Europe, 60% aggregates and 25% metals) to produce building components and, according to Eurostat data of 2017, it enters into the environment about 1/3 of globally waste products. The sustainable resources use in building construction industry, that UE promotes by years (Ecorys, 2014) even

- *initial embodied energy* (che vale il 75–80% della totale *embodied energy* di un materiale da costruzione lungo il suo intero ciclo di vita), divisa in *primary energy* (consumata per l'estrazione delle materie prime, trasporto, lavorazione e produzione dei materiali, trasferimento in cantiere) e in *direct energy* (consumata in fase di costruzione);
- la *recurring energy* (spesa per le attività di manutenzione dell'edificio);
- la *disposal embodied energy* (spesa per la demolizione e lo smaltimento finale dell'edificio) (Dixit et al., 2010).

Tramite metodologie *LCA based*, al calcolo dell'*embodied energy* dei materiali componenti un edificio possono associarsi gli impatti ambientali sull'esaurimento delle risorse, sull'effetto serra, sul degrado ambientale e sulla riduzione della biodiversità; tuttavia, gli approcci oggi in uso richiedono un'analisi di inventario e una delimitazione di campo molto accurate per ogni processo. In particolare, ove si valutino gli impatti ambientali evitati per il recupero dell'esistente rispetto alla nuova costruzione, gli indicatori utilizzati devono tener conto di tecniche costruttive, tecnologie e processi produttivi spesso non più chiaramente identificabili (Menzies, 2011). D'altra parte, mentre un edificio riqualificato offre prestazioni energetiche analoghe ad uno equivalente nuovo, si è dimostrato che la riduzione degli effetti sui cambiamenti climatici (in GWP/m<sup>2</sup>/y) sono subordinati all'impiego di materiali a bassa impronta ambientale ed alte *performances* energetiche (Preservation Green Lab, 2012). Inoltre, bisogna valutare gli impatti ambientali evitati in funzione delle «caratteristiche dell'edificio in relazione al nuovo uso ed alle opzioni tecniche di riqualificazione» (Baker, 2009).

In questo scenario, a partire dalla consistenza costruttiva dell'e-

through the reuse of matter and energy exploitation embedded in them, could generate an environmental value added (Ruuska, Häkkinen, 2014). But, to attribute environmental value to the renovation of pre-existing buildings, it needs to quantify both the saving of primary resources and energy and the reduction of environmental impacts connected.

As you know, since the 60's of the last century, in the United States the first research starts to understand and standardize energy consumption of some production processes using methodologies based on LCA. In building sector in 1976, Gartner and Smith calculate the energy used in production processes of building materials comparing the energy consumption per unit of material (MJ/m<sup>2</sup>) in different building solutions. In 1979 the *Advisory Council on Historic*

*Preservation* publishes the report *Assessing the Energy conservation benefits of historic preservation: Methods and examples* in which the *embodied energy* indicates the energy used for the extraction of raw materials and setting up of finished material, to demonstrate the saving of matter and energy of renovation project compared to new building. Today, despite the complexity of the factors, the contribute to the quantification of the *embodied energy* as a function of the related operative contest, the experts stated that:

- *initial embodied energy* (that is worth 75-80% of total *embodied energy* of a building material during its whole life cycle) is divided in *primary energy* (used for extraction of raw materials, transportation, manufacturing and production of materials, site transfer) and *direct energy* (used during the construction phase);

variabili	Embodied Energy <sub>originaria</sub> (EE <sub>orig</sub> )	Embodied Energy <sub>rifiuti</sub> (EE <sub>rit</sub> )	Embodied Energy <sub>residua</sub> (EE <sub>res</sub> )	Embodied Energy <sub>efficace</sub> (EE <sub>eff</sub> )	Prestazione Tecnologica Residua (PR)	Indice di Prestazione Residua (IPR)	Potenziale Ambientale (PA)
definizione	Energia incorporata dai materiali o componenti edilizi preesistenti	Energia incorporata dai materiali da demolire perché non idonei	Energia incorporata dai materiali che contribuiscono alla PR	Rapporto tra l'EE residua e l'EE originaria	Prestazione offerta dall'elemento tecnico preesistente (ETP)	Rapporto tra prestazione richiesta dalla nuova destinazione d'uso e prestazione residua	Prodotto tra indice di prestazione residua ed energia incorporata efficace
metodo di calcolo	LCI	LCI	EE <sub>originaria</sub> - EE <sub>rifiuti</sub>	EE <sub>residua</sub> /EE <sub>originaria</sub>	Relativa alla tipologia di ET considerato	P <sub>residua</sub> /P <sub>richiesta</sub>	IPR*EE <sub>eff</sub>
unità di misura	MJ/kg	MJ/kg	MJ/m <sup>2</sup>	tra 0 e 1	Relativo alla stratificazione funzionale	%	%
fase della valutazione	pre-progettuale	pre-progettuale	pre-progettuale	pre-progettuale	pre-progettuale	pre-progettuale	pre-progettuale

edificio, l'*embodied energy* e la «prestazione tecnologica residua» (Antonini, 2004) rappresentano due importanti indicatori da interfacciare per poter definire preliminarmente il potenziale ambientale del costruito esistente.

### Embodied energy efficace ed indicatore di prestazione residua

La riqualificazione di un edificio dipende dal suo stato di degrado e tecnicamente può richiedere interventi di sostituzione o riutilizzo e implementazione dei componenti edilizi esistenti. Adesso, dato che l'*exergia* di un sistema termodinamico è la parte di lavoro che esso è ancora in grado di svolgere<sup>2</sup>, considerando l'edificio esistente come un sistema composto da elementi tecnici che forniscono prestazioni tecnologiche – assunte come lavoro –, si tratta di calcolare l'*embodied energy* (EE) “efficace” della parte di materiali e componenti ancora in grado di contribuire alla prestazione tecnologica residua (PR) in funzione del loro stato di conservazione.

Operativamente, definiamo l'indice di prestazione residua (IPR) di ogni elemento tecnico come il rapporto tra la prestazione of-

- *recurring energy* (used for the building maintenance activities);
- *disposal embodied energy* (used for final demolition and disposal of building) (Dixit et al., 2010).

To calculate the *embodied energy* of building components using methodologies based on LCA methodologies, it is possible to associate the environmental impacts on resource exhaustion, greenhouse effect, environmental degradation and biodiversity reduction. However, the today's approaches require a very accurate inventory analysis and boundaries definition within each process.

Particularly, if we evaluate avoided environmental impacts by renovating pre-existing building compared to new building, the indicators should take into account the construction techniques, technologies and production processes often not so clear identifiable

(Menzi, 2011). On the other hand, while a refurbished building offers energy performances similar to a new one, it has been demonstrated that the reduction of effects on climatic changes (in GWP/m<sup>2</sup>/y) depends on the use of low environmental impact materials having high energy performances (Preservation Green Lab, 2012). Moreover, it is necessary to evaluate the environmental impacts avoided as a function of «building characteristics related to new use and refurbishment technical options» (Baker, 2009).

In this scenario, starting from building materials and components, the *embodied energy* and «the technological residual performance» (Antonini, 2004) represent two important indicators to be interfaced to preliminary define the environmental potential value of built environment.

ferta e quella richiesta dalla nuova destinazione d'uso (Fig. 1).

Esso dipende:

- dal valore di EE<sub>residua</sub> espressa in MJ/m<sup>2</sup> a partire da MJ/kg, assumendo quale unità funzionale di riferimento la stratificazione tecnologica analizzata;
- dal valore di EE<sub>efficace</sub> riferita ai soli materiali utili alla prestazione, ridotta della quota di EE<sub>rifiuti</sub> che non viene conteggiata in quanto perduta, ottenuta dal rapporto EE<sub>residua</sub>/EE<sub>originaria</sub> (compreso tra 0 e 1).

Deriva che il potenziale ambientale residuo (PA) è dato:

- dal prodotto tra IPR ed EE<sub>efficace</sub>. Il valore 100 indica che i materiali originari sono interamente utili alla nuova prestazione, mentre valori via via inferiori indicano la necessità di integrazioni materiche con conseguente aumento dell'EE<sub>finale</sub> = EE<sub>residua</sub> + EE<sub>aggiunta</sub>.

Pertanto, a parità di prestazione tecnologica, si potranno confrontare soluzioni alternative di progetto avendo cura di far crescere il meno possibile il valore EE<sub>finale</sub> adottando materiali a limitata impronta ecologica (Schwartz et al., 2018).

### Embodied energy efficient and residual performance index

The refurbishment of a building depends on its state of decay and technically it can require substitution or reuse and implementation of existing building components. The *exergy* of a thermo-dynamic system is the work that it can still make<sup>2</sup>. Considering the existing building as a system composed of technical elements that provide technological performances -taken as work-, it comes to consider the *embodied energy* (EE) “efficient” of materials and components as a function of their state of conservation, still able to contribute to residual technological performance (RP).

Effectively, we define residual performance index (RPI) of each technical elements as a ratio between the offered performance and the one required by new use destination (Fig. 1).

It depends on:

- the value of EE<sub>residua</sub> expressed in MJ/m<sup>2</sup> starting from MJ/kg, assuming technological stratification analysed as functional unit;
- the value of EE<sub>efficient</sub> only referred to the materials providing technological performance, reduced by the proportion of EE<sub>waste</sub> that cannot be calculated because lost, calculated by the ratio EE<sub>residua</sub>/EE<sub>previous</sub> (between 0 and 1).

Stem so that the residual environmental potential (REP) is calculated by:

- the product between RPI and EE<sub>efficient</sub>. The value of 100 indicates that the originals material are entirely useful to new performance, while lower values indicate the need to material additions that cause an increase of EE<sub>final</sub> = EE<sub>residua</sub> + EE<sub>added</sub>. Therefore for the same technological performance, it will be possible

## L'edificato storico di Sanluri: prime sperimentazioni

La sperimentazione ha interessato alcuni edifici in disuso tra quelli mappati nel Comune di Sanluri (CA), per definire il potenziale ambientale residuo e individuare ipotesi progettuali di riqualificazione a scopo residenziale o turistico-ricettivo; attività relativa al progetto di ricerca sul riuso del patrimonio abitativo dismesso in Sardegna, finanziato dal 2017 al 2019.

Sanluri è un comune del sud Sardegna sviluppatosi lungo gli assi stradali storici isolani: dalla Fondazione di Sardegna fino al 1921 era dotato anche di un importante scalo ferroviario per il trasporto merci nell'Isola. Durante la dominazione spagnola, per la sua posizione strategica fu conteso tra Aragonesi e Sardi del Giudicato di Arborea. Nel 1409, dopo la "battaglia di Sanluri" (terminata con la quasi completa distruzione dell'abitato) il suo possesso passò definitivamente dagli spagnoli. Al termine della dominazione spagnola, Sanluri fu ricostruito insieme al Castello medievale, oggi principale attrazione turistica. Nel corso degli anni, Sanluri ha sofferto di un progressivo spopolamento al quale ha contribuito nel 2014 la chiusura dell'industria ferroviaria Keller con la perdita di ulteriori posti di lavoro e contribuendo all'abbandono di numerosi altri edifici.

La sperimentazione è partita dall'analisi socio-demografica del paese incrociata con la mappatura dell'abbandono dell'edificato. In totale 290 unità (pari all'8,1% del parco edificato totale) distribuite per lo più nel centro storico: 276 private, di cui 247 (pari all'89,5%) a destinazione residenziale; delle restanti 14 di proprietà pubblica, 10 a destinazione residenziale (Fig. 2). 153 edifici (52,8% del totale) sono realizzati in muratura portante in pietrame o mattoni di terra cruda (in sardo *lādiri* dal latino *later*,

to compare alternative solutions taking care not to increase so much the value of  $EE_{final}$  using material of low ecological footprint. (Schwartz et al., 2018).

### Historical settlement of Sanluri: first evaluations

The application has been carried out on some disused buildings among those mapped in Municipality of Sanluri (CA), to define the residual environmental value and find design hypothesis as a residential purposes or touristic accommodations; this activity is related to the research project on reuse of abandoned housing stock in Sardinia, financed from 2017 to 2019. Sanluri is located in the south of Sardinia and developed along major historical roads of the island: since 1921 it also had an important railway freight in the Island. During Spanish

domination, because of its strategic location it was disputed by Aragonese and Sardinian people of Giudicato di Arborea. In 1409, after the "Sanluri battle" (ended with the almost completed destruction of the village), the city passed permanently to the Spanish. At the end of Spanish domination, Sanluri was rebuilt together with the Medieval Castle, the current first tourist attraction. During the years, Sanluri has suffered from a progressive depopulation which has contributed to the closure of the Keller railway industry in 2014, with the loss of further jobs, contributing to abandonment of several buildings.

Experimentation started from socio-demographic cross-analysis of the village also mapping abandoned buildings. A total of 290 units (the 8.1% of total built) principally distributed in old town: 276 private, 247 of them

argilla), solai e coperture in legno; il 7,2% con telaio in calcestruzzo e il restante 40% (116) in blocchi di calcestruzzo. Purtroppo, negli anni '60, la costruzione tradizionale in ladiri (tipica della casa a corte campidanese con ampi portici) è stata soppiantata dalla muratura portante in blocchetti di calcestruzzo e solai in latero-cemento, più rapida da costruire e a costi inferiori, con gravi perdite in termini di benessere abitativo ed efficienza energetica dell'involucro.

La sperimentazione ha tralasciato gli edifici a telaio in calcestruzzo perché numericamente poco rappresentativi del patrimonio in disuso. Per confrontare i dati, è stata ipotizzata una destinazione d'uso residenziale cui associare i valori di trasmittanza e sfasamento termico e portanza dei solai, assumendo i limiti di prestazione energetica di involucro di cui al DM "Requisiti minimi" del 26 giugno 2015 per edifici soggetti a riqualificazione edilizia (riferiti al 2021) e di portanza dei solai in base alle NTC del 2008.

L'operazione preliminare più delicata ha riguardato la scelta dell'*inventory* di dati ambientali da cui attingere: le peculiarità del costruito esistente e il numero di variabili in campo hanno suggerito l'adozione dell'*Inventory of Energy and Carbon* (ICE) di Hammond e Jones, dell'Università di Bath, edizione 2008.

L'ICE contiene i dati medi di EE (*embodied energy*) di 30 categorie principali di materiali riferita alla fase *cradle to gate*, dall'estrazione della materia prima alla sua trasformazione, fino al trasporto in cantiere. È previsto un valore min/max di EE in accordo con la letteratura di riferimento alla base dell'*inventory*, che tiene conto di condizioni operative specifiche dalle quali, caso per caso, potrebbero dipendere le variazioni del valore di EE di ogni singolo materiale. Gli edifici analizzati sono stati costruiti

(89.5%) as a intended residential use; the remaining 14 of public properties, 10 as a residential use (Fig. 2). 153 buildings (52.8% of the total) are realized in masonry stone or cob (in Sardinian language *lādiri* from *latin* later that means clay), wooden floors and roofs; the 7.2% in concrete frame and the remaining 40% (116) in concrete blocks. Unfortunately in the 60's, the traditional construction in ladiri (typical campidanese courtyard house with large porches) was substituted by bulk concrete masonry and hollow block floor, faster and cheaper to build; that causes heavy losses in terms of healthy living spaces and energy efficiency of the building envelope.

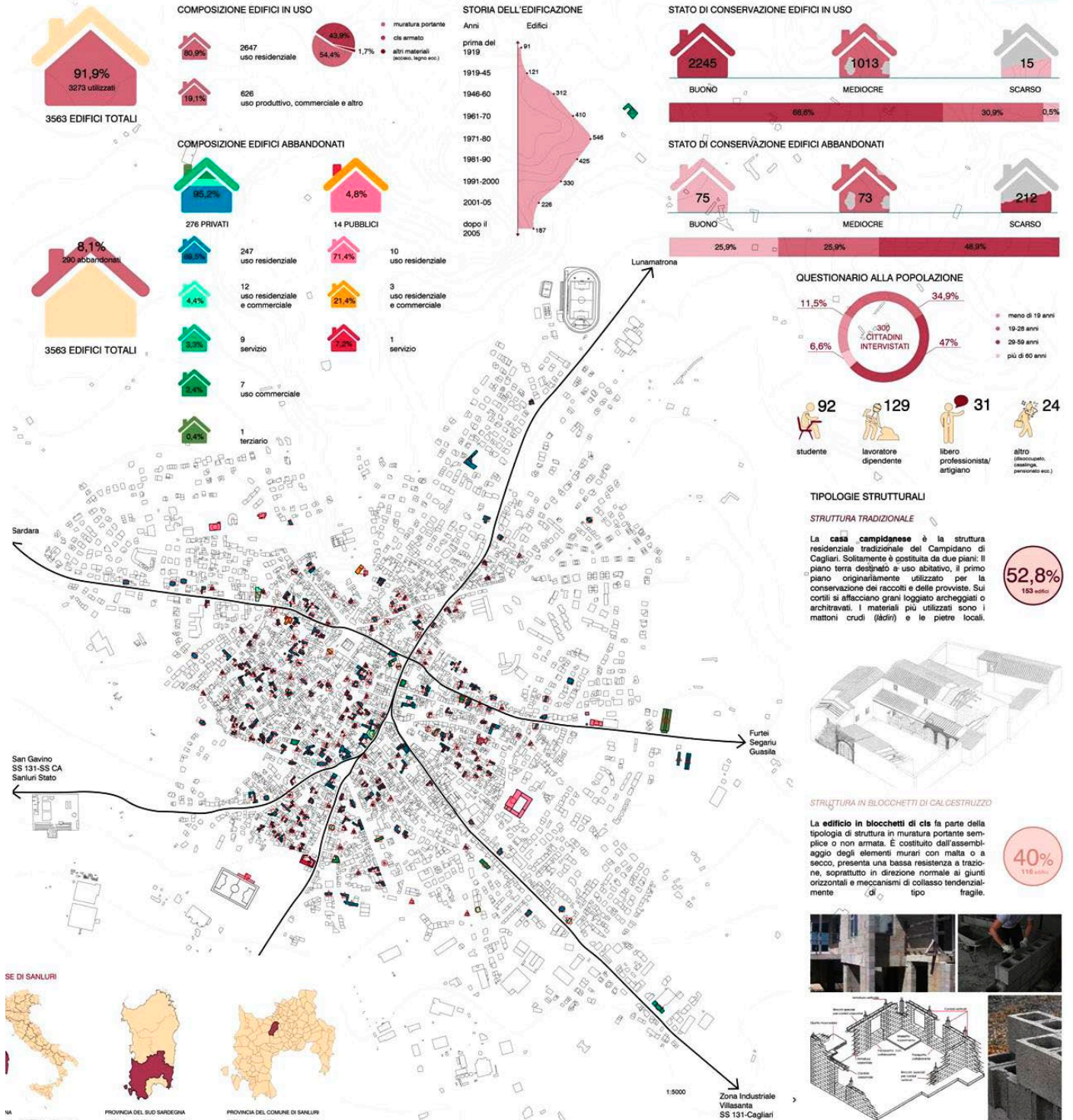
The experimentation has missed concrete frame buildings because numerically not representative of disused heritage. To compare data, an intended residential use has been suggested as-

sociating it thermal transmittance values and bearing capacity of the floors, assuming the energy performance of building envelope limits referred to Ministerial Decree "Minimum requirements" of 26 June 2015 for buildings to be renovated (referred to 2021) and bearing capacity of the floors based to Italian Construction Standards (NTC) of 2008.

The most delicate preliminary operation involved the choice of a more appropriate eco-inventory database. In this case, the peculiarity of existing buildings and the number of variables involved have suggested the adoption of *Inventory of Energy and Carbon* (ICE) by Hammond and Jones, University of Bath, edition of 2008.

The ICE contains the average data of EE (*embodied energy*) of 30 main categories of building materials referred to the *cradle to gate* phase, from extrac-

02 | GLI EDIFICI ABBANDONATI





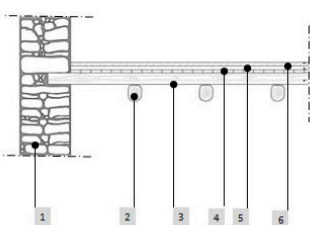
rispettivamente, nel 1948 quello in muratura in pietra e nel 1960 quello in blocchi di cls; considerato che in quel periodo i materiali da costruzione erano prodotti quasi *in situ*, si è assunto che il trasporto non abbia inciso granché. In tal caso, i valori di EE dovuti al trasporto sarebbero da considerare minimi o inesistenti. Tuttavia, si è ritenuto più corretto assumere i valori medi di *embodied energy* affinché i risultati fossero confrontabili con altre sperimentazioni su edifici simili.

Quindi, sono stati analizzati gli involucri e i solai intermedi scomponendoli in strati funzionali per redigere l'analisi d'inventario dei singoli materiali e calcolare il relativo valore di EE in funzione della relazione  $EE_n = M_n \cdot (MJ/kg)_n$ , dove M indica la densità in kg/m<sup>3</sup> di ogni n<sup>mo</sup> materiale; si è così ottenuto il valore complessivo di EE per ogni elemento tecnico espresso in MJ/m<sup>2</sup>, assumendo la stratificazione tecnologica come unità funzionale di riferimento (Fig. 3, 4, 5).

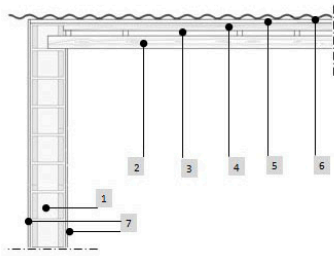
Il calcolo ha evidenziato che la struttura portante in pietra calcarea dell'edificio 1 incide per il 96% sul totale dell'EE dell'elemento tecnico, pur per bassi valori di EE per unità di peso; nella copertura, la capriata in legno incide per il 39% e le tegole per il 36% dell'EE totale dell'elemento; altrettanto si nota per la semplice struttura in legno di copertura dell'edificio 2. Nel solaio a struttura in legno dell'edificio 1, l'EE degli elementi strutturali ammonta al 58% del totale dell'EE dell'elemento.

Il valore dell'*embodied energy* efficace per la prestazione residua, nella maggior parte dei casi, è pari ad 1 perché in base allo stato di conservazione è possibile riutilizzare tutti i materiali preesistenti intervenendo per "addizione" di materia. Nei solai di copertura o intermedi, tale valore diminuisce della quota di  $EE_{rif}$  (pari a 9,22 MJ/m<sup>2</sup>) persa a seguito della rimozione degli strati di livellamento in malta di calce e sabbia, per introdurre l'isolante o per consolidare i preesistenti elementi strutturali. Il basso indi-

Copertura in legno edificio 1		Materiali	Funzione	Densità (kg/m <sup>3</sup> )	Dimensione (cm)	Embodied Energy (MJ/Kg)	Embodied Energy (MJ/m <sup>2</sup> )	Incidenza
 <p>Copertura Superiore Inclinata su capriata e struttura secondaria in legno; tavolato e manto in tegole.</p>	1	Capriata in legno	strutturale/sostegno	640	20*20	7,4	<b>378,88</b>	39%
	2	Struttura secondaria (12*12cm)	strutturale/sostegno	640	12*12	7,4	<b>68,20</b>	7%
	3	Tavolato in legno	sostegno finitura	640	3	7,4	<b>142,08</b>	14%
	4	Listellini in legno	Supporto finitura	640	2*2	7,4	<b>39,78</b>	4%
	5	Manto in tegole	Protezione/Finitura	1500	45*14	6,5	<b>354,90</b>	36%
<b>EE<sub>totale</sub></b>							<b>983,84</b>	

Involucro calcareo/Solaio intermedio		Materiali	Funzione	Densità (kg/m <sup>3</sup> )	Dimensione (cm)	Embodied Energy (MJ/Kg)	Embodied Energy (MJ/m <sup>2</sup> )	Incidenza	
 <p>Struttura di elevazione verticale in pietrame calcareo compatto Partizione intermedia su travatura primaria e secondaria in legno; tavolato; massetto in calce e pavimento in graniglia di cemento.</p>	1	Muratura in pietra calcarea	Strutturale	2000	62*	1,15	<b>1426,00</b>	96%	
	5	Intonaco in calce	Supporto e livellamento	1500	3*	1,16	<b>52,20</b>	4%	
	<b>EE<sub>totale</sub></b>							<b>1478,20</b>	
	2	Struttura principale (20*16cm)	strutturale/sostegno	640	20*16	7,4	<b>303,10</b>	58%	
	3	Struttura secondaria (12*12cm)	strutturale/sostegno	640	12*12	7,4	<b>136,40</b>	26%	
	4	Tavolato in legno	Sostegno e distribuzione carichi	640	3	7,4	<b>142,08</b>	27%	
5	Massetto in calce	Supporto e livellamento	1800	3	0,61	<b>9,22</b>	2%		
6	Pavimento in graniglia di cls	Finitura	3000	3	4,29	<b>234,23</b>	45%		
<b>EE<sub>totale</sub></b>							<b>521,93</b>		

05 |

Involucro e Copertura edificio 2		Materiali	Funzione	Densità (kg/m <sup>3</sup> )	Dimensione (cm)	Embodied Energy (MJ/Kg)	Embodied Energy (MJ/m <sup>2</sup> )	Incidenza	
 <p>Struttura di elevazione verticale in blocchi di calcestruzzo prefabbricati                      Chiusura superiore inclinata su travatura primaria, listelli e tavolato in legno; massetto in calce e finitura in tegole laterizie</p>	1	Blocchi in cls	Strutturale	2000	30	0,71	<b>426,00</b>	85%	
	7	Intonaco (cementizio)	Finitura	1600	3*	1,55	<b>74,40</b>	15%	
	<b>EE<sub>totale</sub></b>							<b>500,40</b>	
	2	Struttura principale (12*12cm)	strutturale/sostegno	640	12*12	7,4	<b>272,79</b>	52%	
	3	Listelli in legno (4*4)	sostegno	640	4*4	7,4	<b>22,73</b>	4%	
	4	Tavolato in legno	Distribuzione carichi	640	3	7,4	<b>142,08</b>	27%	
	5	Strato in calce	Supporto e livellamento	1800	3	0,61	<b>9,22</b>	2%	
6	Manto in tegole	Protezione/Finitura	1500	45*14	6,5	<b>354,90</b>	67%		
<b>EE<sub>totale</sub></b>							<b>528,94</b>		

ce di prestazione residua (IPR) di involucri e coperture dipende dall'alta trasmittanza termica (Fig. 6); l'IPR del solaio cresce fino al 42,5% grazie alla portanza residua.

In genere, IPR e PA si equivalgono ove sia possibile sfruttare tutta la materia preesistente, mentre il PA diminuisce in caso di rimozione di materia e cresce al crescere dell'IPR, se l'elemento tecnico è ancora in grado di fornire prestazioni tecnologiche relative al nuovo uso (Fig. 7).

Infine, si sono confrontate due alternative per migliorare l'efficienza energetica delle coperture ed ottenere trasmittanze conformi ai limiti di legge pari a 0,30W/m<sup>2</sup>K. Impiegando rispettivamente un pannello di sughero da 12 cm ( $\lambda = 0,045$  W/mK), avente valore di EE=4 MJ/kg e un pannello in EPS da 9cm ( $\lambda = 0,033$ ), avente EE=88,6 MJ/kg, a parità di trasmittanza, si evidenzia un sensibile aumento al m<sup>2</sup> dell'EE<sub>finale</sub> nel caso dell'EPS

tion of raw material to its transformation, until the transport in the building site, excluding construction phase. A min/max EE value is expected according to the referring literature on the basis of eco-inventory, taking account of specific operating conditions from which each individual case of EE value variations of each materials might depend on. The tested buildings were respectively built in, 1948 the one in limestone masonry and in 1960 the one in load bearing concrete blocks masonry. Considering that in those periods more materials were almost produced in-situ, the EE values of transport should be considered minimum or inexistent. However, it was considered more appropriate to take the average values of embodied energy, excluding variation due to specific operating conditions, to compare results to other experimentation on similar buildings.

So that, the envelopes and intermediate floors were tested by splitting them in technological layers in order to draw up the inventory analysis of each materials and calculate the related EE value as a function of the relationship  $EE_n = M_n \cdot (MJ/kg)_n$ , where M indicates the density expressed in kg/m<sup>3</sup> of each material; in this way, total EE value was obtained for each technical elements, expressed in MJ/m<sup>2</sup>, considering the technological stratification as functional unit (Fig. 3, 4, 5). The calculation showed that the limestone masonry of the building 1 accounts for 96% of the total EE of technical element, even for low EE value per weight unit; regarding the wooden roof truss, it accounts for 39% and the clay roof tiles for the 36% of the total EE of technical element. The same was noticed regarding the single-pitched wooden roof of building 2. In the

rispetto al sughero, oltrechè una incidenza % rispetto ai valori di EE degli altri componenti, a dimostrazione dell'importanza dell'uso di materiali a bassa impronta ambientale (Fig. 8).

### Conclusioni

L'ampia variabilità dei dati di EE di materiali e processi produttivi delle *inventory* oggi disponibili reca un margine di approssimazione alle sperimentazioni analitiche, crescente quando si opera sull'esistente. Tuttavia, riuscire a definire il potenziale ambientale del costruito, ottimizzandone energia e risorse, è un primo passo per limitare gli effetti ambientali misurabili indotti sui cambiamenti climatici e sul consumo di risorse non rinnovabili. Inoltre, a partire dalle prestazioni residue, il successivo confronto tra energia spesa e materia impegnata potrà contribuire a stimare l'efficienza tecnologica delle soluzioni costruttive in chiave

wooden floor of building 1, the structural elements EE accounts for 58% of the total EE of element. The embodied energy efficient value of the residual performance, in most cases, is equal to 1 because considering the conservation state it is possible to reuse all pre-existing materials by adding new matter. In roof slabs or intermediate floors, this value decreases in the proportion of EE<sub>inf</sub> (equal to 9.22 MJ/m<sup>2</sup>) lost after removal of leveling layers of lime and sand mortar, to insert thermal insulating layer or to strengthen the pre-existent structural beams. The low index of residual performance (RPI) on horizontal envelope and covering depends on the high thermal transmittance (Fig. 6); the floor RPI grows till the 42.5% thanks to the residual bearing capacity. Generally, RPI and EP are equivalent where it is possible to use all the pre-

existent matter, whereas EP decreases in case of matter removal and growths together with the RPI, if the technical element is still able to furnish technological performances referring to the new use (Fig. 7). Finally, two alternatives to improve covering energy efficiency were compared to obtain transmittance compliant with legal limits equal to 0.30 W/m<sup>2</sup>K. Using respectively a cork panel of 12 cm ( $\lambda = 0,045$  W/mK), EE = 4 MJ/kg and a EPS panel of 9 cm ( $\lambda = 0,033$ ), EE=88,6 MJ/kg, considering the same transmittance, there is a substantial increase of EE<sub>finale</sub> per m<sup>2</sup> for the EPS compared to the cork one. In addition there is a percentage incidence considering the EE values of the other components, that demonstrates the relevance of using materials with low environmental footprint (Fig. 8).

<b>Involucro in calceare</b>	Embodied Energy <sub>originaria</sub> (EE <sub>orig</sub> )	Embodied Energy <sub>rifiuti</sub> (EE <sub>rit</sub> )	Embodied Energy <sub>residua</sub> (EE <sub>res</sub> )	Embodied Energy <sub>efficace</sub> (EE <sub>eff</sub> )	Prestazione Tecnologica Residua (PR)	Indice di Prestazione Residua (IPR)	Potenziale Ambientale (PA)
UM	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	%	(W/m <sup>2</sup> K)	%	da 0 a 1
Note/Formola di calcolo	-	Tutti i materiali sono riutilizzabili	EE <sub>originaria</sub> - EE <sub>rifiuti</sub>	EE <sub>residua</sub> /EE <sub>originaria</sub>	Trasmittanza termica involucro		IPR/EE <sub>eff</sub>
Valori	1478,2	0	1478,2	1	1,72	20,93	<b>20,93</b>

<b>Involucro in blocchi di cts</b>	Embodied Energy <sub>originaria</sub> (EE <sub>orig</sub> )	Embodied Energy <sub>rifiuti</sub> (EE <sub>rit</sub> )	Embodied Energy <sub>residua</sub> (EE <sub>res</sub> )	Embodied Energy <sub>efficace</sub> (EE <sub>eff</sub> )	Prestazione Tecnologica Residua (PR)	Indice di Prestazione Residua (IPR)	Potenziale Ambientale (PA)
UM	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	%	(W/m <sup>2</sup> K)	%	da 0 a 1
Note/Formola di calcolo	-	Tutti i materiali sono riutilizzabili	EE <sub>originaria</sub> - EE <sub>rifiuti</sub>	EE <sub>residua</sub> /EE <sub>originaria</sub>	Trasmittanza termica involucro		IPR/EE <sub>eff</sub>
Valori	500,4	0	500,4	1	2,32	15,52	<b>15,52</b>

<b>Solaio intermedio</b>	Embodied Energy <sub>originaria</sub> (EE <sub>orig</sub> )	Embodied Energy <sub>rifiuti</sub> (EE <sub>rit</sub> )	Embodied Energy <sub>residua</sub> (EE <sub>res</sub> )	Embodied Energy <sub>efficace</sub> (EE <sub>eff</sub> )	Prestazione Tecnologica Residua (PR)	Indice di Prestazione Residua (IPR)	Potenziale Ambientale (PA)
UM	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	%	Kg/m <sup>2</sup>	%	da 0 a 1
Note/Formola di calcolo	-	Viene rimosso il massetto in calce; il pavimento viene	EE <sub>originaria</sub> - EE <sub>rifiuti</sub>	EE <sub>residua</sub> /EE <sub>originaria</sub>	Considerando la struttura principale ed il tavolato		IPR/EE <sub>eff</sub>
Valori	521,93	9,22	512,71	0,98	85	42,5	<b>41,75</b>

06 | Tabella calcolo indicatori IPR e PA Involucro e solaio

Calculation table index IPR and PA: limestone masonry and concrete blocks; intermediate floor

<b>Copertura_Ed 1</b>	Embodied Energy <sub>originaria</sub> (EE <sub>orig</sub> )	Embodied Energy <sub>rifiuti</sub> (EE <sub>rit</sub> )	Embodied Energy <sub>residua</sub> (EE <sub>res</sub> )	Embodied Energy <sub>efficace</sub> (EE <sub>eff</sub> )	Prestazione Tecnologica Residua (PR)	Indice di Prestazione Residua (IPR)	Potenziale Ambientale (PA)
UM	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	tra 0 e 1	(W/m <sup>2</sup> K)	%	IPR/EE <sub>eff</sub>
Note/Formola di calcolo	-	Tutti i materiali sono riutilizzabili	EE <sub>originaria</sub> - EE <sub>rifiuti</sub>	EE <sub>residua</sub> /EE <sub>originaria</sub>	Trasmittanza termica copertura		da 0 a 1
Valori	983,84	0	983,84	1	1,75	19,43	<b>19,43</b>

<b>Copertura_Ed 2</b>	Embodied Energy <sub>originaria</sub> (EE <sub>orig</sub> )	Embodied Energy <sub>rifiuti</sub> (EE <sub>rit</sub> )	Embodied Energy <sub>residua</sub> (EE <sub>res</sub> )	Embodied Energy <sub>efficace</sub> (EE <sub>eff</sub> )	Prestazione Tecnologica Residua (PR)	Indice di Prestazione Residua (IPR)	Potenziale Ambientale (PA)
UM	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	%	W/m <sup>2</sup> K	%	da 0 a 1
Note/Formola di calcolo	-	Viene rimosso lo strato in calce	EE <sub>originaria</sub> - EE <sub>rifiuti</sub>	EE <sub>residua</sub> /EE <sub>originaria</sub>	Trasmittanza termica copertura		IPR/EE <sub>eff</sub>
Valori	528,94	9,22	519,72	0,98	1,63	20,9	<b>20,50</b>

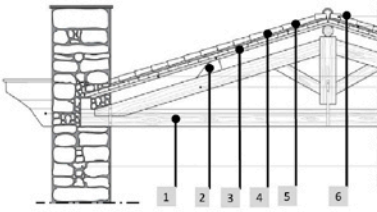
07 | Tabella calcolo indicatori IPR e PA Coperture edifici 1 e 2

Calculation table index IPR and PA: pitched roof of build 1 and simple pitched roof, build. 2

### Conclusions

The wide EE data variability of mate-



Copertura in legno edificio 1	Materiali	Funzione	Densità (kg/m <sup>3</sup> )	Dimensione (cm)	Embodied Energy (MJ/Kg)	Embodied Energy (MJ/m <sup>2</sup> )	
 <p>Copertura Superiore Inclinata su capriata e struttura secondaria in legno; tavolato e manto in tegole.</p>	1	Capriata in legno	640	20*20	7,4	378,88	
	2	Struttura secondaria (12*12cm)	640	12*12	7,4	68,20	
	3	Tavolato in legno	sostegno finitura	640	3	7,4	142,08
	4	Listellini in legno	Supporto finitura	640	2*2	7,4	39,78
	5.a	EPS ( $\lambda=0,033W/mK$ )	Isolamento termico	25	8	88,6	265,80
	5.b	Sughero ( $\lambda=0,045W/mK$ )		110	12	4	52,80
6	Manto in tegole	Protezione/Finitura	1500	45*14	6,5	354,90	
						$EE_{totale}$ (eps)	1249,64
						$EE_{totale}$ (sughero)	1036,64

di *decoupling* delle risorse (Xue, 2014), favorendo l'adozione di materiali a bassa impronta ecologica ed alta efficienza prestazionale. L'interesse di questi scenari operativi suggerisce ulteriori approfondimenti e sviluppi di quanto presentato per definire, oltre che un approccio progettuale, anche una base operativa utile alle pubbliche amministrazioni per avviare una programmazione territoriale eco-consapevole.

#### NOTE

<sup>1</sup> Un'abitazione più sicura ed efficiente e rispettosa dell'ambiente è preferita dal 70% degli intervistati da Ipsos Public Affairs.

<sup>2</sup> Dopo gli studi di fine XVIII° sec., R. Zant ne formalizza il concetto negli anni '50. L'*exergia* per un sistema chiuso è definita come la funzione di stato che fornisce il lavoro massimo ottenibile dal sistema nel portarlo all'equilibrio con l'ambiente.

rials and manufacturing processes of today's inventory implicates a margin of approximation for analytical experimentations, that increases when working on the pre-existing buildings. However, turn out to define the built environmental potential, by optimizing energy and resources, is the first step to limit the countable environmental impacts in climatic changes and consumption of non-renewable resources. Moreover, starting from residual performances, the subsequent comparison between used energy and used matter will be able to contribute to estimate the technological efficiency of constructive solutions in terms of decoupling of resources (Xue, 2014), promoting the adoption of low ecological footprint material and high efficiency performance. The interest of these operating scenarios suggest further detailed studies and developments

regarding what showed to define, not only a design approach but also an operating base useful to public administrations to enhance an eco-informed approach for a territorial planning.

#### NOTES

<sup>1</sup> A house more safer and efficient, environmental friendly, is preferred by 70% of interviewed by Ipsos Public Affairs

<sup>2</sup> After studying late 18th century, R. Zant states the notion in the 1950s. The *exergy* in a closed system is the function of state providing maximum work to get it in equilibrium with its environment.

#### REFERENCES

- Caterina, G. (2016), "Strategie innovative per il recupero delle città storiche", *Techne Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 12, pp. 33-35.
- Giebler, G. and Kahlfeldt, P. (2009), "Il costruire come work in progress: riflessioni sugli interventi con l'esistente", in Giebler, G. et al. (Eds.), *Atlante della riqualificazione degli edifici. Modificazione, manutenzione, ampliamento*, UTET Scienze Tecniche, Turin, pp. 16-19.
- Douglas, J. (2011), *Building Adaptation*, Heriot-Watt University, Edinburgh, UK.
- ENEA (2017), *Rapporto Annuale - Detrazioni fiscali del 65% per la riqualificazione energetica del patrimonio esistente*, Rome.
- Ecorys and Copenhagen Resource Institute (2014), "Resource efficiency in the building sector", available at: [http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/Resource efficiency in the building sector.pdf](http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/Resource%20efficiency%20in%20the%20building%20sector.pdf).
- Ruuska, A. and Häkkinen, T. (2014), "Material Efficiency of Building Construction", *Buildings*, Vol. 4, pp. 266-294.
- Gartner, E.M. and Smith, M.A. (1976), "Energy cost of house construction", *Energy Policy*, Vol. 4, No. 2, pp. 144-157.
- Dixit, M.K, Fernández-Solís, J-L., Lavy, S. and Culp, C.H. (2010), "Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review", *Energy and Buildings*, Vol. 42, pp. 1238-1247.
- Menzies, G.F. (2011), *Embodied energy considerations for existing buildings*, Research report, Technical Paper 13 of Historic Scotland Research, Heriot-Watt University, Edinburgh, UK.
- Preservation Green Lab (2012), *The Greenest Building: Quantifying the Environmental Value of Building Reuse*, available at: [https://living-future.org/wp-content/uploads/2016/11/The\\_Greenest\\_Building.pdf](https://living-future.org/wp-content/uploads/2016/11/The_Greenest_Building.pdf).
- Baker, N.V. (2009), *The Handbook of Sustainable Refurbishment*, Gutemberg Press, Malta.
- Antonini, E. (2004), "Valutazione dell'idoneità tecnica al reimpiego di componenti edilizi", in Gangemi, V. (Ed.), *Riciclare in architettura. Scenari innovativi della cultura del progetto*, Clean Edizioni, Naples.
- Schwartz, Y., Raslan, R. and Mumovic, D. (2018), "The life cycle carbon footprint of refurbished and new buildings - A systematic review of case studies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 81, pp.231-241.
- Xue, J. (2014), *Economic Growth and Sustainable housing: an un easy relationship*, Routledge, Oxford, UK.