

POLITECNICO DI TORINO  
Collegio di Architettura  
Corso di Laurea Magistrale in Architettura Per Il Progetto Sostenibile  
Anno Accademico 2019-2020



Approcci LCC (Life Cycle Costing) e LCA (Life Cycle Assessment)  
congiunti per la valutazione economico-ambientale  
di soluzioni tecnologiche alternative

RELATORE:

Elena Fregonara

CORRELATORI:

Diego Giuseppe Ferrando

Elena Montacchini

Silvia Tedesco

CANDIDATO:

Alessandra Evangelisti (250877)



*Alla mia famiglia*



---

# Sommario

|              |   |
|--------------|---|
| Introduzione | 9 |
|--------------|---|

## PARTE 1

|  |    |
|--|----|
| 1. Strumenti per la valutazione della sostenibilità economica e ambientale nel ciclo di vita | 17 |
| 1.1. Life Cycle Thinking   | 21 |
| 1.2. Life Cycle Assessment   | 23 |
| 1.3. Life Cycle Costing  | 26 |
| 2. Sostenibilità economica   | 33 |
| 2.1. Evoluzioni dell'approccio LCC   | 36 |
| 2.2. L'approccio Life Cycle Costing: aspetti operativi                                       | 39 |
| 2.3. Valutazione economico-ambientale nel ciclo di vita attraverso un indicatore sintetico   | 63 |
| 3. Sostenibilità ambientale  | 67 |
| 3.1. Evoluzioni dell'approccio LCA   | 70 |
| 3.2. Le potenzialità della LCA nel contesto attuale  | 73 |
| 3.3. L'approccio Life Cycle Assessment: aspetti operativi                                    | 80 |

## PARTE 2

|   |     |
|---|-----|
| 4. Proposta metodologica                                    | 97  |
| 4.1. Life Cycle Costing congiunta con Life Cycle Assessment | 98  |
| 4.2. La valutazione di soluzioni tecnologiche alternative   | 101 |

---

### PARTE 3

|   |     |
|---|-----|
| 5. Caso studio                                | 105 |
| 5.1. La Biocasa                               | 106 |
| 5.1.1. Il sistema costruttivo                 | 107 |
| 5.1.2. Le strategie e soluzioni “sostenibili” | 111 |
| 5.2. Le soluzioni tecnologiche attuali        | 115 |
| 5.3. Le soluzioni tecnologiche sperimentali   | 121 |

### PARTE 4

|   |     |
|---|-----|
| 6. Valutazione economico - ambientale degli scenari tecnologici   | 133 |
| 6.1. Applicazione dell’approccio LCC sugli scenari “attuale” e “sperimentale”                           | 134 |
| 6.2. Analisi LCC+LCA sullo scenario attuale e sperimentale  | 140 |
| 6.2.1. Voci di costo nel dettaglio  | 141 |
| 6.3. Applicazione congiunta di LCC e di LCA e calcolo di un indicatore sintetico economico - ambientale | 167 |
| 6.4. Risultati dell’applicazione  | 170 |
| Conclusione   | 175 |
| Bibliografia  | 183 |
| Allegati  | 189 |





# Introduzione

Ogni anno sul pianeta vengono sfruttate miliardi di tonnellate di materie prime non rinnovabili per generare energia. Purtroppo, nonostante siano state fatte (e continuano ad essere fatte) tante campagne di sensibilizzazione sull'utilizzo di fonti alternative rinnovabili, **le principali fonti d'energia rimangono quelle non rinnovabili**. Tra cui in primis troviamo il petrolio, a seguire il carbone e i gas naturali<sup>1</sup>. Le materie prime non rinnovabili perciò, ad oggi, sono ancora elementi fondamentali e indispensabili per lo sviluppo sociale ed economico dell'umanità. Di contro i processi utilizzati per trasformarle in energia comportano enormi emissioni di sostanze inquinanti nell'ambiente. Solo per fare degli esempi di alcuni effetti dovuti allo sfruttamento delle materie prime, basta pensare ai cambiamenti climatici, all'estensione della desertificazione, allo scioglimento dei ghiacciai, al relativo riscaldamento degli oceani e all'innalzamento del livello dei mari. Senza considerare il fatto che queste fonti sono soggette ad esaurirsi in un tempo relativamente breve e che possono essere utilizzate solo una volta e non sono riproducibili naturalmente in brevi periodi.

---

<sup>1</sup> Fonte: EIA: United States Energy Information Administration/ (1/2020)



Per cercare di migliorare la situazione attuale, alcuni interventi che si dovrebbero incentivare possono essere: il miglioramento dell'efficienza nell'estrazione e nella lavorazione delle risorse, al fine di evitare sprechi, la riduzione dell'uso di risorse non rinnovabili, l'incentivazione del riciclo in tutti i settori, l'adozione di politiche che investano nell'efficienza energetica individuando **strumenti concreti per il contenimento dei consumi e l'impiego di materiali ecocompatibili o con alto grado di riciclabilità.**

Proprio quest'ultimo intervento è il principio ispiratore che ha dato il via a questo percorso di tesi.

Il lavoro svolto è di **ricerca e sperimentazione**. Partendo da metodologie e approcci operativi esistenti, quali gli approcci LCC e LCA, si sperimentano alcune applicazioni su un caso studio reale. L'**obiettivo della sperimentazione** è la verifica dell'efficacia dell'uso congiunto dei due approcci, al fine di supportare la scelta fra opzioni di progetto (tecnologie) alternative, in ottica di sostenibilità economico-ambientale.

Si tratta di una metodologia già applicata in maniera congiunta in precedenti tesi discusse presso il Politecnico di Torino, a scale differenti a partire dal singolo componente, all'applicazione su un modulo prefabbricato. In questo caso per l'applicazione congiunta dei due approcci sopracitati, è stato utilizzato quale caso studio un'unità abitativa sita a Narzole, in provincia di Cuneo, che è stata



messa a disposizione dall'azienda Sarotto Group (proprietaria e costruttrice della stessa).

Prima di sviluppare l'analisi del caso studio, però, sono introdotte le metodologie per la valutazione economica e ambientale applicate in seguito.

In particolare, come anticipato, si considerano gli approcci Life Cycle Costing (LCC) ed il Life Cycle Assessment (LCA) utilizzati anche in maniera congiunta per avere un **riscontro economico-ambientale** più completo.

L'utilizzo di queste metodologie in maniera congiunta consente di trattare diversi aspetti della sostenibilità di un edificio andando ad integrare l'analisi ambientale alla valutazione economica. Ciò aiuta ad avere una consapevolezza maggiore del significato di "sostenibilità" legata ad un intervento migliorativo su un edificio. Nel caso specifico di questa tesi, queste due metodologie supportano e comparano la soluzione attuale con una soluzione alternativa e valutano la convenienza economico-ambientale.

All'inizio della prima parte della tesi è descritto e analizzato il **ciclo di vita edilizio**, punto di partenza per intraprendere le valutazioni ambientali ed economiche. Successivamente è richiamato il **Life Cycle Thinking** che rappresenta la teoria alla base degli approcci sopracitati, utili per confrontare due o più prodotti tra loro dal punto di vista ambientale (LCA) e dal punto di



vista economico (LCC).

È poi analizzato ed esposto in maniera più approfondita l'approccio del **Life Cycle Costing**. Si parte dalle origini e dallo sviluppo di questo approccio fino alla spiegazione dei 15 passaggi che costituiscono il percorso operativo da seguire. Tra questi passaggi è fondamentale la definizione delle voci di costo e del periodo di analisi. Tale periodo varia in base al tipo di analisi che si vuole svolgere e di conseguenza cambia di caso in caso.

Altro concetto fondamentale che si trova nei 15 passaggi è quello degli indicatori sintetici che valutano e permettono di confrontare due prodotti o, in questo caso, due edifici. Questi indicatori sono il Net Present Value; il Saving Investment Ratio; il Pay-back Period; l'Adjusted Internal Rate of Return; il Net Benefits e il Net Savings. Tutti questi saranno descritti nel dettaglio all'interno del capitolo di riferimento.

Poi si affronta il tema della sostenibilità ambientale ed in particolare uno degli approcci che viene utilizzato per analizzare e studiare l'evoluzione di un sistema o prodotto: il **Life Cycle Assessment**. Di tale sistema sono state descritte le prestazioni energetiche ed ambientali; le normative nazionali ed internazionali che lo regolamentano; le sue origini e lo sviluppo che ha avuto



negli ultimi decenni. Vengono elencate le possibili applicazioni nello scenario attuale prima di descrivere la struttura della LCA in tutti i suoi dettagli.

La seconda parte della tesi riassume gli obiettivi che si vuole ottenere attraverso l'**analisi congiunta di LCC e LCA**. L'**obiettivo** è valutare, tramite l'applicazione degli approcci LCC ed LCA, scenari alternativi a quelli proposti all'interno della soluzione tecnologica attuale.

Nella terza parte, invece, è stato introdotto e analizzato il **caso studio**. L'edificio in questione è costruito con un sistema prefabbricato ideato e brevettato dall'azienda Sarotto Group. Nello specifico lo scenario attuale prevede la prefabbricazione in stabilimento di pannelli di tamponatura dell'edificio costituiti da un sandwich di lastre sagomate di cemento con all'interno uno strato di isolamento in polistirene. La parte strutturale della casa è invece costituita da travi e pilastri in cemento armato. La singolarità di questo sistema va ricercata sia nelle scanalature del pannello di cemento che costituisce il sandwich sia nel cemento stesso. Questo infatti è stato additivato con diversi componenti al fine di renderlo più naturale. Inoltre, prefabbricando i pannelli in stabilimento si riescono a ridurre le spese di produzione e i tempi di consegna dei lavori. Questo sistema è stato brevettato sotto il nome di "Klimasismico"<sup>2</sup>.

2 <https://www.sarotto.it/> (10/2019)



L'edificio oggetto di studio è anch'esso brevettato ma sotto il nome di Biocasa Sarotto®<sup>2</sup> (in seguito chiamata solo Biocasa).

Per proporre e valutare una soluzione alternativa è stato utilizzato un materiale che attualmente il Politecnico di Torino sta sperimentando e studiando (sempre in collaborazione con l'azienda Sarotto Group). Questo materiale si chiama **Ecoffi** ed è una miscela di cemento naturale, paglia di riso, tutolo di mais, acido citrico e acqua<sup>3</sup>.

Nella quarta ed ultima parte sono applicate le metodologie per la valutazione economico-ambientale (LCC ed LCA), precedentemente descritte, allo scenario attuale e allo scenario sperimentale.

Sono stati esplicitati tutti i passaggi eseguiti per calcolare le varie voci di costo utili per l'analisi LCC ed LCA combinata. In particolare, le voci di costo analizzate e ritenute rilevanti ai fini dell'analisi sono state il Costo di costruzione, il Costo ambientale, il Costo di gestione, il Costo di manutenzione, il Costo ambientale degli interventi di manutenzione ed infine il Costo di smaltimento. Tutti elementi necessari per **comparare i due scenari tecnologici alternativi**. Questi costi sono fattori importanti anche per riuscire a definire quale sia la migliore opzione, in termini non solo di costo, ma anche di impatto ambientale, nel ciclo di vita considerato, in particolare partendo dalla costruzione allo smaltimento,

<sup>3</sup> <https://www.sarotto.it/> (10/2019)



includendo la fase di esercizio e manutenzione.

Per poter fare ciò è stato utilizzato uno sviluppo del calcolo del Global Cost che riesce a collegare le componenti economiche calcolate con LCC e il Costo ambientale relativo all'Embodied Energy ed Embodied Carbon dei materiali utilizzati durante l'intero ciclo di vita dell'edificio.

Come sarà possibile evincere dal lavoro, i risultati dimostrano che la metodologia proposta risulta utile ai fini della valutazione economico-ambientale tra soluzioni tecnologiche. Nel caso specifico oggetto di sperimentazione, la soluzione tecnologica sperimentale risulta un'alternativa vantaggiosa sia dal punto di vista economico sia ambientale rispetto alla soluzione tecnologica attuale, anche se, analizzando l'intero ciclo di vita, non si rileva una sostanziale differenza economica tra i due scenari.

Ovviamente i risultati della sperimentazione, qui condotta ai soli fini didattici, andrebbero ulteriormente verificati e confrontati considerando anche le voci omesse, o parzialmente ricostruite, o calcolate in modalità approssimativa. Pertanto i risultati devono essere opportunamente interpretati in considerazione dei limiti del lavoro di simulazione didattico, e considerando l'obiettivo di indagine metodologica.

1

# 1. Strumenti per la valutazione della sostenibilità economica e ambientale nel ciclo di vita

**1.1.** Life Cycle Thinking

**1.2.** Life Cycle Assessment (LCA)

**1.3.** Life Cycle Costing (LCC)

2. Sostenibilità economica

3. Sostenibilità ambientale



Negli ultimi decenni si è assistito alla nascita e allo sviluppo di approcci metodologici per la valutazione delle prestazioni ambientali degli edifici. Questi approcci hanno portato ad alcuni tra i più significativi cambiamenti nell'attività di progettazione. È nata, infatti, la necessità di andare a definire l'ecocompatibilità di un'architettura, distinguendo un orientamento culturale e uno metodologico. Quello culturale è legato ai paradigmi di riferimento ed alle recenti tendenze dell'architettura contemporanea; mentre quello metodologico ad un processo di analisi e valutazione del comportamento ambientale di un edificio, in risposta ai requisiti introdotti dalla normativa e dagli strumenti di gestione e certificazione.

Oggi il progettista ha sicuramente un compito in più rispetto a qualche anno fa: durante le fasi di progettazione e di cantiere deve indirizzare la scelta dei materiali costituenti l'edificio verso **materiali con un'alta percentuale di riciclabilità**. Qualora non riesca a favorire la riciclabilità dovrebbe almeno preferire materiali adatti allo smaltimento come rifiuti inerti e non pericolosi. La scelta andrebbe fatta selezionando **prodotti ed elementi tecnici che non comportino un grande carico sull'ecosistema** e che non abbiano sostanze additivate e inquinanti tossici.

Per rispondere adeguatamente agli obiettivi di compatibilità, la progettazione ha il compito di connotarsi come "forma integrata tra tutte le fasi del ciclo di vita



di un edificio"<sup>1</sup>, in cui il concetto di analisi e valutazione del ciclo di vita viene considerato inevitabile.

Per migliorare la qualità progettuale complessiva di un prodotto si devono utilizzare gli strumenti di valutazione dell'ecocompatibilità. Questi andranno a rendere i progetti sicuramente più competitivi su aspetti economici, ecologici e commerciali rispetto a quelli in cui l'ecocompatibilità risulta essere ancora un aspetto irrilevante.

Prima di descrivere quali sono gli strumenti di valutazione dell'ecocompatibilità, bisogna sapere che per avere un approccio ecocompatibile al progetto, bisognerebbe conoscere tutto il ciclo di vita dell'edificio, evitando che le nuove scelte, energetiche e ambientali di un edificio, possano comportare eventuali condizioni di insostenibilità ambientale in momenti differenti del processo edilizio.

È proprio per evitare problemi di questo tipo che è necessario conoscere e studiare le fasi del ciclo di vita di un edificio:

- La **preproduzione** è la prima fase in cui sono previste varie attività tra cui: l'estrazione delle risorse primarie di derivazione fossile; l'acquisizione delle risorse di origine naturale e delle risorse secondarie che derivano dai combustibili primari; il trasporto delle risorse dal luogo di estrazione al sito

---

<sup>1</sup> BROSSA E., CIPOLLA M.S., *L'uso del legno per un'edilizia sostenibile: analisi LCCA per una progettazione consapevole*, Tesi di laurea, Rel. Tulliani J.M.C.T., Ferrando D.G., Politecnico di Torino, 2014, p. 52



produttivo; la trasformazione delle risorse di origine primaria in energia e in materie prime pronte per essere immesse nel processo di produzione.

- La **produzione fuori opera** e la **distribuzione** prevedono: la trasformazione delle risorse in materia di prima lavorazione; la trasformazione delle materie di prima lavorazione in prodotti finiti tramite operazioni di finitura; il montaggio delle componenti in un prodotto assemblato; l'imballaggio del prodotto finito garantendo l'arrivo in condizioni di perfetta conservazione.

- La **costruzione dell'edificio** prevede: la movimentazione di terreno attraverso scavi; lo spostamento e la rimozione di terra per la preparazione della fondazione; la costruzione delle opere edilizie.

- L'**utilizzo** e **manutenzione** prevedono: l'utilizzo degli impianti e delle tecnologie presenti nell'edificio; i lavori di manutenzione ordinaria ossia pulitura e riparazione; i lavori di manutenzione straordinaria ossia operazioni di sostituzione delle componenti danneggiate.

- La **dismissione** prevede: la rimozione e il trasporto dei materiali provenienti dalle operazioni di demolizione selettiva e disassemblaggio; il riuso dei materiali che ricoprono la stessa funzione per cui sono stati prodotti; il recupero di componenti per ottenere un prodotto uguale o paragonabile a quello di partenza; il riciclaggio di materiali e componenti che cambiano la loro funzione iniziale; l'incenerimento attraverso la degradazione termica del materiale; la



discarica autorizzata.

Lo strumento di valutazione dell'ecocompatibilità che viene di seguito affrontato è Life Cycle Thinking, un concetto che tiene conto di tutti gli aspetti del ciclo di vita e che è alla base dei successivi strumenti di valutazione: Life Cycle Assessment e Life Cycle Costing.

## 1.1. Life Cycle Thinking

In Italia, le tecniche di valutazione ambientale ed economica sono state prevalentemente riferite alle fasi di progettazione e costruzione, tralasciando le fasi che precedono e seguono le stesse.

È definito Life Cycle Thinking (LCT) “l’approccio per la valutazione degli impatti che un prodotto ha nel suo intero ciclo di vita, andando a proporre come obiettivi l’ottimizzazione delle risorse, degli impatti ambientali e sociali includendo i costi di produzione”<sup>2</sup>. È fondato sul presupposto che il consumo di un servizio implica diverse attività correlate fra loro.

Sostanzialmente si può definire come un’impostazione di pensiero che propone di tener conto di tutti gli aspetti del ciclo di vita di un prodotto o servizio prima di avviarne la relativa progettazione, realizzazione e distribuzione. Un approccio di LCT cerca di collegare gli impatti sociali e ambientali, al valore economico di

<sup>2</sup> FREGONARA E., *Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura*, Franco Angeli, 2016, p. 99.



un prodotto (costi economici).

Il Life Cycle Thinking permette di andare oltre la tradizionale attenzione sui processi di produzione di un prodotto, infatti, permette di comprendere tutti gli impatti (economici, ambientali, sociali, ecc.) che un prodotto ha nel suo intero ciclo di vita <sup>3</sup>.

“In Italia il concetto di ciclo di vita è recepito nell’estimo e la valutazione economica dei progetti in cui si mettono in relazione gli strumenti economico-estimativi con i processi di sviluppo immobiliare, rapportando la dimensione processuale e diacronica con la fattibilità nei suoi diversi stadi”<sup>4</sup>.

Per agevolare i professionisti nell’utilizzo di un approccio di LCT e perciò per confrontare due o più prodotti tra loro, sono stati proposti innumerevoli strumenti e metodi in tutto il mondo. Questi sono associati al mondo del Project Management, ai principi di life cycle thinking e al concetto di ciclo di vita. I due strumenti che vengono maggiormente utilizzati sono quelli del Life Cycle Assessment (LCA) e di Life Cycle Cost (LCC). In particolare:

- LCA Life Cycle Assessment definito dalle norme ISO 14040/44, consiste in "un metodo di valutazione e quantificazione dei carichi energetici e ambientali, degli impatti potenziali associati ad un prodotto, ad un processo o ad un’attività, nel periodo del ciclo di vita e perciò dalla sua produzione al suo smaltimento"<sup>5</sup>.

<sup>3</sup> <http://www.lifecycleinitiative.org/> (12/2019)

<sup>4</sup> FREGONARA E., *Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell’architettura*, Franco Angeli, 2016, p. 99.



- LCC Life Cycle Costing (nota anche come Life Cycle Cost Analysis) definita dalle norme ISO 15686-5, rappresenta "una tecnica per la valutazione economica di un intervento di nuova costruzione o su un bene esistente, tenendo conto dei costi e dei benefici sia immediati, sia di lungo termine. Si configura pertanto come strumento di supporto alle scelte progettuali in svariati contesti, dai prodotti o componenti individuali, all'intero sistema d'impianti di un edificio, ad un intero progetto di nuova costruzione, ad un progetto di ristrutturazione di un bene esistente"<sup>5</sup>.

## 1.2. Life Cycle Assessment

Uno degli strumenti operativi del Life Cycle Thinking è il LCA che propone la visione sistemica dei processi produttivi e dei prodotti. L'analisi del ciclo di vita è "un metodo utilizzato per l'analisi dell'impatto ambientale di un prodotto, di un'attività o di un processo, nell'arco del ciclo di vita".<sup>6</sup> Questo metodo può essere definito anche come uno dei principali riferimenti per molti metodi di valutazione della compatibilità ambientale dei prodotti da costruzione. L'impatto ambientale è valutato in tre grandi aree di protezione ambientale tra cui: l'esaurimento delle risorse, la salute umana e la conservazione dell'ambiente.

---

<sup>5</sup> FREGONARA E., *Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura*, Franco Angeli, 2016, p. 100.

<sup>6</sup> <http://www.etichettaambientale.it/lca.html/> (12/2019)



L'impatto in genere viene stimato tramite:

- La quantificazione degli input come l'utilizzo delle risorse (energia e materie prime, acqua e uso del suolo) e degli output, come le emissioni in aria e acqua e la produzione di rifiuti
- La definizione di categorie di impatto (consumo di risorse, riscaldamento globale, riduzione della fascia di ozono troposferico, acidificazione delle acque, eutrofizzazione delle acque, produzione di smog fotochimico, tossicità per l'uomo, eco tossicità, biodiversità, produzione di rifiuti)
- La classificazione degli input e degli output all'interno di ciascuna categoria di impatto
- La quantificazione degli impatti relativi a input e output mediante indicatori di impatto e fattori di caratterizzazione.

Effettuare un'analisi LCA, andando a delineare le prestazioni energetiche e ambientali attraverso appositi modelli operativi, vuol dire analizzare la storia di un prodotto o di un processo dalla produzione fino al suo smaltimento. Questo lasso di tempo viene anche definito in gergo, attraverso la ormai nota locuzione, "cradle to grave" ossia "dalla culla alla tomba".

La LCA è uno dei riferimenti per i molti metodi di valutazione della compatibilità ambientale dei prodotti da costruzione. È, quindi, un processo di quantificazione



di consumi energetici, dei materiali usati e dei rilasci nell'ambiente e un procedimento di valutazione degli impatti sull'ecosistema riconducibili al consumo di risorse e alle emissioni di inquinanti.

Poiché tramite l'analisi LCA, è possibile analizzare solo alcuni sottoinsiemi riconducibili ai processi di produzione e non alla complessità di un edificio, bisogna procedere con integrazioni metodologiche appropriate per calcolare le prestazioni complessive di un edificio.

L'interesse notevole per lo strumento LCA (Life Cycle Analysis), ha portato ad un riconoscimento ed una standardizzazione internazionale tramite norme ISO successivamente aggiornate in norme UNI. In particolare, le normative che fanno riferimento alla LCA sono la UNI EN ISO 14040:2006 e UNI EN ISO 14044:2006, che vanno anche a modificare il nome da Life Cycle Analysis in Life Cycle Assessment.<sup>7</sup> Queste norme dividono l'analisi LCA in quattro momenti principali differenti:

- Definizione degli obiettivi e del campo di applicazione dello studio (Goal and scope definition)
- Analisi di inventario (LCI Life Cycle Inventory)
- Analisi degli impatti (LCIA Life Cycle Impact Assessment)
- Interpretazione e miglioramento (Life Cycle Improvement).

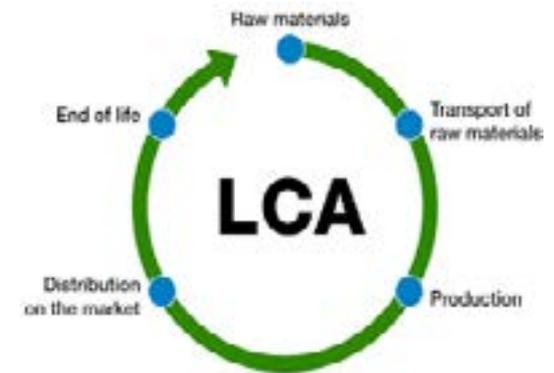


Fig 1\_1. Passaggi per poter svolgere un'analisi LCA  
(Fonte: <https://www.ediltecnico.it/54398/lca-life-cycle-assessment/> (09/2019))

<sup>7</sup> BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008



### 1.3. Life Cycle Costing

Un altro strumento operativo del Life Cycle Thinking è il Life Cycle Costing ossia una metodologia che consente di valutare i costi lungo l'intero ciclo di vita del prodotto, dalla produzione alla fase di smaltimento.<sup>8</sup>

La LCC rappresenta il costo totale di un'operazione o di parte di questa nell'arco della sua vita, includendo i costi di pianificazione, progettazione, acquisizione, gestione, manutenzione e dismissione, meno il valore residuo. È una valutazione economica in cui si considerano tutti i costi che sono originati dall'opera in un periodo determinato di analisi.

Viene regolamentata nella normativa ISO 15686, che è composta da undici parti:

- ISO 15686-1 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 1, General principles and framework
- ISO 15686-2 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 2, Service life prediction procedures
- ISO 15686-3 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 3, Performance audits and reviews
- ISO 15686-4 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 4, Service Life Planning using IFC based Building Information Modelling

<sup>8</sup> [https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/sviluppo-sostenibile/temi-1/sviluppo-sostenibile/green-public-procurement/faq-gpp/che-cosa-e-il-life-cycle-costing-lcc/ \(08/2019\)](https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/sviluppo-sostenibile/temi-1/sviluppo-sostenibile/green-public-procurement/faq-gpp/che-cosa-e-il-life-cycle-costing-lcc/ (08/2019))



- ISO 15686-5.2 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 5, Life-cycle costing
- ISO 15686-6 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 6, Procedures for considering environmental impacts
- ISO 15686-7 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 7, Performance evaluation for feedback of service life data from practice
- ISO 15686-8 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 8, Reference service life estimation
- ISO 15686-9 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 9, Guidance on assessment of service-life data
- ISO 15686-10 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 10, When to assess functional performance
- ISO 15686-11 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 11, Terminology Parts 1-3 and parts 5-10 have been published. The others are “Under development”).<sup>9</sup>

La LCC è un tipo di analisi che può essere applicata in varie circostanze costruttive: per un unico impianto completo, per un insieme di componenti o una singola componente.

Si può utilizzare quest'analisi anche per un'attività già esistente come

---

<sup>9</sup> ISO 15686:2008, Building and constructed assets – Service-life planning – Part 5: Life Cycle Costing, ISO/TC 59/CS 14



metodo per valutare futuri bilanci operativi o per la valutazione di opzioni di miglioramento. Il periodo che viene utilizzato per l'analisi può essere variabile in base al progetto. Infatti, si può considerare tutto il ciclo di vita di un bene costruito o analizzarlo per un periodo limitato all'interno di questo, avendo sempre lo stesso obiettivo.

Per poter applicare la metodologia è necessario un progetto, uno scopo, la scala e il costo del capitale iniziale già ben definiti. Gli obiettivi dell'analisi LCC determineranno l'ambito e il dettaglio dei passi successivi.

L'approccio può essere usato per supportare il processo decisionale sia durante il suo intero ciclo di vita e sia per cercare di migliorare la comprensione totale di un bene. Grazie a questa metodologia si può migliorare la trasparenza della composizione dei costi, rendendo più facili e più efficaci le scelte tra i diversi mezzi e raggiungendo gli obiettivi desiderati. Permette di arrivare ad un adeguato equilibrio tra i costi di capitale iniziali, futuri e ricavi, riconoscendone le opportunità e favorendo una migliore efficienza economica. Infine, viene utilizzata per la valutazione finanziaria di soluzioni alternative identificate nel corso di una analisi della sostenibilità.

LCC è quindi "lo strumento di supporto ai processi decisionali e di allocazione delle risorse fra alternative di intervento immobiliare di nuova costruzione o



ristrutturazione"<sup>10</sup>, per inquadrare la soluzione più vantaggiosa, considerando le prestazioni e un arco temporale pari al ciclo di vita dell'edificio. La metodologia conduce alla formulazione di soluzioni più verificate e rapportate alle prestazioni effettive. Viene incentivata dalla selezione dei materiali e agevolata dal confronto tra alternative arrivando in questo modo ad un indicatore unico, anche definito "indice di efficienza economica", dato che interviene nel calcolo della performance economica di una soluzione progettuale.

Il fondamento in termini teorici della metodologia LCC è proprio il concetto di costo del ciclo di vita, anche detto il costo globale di un progetto nel suo intero ciclo di vita. Supporta la valutazione dei vantaggi economici, cercando di indirizzare la scelta verso la soluzione con costo iniziale maggiore e spese di manutenzione e gestione minori. Grazie all' approccio LCC si può determinare il costo globale di un progetto considerando il suo intero ciclo di vita e quindi includere i costi di pianificazione, progettazione, acquisto, uso, gestione, manutenzione, dismissione, escludendo l'eventuale valore residuo. Solo nel caso in cui si calcoli il Whole Life Cost, il valore residuo dev'essere incluso tra i possibili ricavi (income)<sup>11</sup>.

Attraverso questa metodologia si valutano progetti, materiali e soluzioni

---

10 FREGONARA E., *Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura*, Franco Angeli, 2016, p. 103.

11 ISO 15686:2008, Building and constructed assets – Service-life planning – Part 5: Life Cycle Costing, ISO/TC 59/CS 14



tecnologiche differenti che portano a costi diversi nel ciclo di vita edilizio, individuando così un rapporto diverso fra costo di manutenzione e costo di costruzione. Di conseguenza si possono avere differenze rilevanti anche nei costi di gestione correnti e nei costi delle operazioni di manutenzione, nei consumi energetici e nei cicli di sostituzione delle componenti.

In base agli obiettivi e necessità dei soggetti coinvolti nelle operazioni immobiliari vengono scelti i vari prodotti, materiali e soluzioni tecnologiche: le scelte vengono prese in base all'importanza che è attribuita ai costi di investimento iniziali di capitale rispetto ai costi di gestione negli anni.

È sicuramente uno strumento particolarmente utile nella fase di progettazione preventiva in quanto con il suo utilizzo è possibile evitare i costi per un eventuale riprogettazione futura.

L'applicazione prevede i seguenti caratteri fondamentali:

- Definizione dell'obiettivo dell'analisi;
- Identificazione preliminare dei parametri e dei requisiti dell'analisi;
- Conferma dei requisiti del progetto e dei mezzi necessari;
- Raccolta dei costi e dei dati di performance;
- Applicazione dell'analisi e iterazione;
- Interpretazione e illustrazione dei risultati.

Alcuni dei passaggi che sono sicuramente fondamentali per l'analisi sono:



la definizione degli obiettivi e dei criteri, la sintesi, l'analisi, la costruzione, il collaudo e la valutazione finale.

È importante sottolineare che una LCC “tradizionale” non è uno strumento di contabilità ambientale solo perché contiene le parole ciclo vitale. Questo può sembrare banale, ma dal momento che la metodologia LCC è spesso utilizzata in un contesto ambientale, non può essere sufficiente. Da qui nasce l'esigenza di correlare i due approcci differenti, ottenendo sicuramente una visione complessiva fondata su più certezze.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> GLUNCH P., BAUMANN H., *The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making*, in Building and Environment, Volume 39, Issue 5, 2004

# 1

AVVIO



PIANIFICAZIONE



PROGETTAZIONE



COSTRUZIONE



ESERCIZIO-  
MANUTENZIONE-  
SOSTITUZIONE



FINE VITA-  
SMALTIMENTO



# 1. Strumenti per la valutazione della sostenibilità economica e ambientale nel ciclo di vita

## 2. Sostenibilità economica

- 2.1.** Evoluzioni dell'approccio LCC
- 2.2.** L'approccio Life Cycle Costing: aspetti operativi
- 2.3.** Valutazione economico-ambientale nel ciclo di vita attraverso un indicatore sintetico

## 3. Sostenibilità ambientale



Il costo rappresenta un elemento fondamentale per lo sviluppo di tutte le scelte, partendo dalle prime fasi del processo edilizio fino alla sua conclusione a diverse scale, in ottica di ciclo di vita. Le varie componenti di costo hanno ruoli differenti nella valutazione della sostenibilità dei progetti. Alcuni elementi fondamentali sono: il processo di costruzione, come espressione globale della progettazione; la gestione, come controllo della vita del manufatto e del suo utilizzo; il ciclo di vita edilizio, espresso dall'articolazione dell'intero processo in stadi.<sup>1</sup>

Il ruolo delle componenti di costo è fondato su alcuni elementi costitutivi della fattibilità di un intervento tra cui il processo di costruzione, il ciclo di vita e la gestione.

La sostenibilità economica è spesso intesa come elemento intrinseco, utilizzata tramite indicazioni metodologiche e come documenti operativi autonomi o come normative più generali. Quindi, tramite queste normative, si cerca di recepire e divulgare approcci per la progettazione e programmazione di interventi e per la definizione di standard per la misurazione della performance energetica degli edifici.

Pur essendo in continua evoluzione, le norme all'interno dell'**unione europea** hanno come principali riferimenti, su questi aspetti:

---

<sup>1</sup> FREGONARA E., *Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura*, Franco Angeli, 2016, p. 17



- Direttiva Europea 2002/91/CE: nota come Energy Performance of Building Directive (EPBD) che introduce l'Energy Performance Certificate, per la performance energetica degli edifici;
- Direttiva Europea 2010/31/UE: anche detta EPBD recast, essendo un aggiornamento della precedente e rende obbligatorio il certificato di prestazione energetica per tutti gli edifici dell'Unione Europea;
- Le linee guida formalizzate nel Regolamento delegato (UE) n. 244/2012 del 16 gennaio 2012, riallacciandosi alla precedente Direttiva Europea 2010/31/UE, creando un quadro metodologico comparativo, per calcolare i livelli ottimali in base ai costi per i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi.

A livello **mondiale** invece abbiamo altre normative tra cui:

- ISO 14040:2006 Environmental Management-Life Cycle Assessment<sup>2</sup>,
- ISO 15686:2008 Building and constructed assets – Service-life planning e in particolare la sezione 5<sup>3</sup>.

In **Italia**, le direttive europee vengono recepite dai seguenti decreti:

- Decreto legislativo 192/2005 che attua la direttiva europea 2002/91/CE;
- Decreto del Presidente della Repubblica 59/2009 che attua l'articolo 4 comma

---

2 Preparata dal Technical Committee ISO/TC 207, Environmental Management, Subcommittee SC 5, Life Cycle Assessment.

3 Part 5: Life Cycle Costing, preparata dal Technical Committee ISO/TC 59, Building construction, Subcommittee SC14, Design life.



- 1, del Decreto legislativo 19 agosto 2005, n.192;
- Decreto ministeriale 26/06/2015 che introduce il livello di classificazione energetica (A1-A4);
- Decreto del Presidente della Repubblica 75/2013;
- Decreto legge 63/2013 recepisce 2010/31/UE.

## 2.1. Evoluzioni dell'approccio LCC

Prima di arrivare al termine LCC e alle modalità di sviluppo bisogna raccontare le origini e lo sviluppo di questo approccio.

Tutto parte dalla prima applicazione, alla fine degli anni '50 del termine "cost in use", teorizzato da Stone<sup>4</sup>, nel Regno Unito. Nonostante il sostanziale sforzo esercitato nel promuovere il concetto di "cost-in-use" e spiegando la terminologia, l'applicazione di quest'approccio per gli edifici era stata irregolare così come c'era un dubbio sull'adozione di un metodo che si basa su tutta una serie di ipotesi. Negli Stati Uniti, contrariamente, venivano adottati dei metodi di valutazione economica per le decisioni del governo su grandi progetti<sup>5</sup>. Queste metodologie tenevano conto dei benefici (risparmi) e costi dei progetti oltre il ciclo di vita atteso. **LCC** è stato il primo approccio sviluppato a **metà degli anni '60**, per poter assistere il Dipartimento degli **Stati Uniti** di difesa

<sup>4</sup> Sir John Richard Nicholas Stone (30 August 1913 – 6 December 1991)

<sup>5</sup> Ad esempio, furono adottati questi metodi per investimenti in risorse idriche.



nell'approvvigionamento di attrezzature militari (Epstein, 1996). È stato solo dopo la crisi energetica del 1973 che è stato compreso che bisogna considerare i costi energetici futuri quando si pianificano e progettano edifici. Proprio grazie a questo si è creato un forte interesse per LCC, anche nell'industria delle costruzioni.<sup>6</sup>

Dalla metà degli anni '80, alla maggior parte delle agenzie governative degli Stati Uniti è stato richiesto di utilizzare metodologie per la valutazione formale del ciclo di vita e molti proprietari privati hanno scelto di utilizzare questa metodologia per fare investimenti sugli edifici. In questo modo è stato possibile valutare e confrontare i diversi benefici delle opzioni di energia alternativa negli edifici.

**In Francia**, il concetto LCC è stato introdotto negli **anni '70** con i primi studi sui costi di manutenzione degli edifici (Perret & Jouvent, 1995).

Nel **Regno Unito**, Building Cost Information Service (BCIS)<sup>7</sup> aveva prodotto una pratica guida sull'applicazione di LCC (BCIS, 2008), che è stata adottata dall'Organizzazione internazionale per la standardizzazione (ISO).

La norma **ISO 15686-5** è entrata in vigore nel Regno Unito **il 30 giugno 2008**, successivamente sostituita dalla norma **ISO 15686-5:2017**.

Gli sviluppi della terminologia della LCC sono piuttosto lunghi e si parte dal

<sup>6</sup> GOH B.H., SUN Y., *The development of life-cycle costing for buildings*, in Journal Building Research & Information, Volume 44, 2016 - Issue 3, 2015, p. 320

<sup>7</sup> Di proprietà della Royal Institution di Chartered Surveyors (RICS)



“ciclo di vita” che è il termine più vecchio utilizzato per i “costi per dell’intera vita”. Il termine “Cost-in-use “ è "obsoleto", secondo Ferry, Brandon, & Ferry (1999). Il termine “Life Cycle Costing”, o il più attuale” Whole-life costing”, è usato per poter descrivere una forma di tecnica di modellazione che incorpora l’analisi e la stima di capitale e costi di gestione.<sup>8</sup>

Nel complesso, la ragione per applicare un’analisi LCC non è diversa da quella di qualsiasi altro processo aziendale: identificare dove la società può ottenere un vantaggio competitivo a lungo termine.<sup>9</sup>

La tabella fornisce una lista illustrativa delle applicazioni della LCC di varie organizzazioni.

| Motivazione                                      | Categoria di prodotto             | Organizzazione                 |
|--|-----------------------------------|--------------------------------|
| Appalto  | Beni durevoli                     | Dipartimento della difesa, USA |
| Definizione delle priorità di ricerca e sviluppo | Beni durevoli                     | Tecnologie unite, USA          |
| Miglioramento del processo                       | Materiali                         | Alcan, Canada                  |
| Valutazione del costo di proprietà               | Beni durevoli                     | Ford, Germania                 |
| Analisi di affidabilità                          | Energia                           | EDF, Francia                   |
| Giustizia intergenerazionale                     | Energia nucleare                  | EDF, Francia                   |
| Analisi di manutenzione                          | Prodotti dei trasporti            | DB, Germania                   |
| Offerte  | Servizi municipali                | Halton, Canada                 |
| Supporto alle vendite                            | Servizi (acqua)                   | AQUA+TECH, Svizzera            |
| EPD  | Beni semi-durevoli                | ABB, Israele                   |
| Aggiornamento apparecchiatura Vs sostituzione    | Cibo                              | Fontis, Nuova Zelanda          |
| Planificazione delle tasse                       | Carta                             | Kemira, Finlandia              |
|  | Stima della CO <sub>2</sub> tassa | Unione Europea                 |

Fig 2\_1. Tabella delle applicazioni della LCC di varie organizzazioni (Fonte: SWARR T. E., HUKELER D., W. KLOPFER, CIROTH H.P.A., BRENT A.C., and PAGAN R., *Environmental Life Cycle Costing: A Code of Practice*, Cetac, 2011)

8 GOH B.H., SUN Y., *The development of life-cycle costing for buildings*, in *Journal Building Research & Information*, Volume 44, 2016 - Issue 3, 2015

9 SWARR T. E., HUKELER D., W. KLOPFER, CIROTH H.P.A., BRENT A.C., and PAGAN R., *Environmental Life Cycle Costing: A Code of Practice*, Cetac, 2011



L'integrazione degli impatti ambientali e sociali negli studi sui costi non è ancora ben sviluppata ed è qui che vengono aggiunti dei parametri alla metodologia di base (LCC) per svolgere delle analisi più complete, che riescano ad includere più campi di applicazione.

## 2.2. L'approccio Life Cycle Costing: aspetti operativi

I concetti di costo globale, costo del ciclo di vita e costo ottimale si fondano su un presupposto comune ossia la ciclicità del processo edilizio o anche sul "ciclo di vita edilizio".<sup>10</sup>

Quest'ultimo può essere schematizzato in sei fasi:

1. Avvio
2. Pianificazione
3. Progettazione
4. Costruzione
5. Esercizio – Manutenzione – Sostituzione
6. Fine vita – Smaltimento

<sup>10</sup> FREGONARA E., *Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura*, Franco Angeli, 2016, p. 26

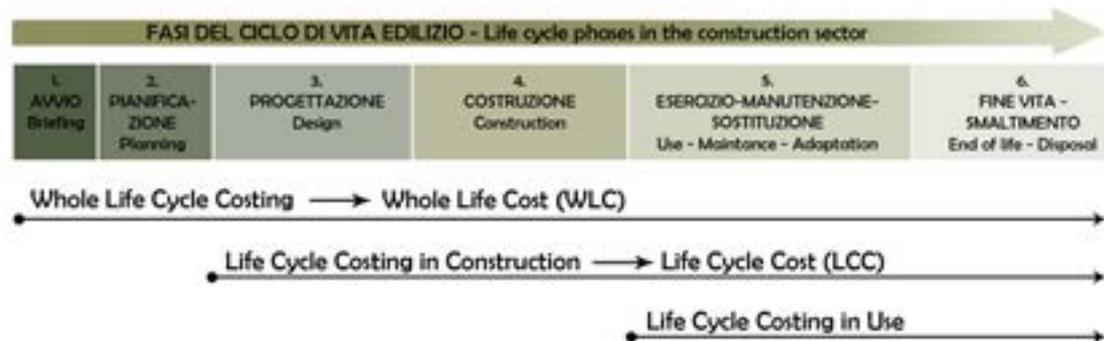


Fig 2\_2. Rielaborazione fasi del processo edilizio e fasi del Life Cycle Costing (Fonte: FREGONARA E., *Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura*, Franco Angeli, 2016)

Una "prima articolazione delle varie fasi del ciclo di vita è:

- la fase di analisi Whole Life Cycle Costing: interessa tutto il ciclo di vita edilizio ossia l'insieme di tutti i costi dalla pianificazione negli interventi alla fine del ciclo di vita, inclusi esternalità, costi non di costruzione, costi negativi;
- la fase di analisi Life Cycle Costing in Construction: interessa le fasi progettuali, attuative e gestionali, includendo i costi della progettazione, della costruzione e della gestione, fino alla conclusione del ciclo;
- la fase di Life Cycle costing in use: interessa le fasi gestionali del ciclo edilizio, includendo i costi operativi di manutenzione e di gestione, fino alla fine del ciclo di vita."<sup>11</sup>

<sup>11</sup> FREGONARA E., *Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura*, Franco Angeli, 2016, p. 107

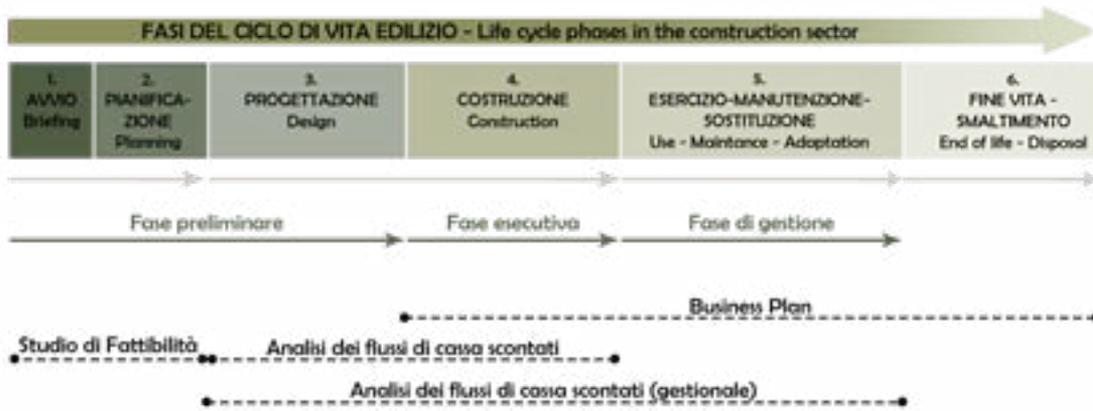


Fig 2\_3. Rielaborazione di Fasi del ciclo di vita edilizio e "filiera valutativa" con tempificazione degli strumenti per per verifiche preliminari (Fonte: FREGONARA E., Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura, Franco Angeli, 2016)

Una prima distinzione per le fasi del ciclo di vita edilizio può essere fatta tra **fase preliminare** e **fase esecutiva**: alla prima corrispondono le fasi pre-progettuale e progettuale del processo di sviluppo immobiliare, alla seconda la fase attuativa gestionale del processo di sviluppo immobiliare.

Alla fase di progettazione del ciclo di vita edilizio corrisponde la **fase progettuale** del processo di sviluppo immobiliare che viene sviluppata a varie scale: **preliminare, definitiva ed esecutiva**. La costruzione apre la fase di attuazione del processo di sviluppo immobiliare e coincide con la cantierizzazione costruzione nel ciclo di vita del progetto.

Con la fase di esercizio-manutenzione e sostituzione del ciclo di vita si sviluppano le attività gestionali, ossia lo stadio di **monitoraggio-controllo** e



**gestione del ciclo di vita del progetto.** Il processo viene chiuso dalla fase di fine vita-smaltimento che non ha una corrispondenza specifica negli altri due processi.

Nelle prime due fasi del ciclo di vita edilizio si posiziona lo **Studio di Fattibilità** che "prevede l'individuazione degli obiettivi e le analisi delle esigenze della committenza. Inoltre, deve individuare le prestazioni che il progetto vuole raggiungere e gli oneri economici-finanziari. Lo Studio di Fattibilità è uno strumento ricorrente nell'ambito della valutazione economica dei progetti. L'obiettivo di questo strumento è supportare i soggetti che operano nel settore delle costruzioni, in particolare quelli che svolgono attività di progettazione architettonica, strutturale, impiantistica o di verifica rispetto all'obiettivo anche di qualità."<sup>12</sup>

Il **Business Plan** interessa le fasi 4, 5 e 6 del ciclo di vita edilizio. Ha come obiettivo quello di definire il progetto a livello imprenditoriale ossia simulare l'impatto del progetto sulle strategie aziendali e sulla pianificazione patrimoniale, finanziaria ed economica. È uno strumento complementare al budget, tramite cui è possibile stimare l'appetibilità di un possibile investimento, senza tralasciare la convenienza economica e la finanziabilità, collegate ad esso.

Avendo fatto una descrizioni di tutte le fasi del ciclo di vita edilizio possiamo

---

<sup>12</sup> ISO 15686:2008, Building and constructed assets – Service-life planning – Part 5: Life Cycle Costing, ISO/TC 59/CS 14



affermare che l'approccio LCC consente di determinare il costo globale di un progetto, considerato nel suo intero ciclo di vita. Include i costi di pianificazione, progettazione, acquisto, uso, gestione, manutenzione, dismissione, escluso l'eventuale valore residuo. La caratteristica di questa metodologia è quella di focalizzarsi soprattutto sui costi che l'acquirente sosterrà successivamente all'investimento iniziale.<sup>13</sup>

È stato stimato che tra il 50% e l'80% del costo totale della vita di un edificio commerciale può essere attribuito al funzionamento, alla manutenzione e all'adeguamento dell'edificio, per un periodo compreso tra 40 e 50 anni.<sup>14</sup>

L'applicazione dell'approccio LCC prevede alcuni **passaggi fondamentali** tra cui:

- definizione dell'obiettivo dell'analisi,
- identificazione preliminare dei parametri e dei requisiti delle analisi,
- conferma dei requisiti del progetto e dei mezzi necessari,
- applicazione dell'analisi e iterazione,
- interpretazione e illustrazione dei risultati.<sup>15</sup>

Se di un progetto sono già stati definiti **scopo, grado di dettaglio e il costo**

<sup>13</sup> NOTARNICOLA B., in Cappellaro F., Scalbi S., *Atti del convegno scientifico della rete italiana LCA*, Palermo, 11-12 giugno 2009, p.17-25

<sup>14</sup> SWARR T. E., HUKELER D., W. KLOPFER, CIROTH H.P.A., BRENT A.C., and PAGAN R., *Environmental Life Cycle Costing: A Code of Practice*, Cetac, 2011, p.1

<sup>15</sup> FREGONARA E., *Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura*, Franco Angeli, 2016, p. 114



Fig 2\_4. Schematizzazione delle fasi della LCC



**capitale iniziale**, gli step già elencati possono essere approfonditi arrivando a delineare il seguente **"percorso operativo di 15 passaggi**:

Step 1. Identificazione dello scopo principale dell'analisi LCC

Step 2. Identificazione dello scopo iniziale dell'analisi

Step 3. Identificazione delle relazioni fra analisi di sostenibilità e LCC

Step 4. Identificazione del periodo di analisi e metodi di valutazione economica

Step 5. Identificazione delle necessità di analisi aggiuntive, quali analisi di rischio/incertezza e di sensitività

Step 6. Identificazione dei requisiti del bene e del progetto

Step 7. Identificazione delle opzioni che devono essere incluse nell' analisi LCC e delle voci di costo da considerare

Step 8. Raccolta di dati di costo e tempo da usare nell' analisi LCC

Step 9. Verifica dei valori dei parametri finanziari e del periodo di analisi

Step 10. Revisione della strategia di rischio e produzione di un'analisi preliminare dei rischi e incertezza

Step 11. Produzione della valutazione economica

Step 12. Applicazione dell'analisi dei rischi incertezze dettagliata se necessario

Step 13. Applicazione dell'analisi di sensitività se necessaria

Step 14. Interpretazione e presentazione dei risultati iniziali



Step 15. Presentazione dei risultati e predisposizione della reportistica finale."<sup>16</sup>

### **Step 1.** Identificazione dello scopo principale dell'analisi LCC

Qui si definiscono lo scopo generale dell'analisi LCC ed i risultati attesi. Grazie all'approccio LCC possono essere fatte delle **scelte** su due fronti differenti: scelte che riguardano **beni già esistenti**, lavorando sui processi di pianificazione, programmazione del bilancio oppure delle scelte sull'eventuale **acquisto di un bene** con le relative varianti tecnologiche/progettuali.

### **Step 2.** Identificazione dello scopo iniziale dell'analisi

Qui viene identificato lo **scopo specifico** della metodologia LCC, andando a definire le **fasi del ciclo di vita** del bene per le quali lo strumento è applicato ed il **contesto dell' analisi**. Il contesto è importante per definire la scala dell'analisi distinguendo fra: bene singolo; componente, materiale o sistema individuale, incluso nel bene suddetto; un portafoglio comprendente un certo numero di assets<sup>17</sup>.

---

<sup>16</sup> FREGONARA E., *Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura*, Franco Angeli, 2016, p. 114

<sup>17</sup> FREGONARA E., *Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura*, Franco Angeli, 2016, p. 115



### **Step 3.** Identificazione delle relazioni fra analisi di sostenibilità e LCC

È un punto molto delicato in quanto alcuni aspetti della sostenibilità sono difficili da misurare e quindi incorporare nella LCC. Seppur gli approcci LCC e LCA siano processi distinti e applicati in due discipline separate, seppur nello stesso settore, quello delle costruzioni, possono essere comunque utilizzati sinergicamente in modalità integrata, in modalità distinta, in modalità congiunta. Nel caso di un'attività di valutazione più completa e dunque congiunta, i due metodi infatti condividono vari presupposti teorici ed operativi, però si differenziano per i risultati e le valutazioni a cui arrivano: **LCC** combina tutti i costi rilevanti associati con un bene in output espressi in **termini finanziari** e dunque come base per orientare le decisioni di investimento, **LCA** rende possibile le decisioni sulla base di potenziali **impatti ambientali**, attraverso la selezione di categorie relative ai criteri ambientali.

Questo discorso verrà approfondito nella seconda parte di questo lavoro di tesi, ed è stata successivamente applicata l'analisi congiunta di LCC ed LCA ad un caso studio.

### **Step 4.** Identificazione del periodo di analisi e metodi di valutazione economica

Il **periodo di analisi** definito nello step 2 viene ora ripreso in termini puntuali. Si tratta del periodo di tempo in cui l'analisi LCC viene svolta. Può durare quanto l'intero ciclo di vita del bene oppure far riferimento ad una data d'inizio fino allo



smaltimento del bene. La **scelta del periodo di analisi** solitamente avviene sulla base di una serie di elementi che riguardano il soggetto direttamente coinvolto nel progetto o la sfera finanziaria e normativa. Per esempio, può essere scelto sulla base della durata del progetto, la durata del periodo di locazione, la durata del prestito o del periodo di ristrutturazione.

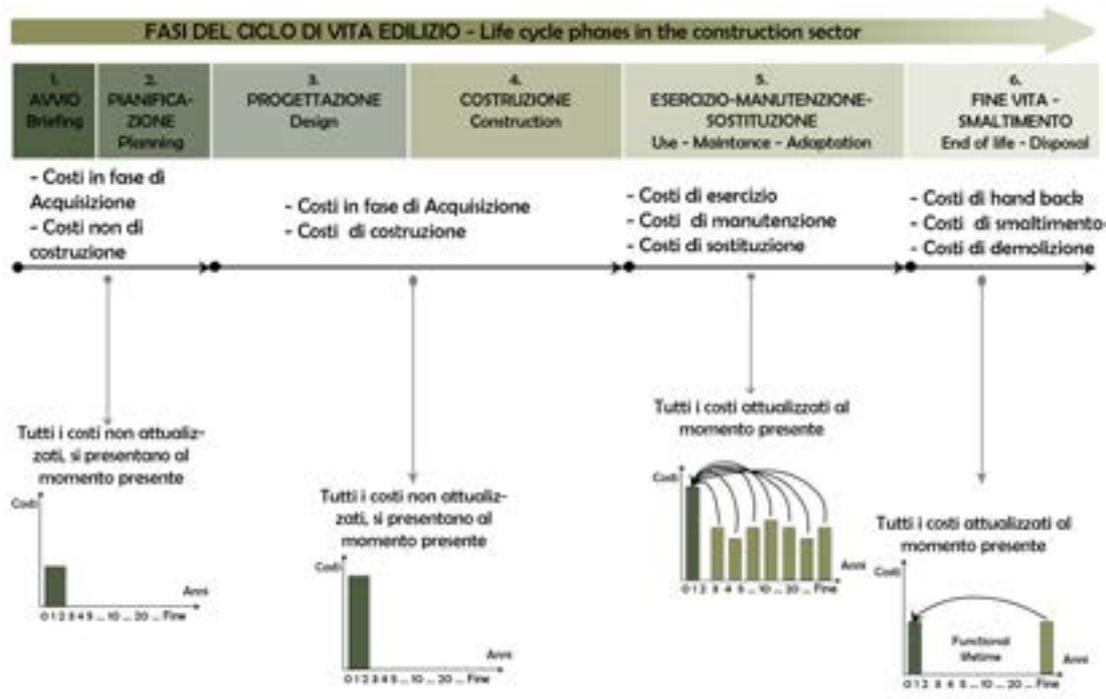


Fig 2.5. Rielaborazione Categorie di costo lungo il ciclo di vita edilizio e attualizzazione (Fonte: FREGONARA E., Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura, Franco Angeli, 2016)

L'analisi LCC si sviluppa in periodi di tempo superiori ad un anno ed è quindi necessario procedere con l'operazione di sconto, per rendere possibile il confronto fra quantità di denaro che si presentano in tempi diversi inoltre legate



ai diversi ammontare di costo di vita da sostenere.

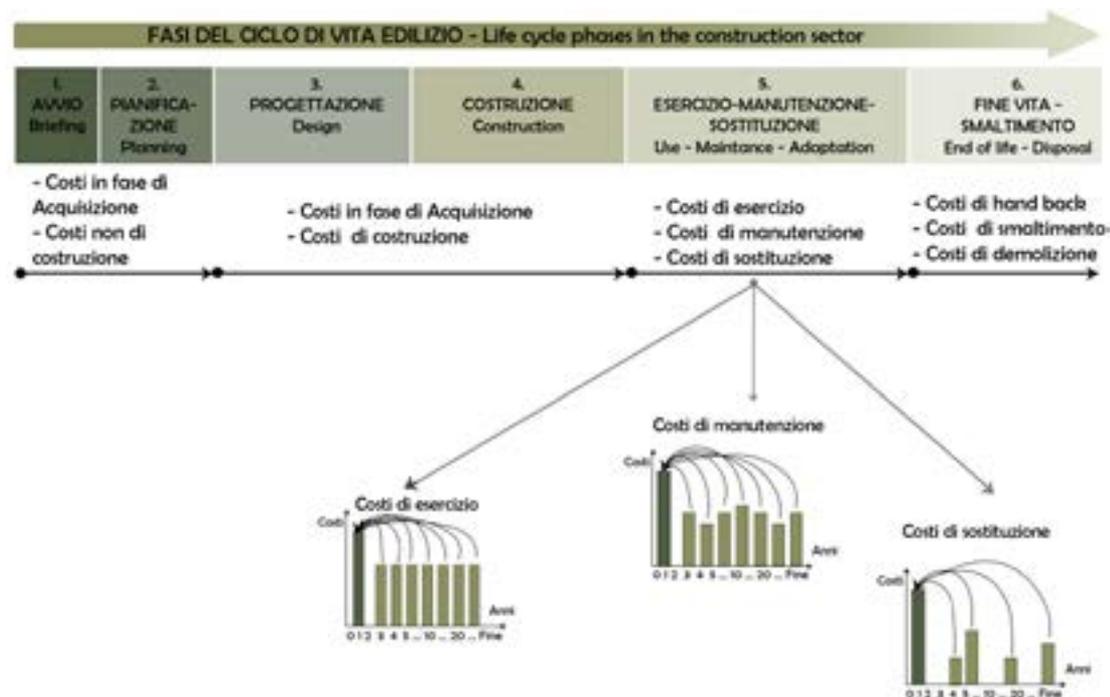


Fig 2\_6. Rielaborazione Categorie di costo lungo il ciclo di vita edilizio e attualizzazione (Fonte: FREGONARA E., Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura, Franco Angeli, 2016)

Ogni voce di costo rilevante è sviluppata in maniera opportuna rispetto al rapporto tempo denaro. Tutti i costi che avvengono nella fase 1, fase 2, fase 3 e fase 4 non devono essere attualizzati perché sono sostenuti nel periodo iniziale del momento di analisi. I costi che vengono in fase 5, fase 6 devono essere attualizzati. **Attualizzare un costo** significa "riportare la quantità di denaro al momento presente, assumendo che una quantità di denaro ha un valore più elevato nel presente rispetto ad un momento futuro, a causa della



perdita di valore del denaro nel tempo. Lo sconto tiene conto dell'inflazione e del reale potere d'acquisto del denaro"<sup>18</sup>.

**Step 5.** Identificazione delle necessità di analisi aggiuntive, quali analisi di rischio/incertezza e di sensitività

In questo step si controlla se è indispensabile sviluppare **eventuali componenti di rischio e incertezza** mediante l'analisi specifica. Eventuali fattori di rischio possono arrivare inaspettatamente in corrispondenza delle aspettative dei costi e dei rientri. I rischi possono essere evitati grazie ad un passaggio chiave: "l'identificazione delle cause potenziali di variabilità che possono influire sull'analisi LCC".<sup>19</sup> Se risulta necessario procedere con un'analisi di rischio si può arrivare ad un vero e proprio *risk management plan* e quindi si procede anche con gli step 10, 12 e 13.

**Step 6.** Identificazione dei requisiti del bene e del progetto

Qui vengono individuate le **caratteristiche principali del bene** rispetto al contesto di intervento e agli obiettivi del progetto, differenziando tra: progetto di nuova costruzione, ristrutturazione e adeguamento, smaltimento. Variano

---

<sup>18</sup> FREGONARA E., *Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura*, Franco Angeli, 2016, p.121

<sup>19</sup> FREGONARA E., *Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura*, Franco Angeli, 2016, p. 128



sicuramente la funzionalità del bene e le caratteristiche fisiche più importanti. Grazie alla metodologia applicata, in questo passaggio si dovrebbero ottenere: la convalida dello scopo del progetto in termini di scala, aspetti logistici, relazioni o impatti con l'ambiente locale; impatto delle caratteristiche dell'ambiente locale sul progetto, infrastrutture, contesto e relazione con altri progetti.

**Step 7.** Identificazione delle opzioni che devono essere incluse nell' analisi LCC e delle voci di costo da considerare

Qui si verifica che le **alternative selezionate** siano effettivamente adatte e definite ad un dettaglio sufficiente per l'identificazione dei dati inerenti costi e tempi. **"Lo scopo è l'identificazione delle parti di un bene che devono essere sottoposte a LCC** come le componenti, i materiali, gli impianti e la selezione di una o più opzioni alternative, per ciascuna delle parti selezionate. Le opzioni sono variabili in base allo scopo dell'analisi, del progetto, dei requisiti del bene."<sup>20</sup> Vengono valutate solo le alternative solo in base agli aspetti più influenti in termini di costi e prestazioni future dei beni chiamati anche **costi rilevanti**.

---

<sup>20</sup> FREGONARA E., *Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura*, Franco Angeli, 2016, p. 129

**Step 8.** Raccolta di dati di costo e tempo da usare nell' analisi LCC

È uno step in cui vengono identificati i **costi** e la **scala temporale**, per le varie alternative a cui applicare l'analisi LCC, sapendo che quest'ultima varia in gran parte dall'identificazione dei costi rilevanti o dei possibili rientri che avvengono durante l'orizzonte temporale. Solitamente un'analisi LCC si basa su voci di costo, riconducibili ad una classificazione, così come indicato nella norma ISO 15686 parte 5. I costi inclusi nella classificazione variano in base al contesto di analisi.

L'individuazione dei dati e delle relative fonti è un passaggio particolarmente delicato. Infatti, più il progetto va avanti, più aumenta il grado di dettaglio dei costi e delle relative fonti che devono essere uniformate e adattate nel formato dell'applicazione LCC.

**Step 9.** Verifica dei valori dei parametri finanziari e del periodo di analisi

Qui vengono riconsiderati i **parametri finanziari** e l'**orizzonte temporale** di riferimento fissati allo step 3, prima di applicare la metodologia LCC. Viene **selezionato il metodo di analisi** in funzione degli obiettivi dell'analisi LCC e dei soggetti coinvolti nella valutazione.



**Step 10.** Revisione della strategia di rischio e produzione di un'analisi preliminare dei rischi e incertezza

Si tratta di uno **step facoltativo**, utile a riconsiderare le strategie di rischio individuate nella fase 5 e quindi poter procedere nei passaggi 12 e 13, facendo un'**analisi di rischio dettagliata**. Sono fondamentali gli step 6 e 8 per procedere con queste analisi grazie alle tante informazioni che si riescono a raccogliere.

**Step 11.** Produzione della valutazione economica

L'applicazione dell'analisi LCC solitamente è supportata non solo da tutte le informazioni raccolte fino ad ora ma anche dall'utilizzo di strumenti di software o fogli di lavoro o banche dati. Possono essere utilizzati vari metodi di valutazione per il processo-data entry e si può ricorrere per esempio al:

- Calcolo dell'indicatore NPV per verificare l'ammissibilità di un'alternativa dal punto di vista economico;
- Calcolo dell'indicatore payback period verificando se il payback period è inferiore alla vita utile del bene;
- Calcolo del rapporto net saving (NS) / net benefit (NB) infatti se è positivo questo consente di accettare un'opzione in quanto costo efficace;
- Calcolo dell'indicatore net savings (NS) per valutare una singola opzione o



per ordinare la preferibilità di opzioni alternative (più alto è il risparmio netto più corrisponde al più basso costo del ciclo di vita);

- Calcolo dell'indicatore SIR secondo cui le alternative possono essere accettate e rifiutate, ordinate in base alla preferenza;
- Calcolo dell'indicatore AIRR in cui le opzioni possono essere accettate/ rifiutate o ordinate in base alla preferenza;
- Calcolo degli indicatori AEC e AC per confrontare opzioni alternative in cui si considera il valore più basso corrispondente all'opzione di costo più basso.

Se si considerano dei criteri che derivano da un'analisi di sostenibilità basati su criteri ambientali la metodologia riconosce due approcci per la comparazione di alternative sulla base del costo: l'**analisi costi efficacia** e l'**analisi costi e benefici**.

La prima compara i costi stimati e utili per arrivare a un determinato livello di beneficio ambientale per ciascuna opzione considerata, evidenziando la migliore soluzione dal punto di vista monetario. Questo metodo non è in grado di indicare se l'opzione selezionata come migliore è considerata valevole di investimento. La seconda compara valori dei benefici ambientali con tutti i costi ad essi associati in termini monetari.<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> FREGONARA E., *Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura*, Franco Angeli, 2016, p. 134-135



**Step 12.** Applicazione dell'analisi dei rischi incertezze dettagliata se necessario  
Qui è prevista l'applicazione di un'**analisi di rischio approfondita** dunque è possibile il ricorso al metodo di **simulazione Montecarlo** per lo sviluppo di un'analisi di rischio quantitativa. Per modellare statisticamente l'impatto del rischio, dopo avere individuato le voci critiche, si prendono dal risk register alcune distribuzioni di probabilità relazionate.

I risultati di questa fase vengono espressi in percentuale di probabilità che i costi totali nel ciclo di vita eccedano un dato valore, nonché nella forma di distribuzione dei costi potenziali del ciclo di vita, mettendo in evidenza il valore più probabile.

**Step 13.** Applicazione dell'analisi di sensitività se necessaria

Qui avviene l'analisi di sensitività con lo scopo di determinare la "**sensitività dell'output di un'analisi LCC al variare dei dati di input.**"<sup>22</sup> Si procede variando il valore delle variabili critiche preselezionate. Anche se molto semplice permette di assecondare la gestione del rischio di pervenire a valori di LCC "aggiustati per il rischio", di calcolare la probabilità di ricorrenza di un determinato scenario, anche attraverso "spider graph".

---

<sup>22</sup> FREGONARA E., *Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura*, Franco Angeli, 2016, p. 135



#### **Step 14.** Interpretazione e presentazione dei risultati iniziali

All'interno di questo step vengono **interpretati i risultati delle LCC**, integrati ai giudizi di analisi, individuando la **modalità** più adatta per la **presentazione** di questi ai destinatari.

Si possono comparare i risultati ottenuti anche con dei valori provenienti da LCC precedenti.

Nel fare le interpretazioni finali non bisogna sicuramente trascurare i limiti dell'applicazione di quest'approccio dovuti in particolare alle assunzioni fatte sui tempi e costi. rispetto ai tempi e ai costi o alla difficoltà di acquisizione dei dati nella fase di esercizio-manutenzione.

#### **Step 15.** Presentazione dei risultati e predisposizione della reportistica finale

In questo ultimo step viene redatto il **resoconto finale** con un **grado di dettaglio** corredato con quanto richiesto dalla ISO 15686.

Questo si compone di due sezioni: una **parte narrativa** dove vengono descritti il bene, il progetto di intervento, il processo LCC sviluppato per verificare l'investimento e una parte tabellare, composta da tabella in cui sono riassunti i dati sui costi, sul progetto, sulle spese annuali, sui parametri chiave.

Infine, è presentato il **modello LCC dettagliato**, con i relativi profili di costo, la definizione per ogni anno e per ogni voce o categoria di costo, considerando



la loro distribuzione temporale tutte le voci di costo future.<sup>23</sup>

## Voci di costo e periodo di analisi

Il modello base LCC considera le voci di costo secondo i seguenti raggruppamenti:

- Costi di acquisizione, pre-costruzione e costruzione;
- Costi di esercizio, manutenzione e sostituzione;
- Valore residuo, costi di smaltimento.

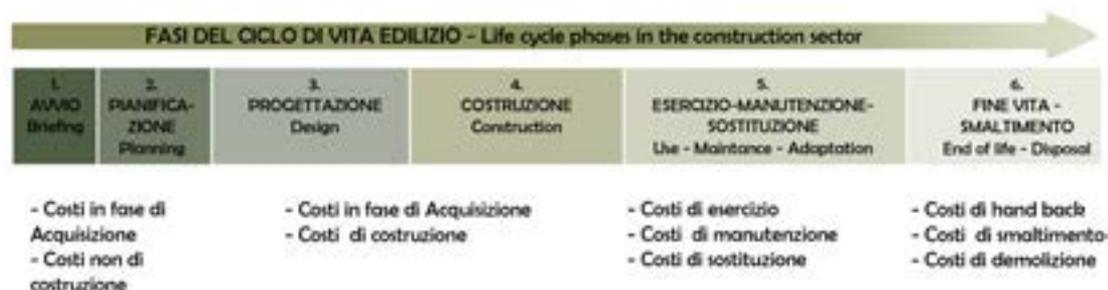


Fig 2\_7. Rielaborazione dei costi rilevanti per l'analisi LCC e loro tempificazione lungo il ciclo di vita edilizio (Fonte: FREGONARA E., Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura, Franco Angeli, 2016)

Ogni **voce di costo rilevante** deve essere trattata rispetto al rapporto tempo-denaro. Si può sintetizzare che:

- i **costi in fase di acquisizione/costi non di costruzione N** non necessitano di essere attualizzati in quanto sono sostenuti al momento iniziale del periodo di analisi;

<sup>23</sup> FREGONARA E., Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura, Franco Angeli, 2016, p. 115-137



- **costi in fase di acquisizione/costi di costruzione C** non necessitano di essere attualizzati essendo sostenuti al momento iniziale del periodo di analisi;

- i **costi di esercizio E** devono essere attualizzati attraverso l'espressione:

$$E_p = \sum_{t=1}^N E_t \frac{1}{(1+r)^t}$$

- i **costi di manutenzione M** devono essere attualizzati attraverso l'espressione

$$M_p = \sum_{t=1}^N M_t \frac{1}{(1+r)^t}$$

- i **costi di sostituzione S** esse devono essere attualizzati attraverso:

$$S_p = \sum_{t=1}^N S_t \frac{1}{(1+r)^t}$$

- i **costi di fine vita F** devono essere attualizzati attraverso l'espressione:

$$F_p = \sum_{t=1}^N F_t \frac{1}{(1+r)^t}$$

Operativamente parlando, un passaggio complesso per l'applicazione dell'approccio LCC ed in cui si può facilmente errare è la determinazione del periodo temporale di riferimento. Per poterlo stabilire e determinare si fa diretto riferimento al ciclo di vita. Il periodo di analisi secondo la ISO 15686-Part 5 è definito come "il periodo temporale lungo quale viene svolta un'analisi LCC". Si può determinare in base all'intero ciclo di vita, di cui si può analizzare anche solo un periodo preciso (da una data d'inizio ad una di fine) oppure in base alla



durata di un affitto/proprietà di un bene.<sup>24</sup>

## Indicatori sintetici

È possibile procedere con il calcolo di specifiche misure di valutazione economica che possono essere utilizzate anche in modalità congiunta e che possono essere utili per la comparazione tra più soluzioni alternative. Gli indicatori sintetici utilizzati durante l'applicazione dell'approccio LCC sono:

### Net Present Value (NPV) o Valore Attuale Netto (VAN)

È un indicatore utilizzato per il calcolo della somma dei flussi di cassa scontati, inclusi di costi e ricavi-benefici. Questo è utilizzato come indicatore dell'efficacia delle opzioni, rispetto ai costi considerati, rispetto all'intero investimento o alle componenti specifiche. NPV rappresenta il totale dei costi attualizzati, considerando solo i costi rilevanti, dove i flussi di cassa in entrata non sono considerati. Infatti, la componente dei ricavi, in quanto a sostenibilità, viene rappresentata dall'utilizzo di materiali riciclati, dal risparmio di energia ecc. Se sono considerati solo i costi delle opzioni si procede con il calcolo dei Net Present Cost (NPC) o Costo Attuale Netto (CAN).

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

<sup>24</sup> FREGONARA E., *Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura*, Franco Angeli, 2016, p.118



dove NPV è il valore attualizzato netto,  $C_t$  è la somma dei costi rilevanti, N il numero di anni dell'orizzonte temporale considerato, r è il saggio di sconto.

### **Pay-back Period (PBP)**

Il pay-back period esiste sia nella versione non attualizzata simple payback period (SPB) oppure attualizzata discounted pay back period (DPB). È il periodo di ritorno, ossia il tempo necessario a recuperare i costi di investimenti iniziali, avendo un certo risparmio annuale. Questo indicatore è utilizzato per valutare l'accettabilità o meno di una soluzione progettuale, non per il confronto di preferibilità fra alternative fra loro indipendenti. Il pay back period è molto sensibile a variazioni nei valori del saggio di sconto. In ogni caso è necessario che il pay back period sia inferiore all'orizzonte temporale preso in considerazione.

$$SPB = \frac{U_i}{E_{ma}}$$

dove  $U_i$  rappresenta le uscite iniziali per l'investimento ed  $E_{ma}$  le entrate medie annue. È applicabile soltanto in presenza di flussi con identici i rientri periodali in quanto non è corretto procedere calcolando la media dei differenti flussi periodali in entrata.

La regola del discounted pay back period è di prendere un investimento se il rimborso attualizzato è inferiore a una soglia prestabilita e dovrebbe inoltre



essere inferiore al periodo di studio.

Per quanto riguarda il calcolo del DPB è necessario procedere con i passaggi:

- calcolo del flusso cumulato dei rientri;
- fattorizzazione del flusso cumulato calcolato, con un opportuno saggio di sconto;
- individuazione dell'ultimo periodo, in corrispondenza del quale il valore del flusso di cassa cumulato scontato risulta negativo (F);
- calcolo del valore assoluto del flusso di cassa cumulato scontato (A) alla fine del periodo (F);
- definizione del valore del flusso di cassa scontato non accumulato (NO) successivo all'ultimo periodo negativo (F);
- calcolo della DPB mediante la formula:

$$DPB = F + \frac{A}{NO}$$

### **Saggio interno di rendimento aggiustato (IRR) e Adjusted Internal Rate of Return (AIRR)**

Il tasso di rendimento interno (IRR) è il tasso di sconto che rende il VAN stimato di un investimento pari a zero. La regola IRR è quella di prendere un progetto quando il suo IRR supera il reso richiesto.



Il tasso di rendimento interno (AIRR) Rappresenta la misura del rendimento annuale di un progetto rispetto ad un periodo preso di riferimento, tenendo conto dei reinvestimenti intermedi al tasso di sconto. AIRR dovrebbe essere superiore al tasso di sconto e viene utilizzato per classificare i progetti.

$$\text{AIRR} = (1+r)(\text{SIR})^{\frac{1}{N}} - 1$$

### **Net Benefits (NB) e Net Savings (NS)**

Il risparmio netto (NS) è calcolato come la differenza tra il valore attuale del reddito generato da un investimento e l'importo investito. Questi indicatori rappresentano il valore attuale dei risparmi-benefici nella fase di esercizio, al netto dei costi di investimento aggiuntivo attualizzati, necessari per raggiungere gli stessi ritorni-risparmi. Sono quindi indicatori di efficacia dei costi e al tempo stesso una misura dei benefici che devono essere raggiunti. Vengono calcolati come differenza tra LCC di un caso base (LCC<sub>BC</sub>) e LCC di un'alternativa progettuale (LCC<sub>A</sub>).

$$\text{NS} = \text{LCC}_{\text{BC}} - \text{LCC}_{\text{A}}$$

L'alternativa preferita ha il massimo NS (> 0) per un rapporto costo-efficacia ottimale. L'opzione con il NS più alto avrà anche il più basso LCC.



### **Saving to Investment Ratio (SIR)**

SIR è il rapporto tra il valore attuale del reddito generato dall'investimento e l'iniziale costo di investimento. In altre parole: Esprime il rapporto fra quanto risparmiato nella fase di gestione e i costi di investimento aggiuntivi necessari, escludendo l'eventuale valore residuo.<sup>25</sup>

$$SIR = \frac{O_s}{A_1}$$

### **Investimenti aggiuntivi e risparmi previsti**

Nell'applicazione di questa metodologi, possono essere state fatte delle scelte differenti tra i vari scenari. Quando si parla di investimenti aggiuntivi si intendono degli elementi di dettaglio che sono stati aggiunti all'interno dello scenario alternativo, per cercare di migliorare le prestazioni del prodotto o edificio studiato. Se si confrontano gli indicatori calcolati NPV dello scenario base e dello scenario alternativo (dove è stato adottato un investimento aggiuntivo) ci sarà sicuramente un lieve margine di preferibilità per l'alternativo che è tecnologicamente più evoluto.

Se poi si considerano anche i risparmi netti, Net Savings, si potrà notare un ulteriore differenza: infatti se NS è maggiore di zero lo scenario alternativo risulterà essere preferibile allo scenario base. Tutti gli indicatori sintetici

<sup>25</sup> FREGONARA E., *Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura*, Franco Angeli, 2016, p.123-126



confermeranno che lo scenario alternativo è migliorativo non solo in termini prestazionali ma anche in termini economici.

### 2.3. Valutazione economico-ambientale nel ciclo di vita attraverso un indicatore sintetico

Un **passaggio fondamentale** per riuscire a congiungere la **sostenibilità economica** alla **sostenibilità ambientale** e quindi l'approccio LCC con l'approccio LCA è l'introduzione di un **“indicatore economico-ambientale sintetico”**, uno sviluppo del metodo per il calcolo del **Global Cost**.<sup>26</sup> Viene espresso in una misura monetaria, utile a supportare decisioni tra soluzioni tecnologiche alternative sia in nuovi progetti sia nella realizzazione di interventi di retrofitting.

“La recente letteratura si sta concentrando su approcci per la verifica, contemporaneamente, di un progetto (o di sue parti) sulla sostenibilità economica e ambientale, attraverso indicatori economici e ambientali in grado di quantificare le “prestazioni globali” del progetto”.<sup>27</sup>

L'utilizzo sinergico di LCC ed LCA congiunto può riguardare:

- una serie di opzioni alternative, includendo i risultati di LCC ed LCA;

<sup>26</sup> FREGONARA E., GIORDANO R., FERRANDO D.G., PATTONO S., *Economic-Environmental Indicators to Support Investment Decisions: A Focus on the Buildings' End-of-Life Stage*, in MDPI Buildings, 2017

<sup>27</sup> FREGONARA E., *Methodologies for supporting sustainability in energy and buildings. The contribution of Project Economic Evaluation*. Energy Procedia 2017, 111, 2-11.



- una valutazione e scelta economico-finanziaria tra opzioni selezionate tramite LCC, precedentemente scelte attraverso la metodologia LCA e l'approccio LCT, scegliendo solo opzioni convenienti selezionate grazie alla LCC;
- una valutazione economico-finanziaria degli impatti ambientali, espressi in termini monetari.

Per riuscire a monetizzare gli indici ambientali sono state valutate la dismissione delle connessioni, la quantità di materiali riciclati, i rifiuti prodotti.

| Indicatori ambientali nella fase di Fine Vita        | Unità     | Costo elementi          |
|--|-----------|-------------------------|
| Livello di disassemblaggio dei sistemi dell'edificio | punteggio | Costo di smantellamento |
| Quantità di materiale riciclabile                    | %         | Costo di smaltimento    |
| Quantità di prodotti da smaltire                     | kg        |                         |

Fig 2. 8. Tabella degli indicatori ambientali nella fase di fine vita con i relativi costi degli elementi (Fonte: FREGONARA E., GIORDANO R., FERRANDO D.G., PATTONO S., Economic-Environmental Indicators to Support Investment Decisions: A Focus on the Buildings' End-of-Life Stage, in MDPI Buildings, 2017)

Così come vengono illustrati gli indici e la tabella relativa di Embodied Energy ed Embodied Carbon, con i costi relativi nella seguente tabella.

| Indicatori ambientali | Unità                           | Costo elementi                   |
|-----------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Embodied Energy       | MJ                              | Costo dell'energia elettrica     |
| Embodied Carbon       | kgCO <sub>2</sub> eq (100 anni) | Costo della Carbon Tax in Europa |

Fig 2. 9. Tabella di Embodied Energy e Embodied Carbon e dei relativi costi degli elementi (Fonte: FREGONARA E., GIORDANO R., FERRANDO D.G., PATTONO S., Economic-Environmental Indicators to Support Investment Decisions: A Focus on the Buildings' End-of-Life Stage, in MDPI Buildings, 2017)

Si parte dalla formula iniziale del Global Cost secondo l'approccio LCC:

$$C_G = C_i + \sum (C_m + C_r) / (1+r)^t + (C_{dm} + C_{dp} - V_r) / (1+r)^N$$

in cui:  $C_G$  è il costo del ciclo di vita;  $C_i$  i costi di investimento;  $C_m$  il costo di manutenzione,  $C_r$  il costo di sostituzione;  $C_{dm}$  il costo di smantellamento e  $C_{dp}$  il



costo di smaltimento;  $V_r$  il valore residuo;  $t$  è l'anno in cui si è verificato il costo e  $N$  il numero di anni dell'intero periodo considerato per l'analisi;  $r$  è il tasso di sconto.

Per riuscire ad arrivare alla valutazione economica ambientale nel ciclo di vita, e quindi all'indicatore sintetico, è presente la seguente equazione:

$$C_{\text{GenEc}} = C_l + C_{\text{EE}} + C_{\text{EC}} + \sum (C_m + C_r)/(1+r)^t + (C_{\text{dm}} + C_{\text{dp}} - V_r)/(1+r)^N$$

in cui ci sono due voci di costo aggiunte alla precedente equazione che sono:

$C_{\text{EE}}$  i costi relativi all'Energia incorporata;  $C_{\text{EC}}$  i costi relativi alla  $\text{CO}_2$ .<sup>28</sup>

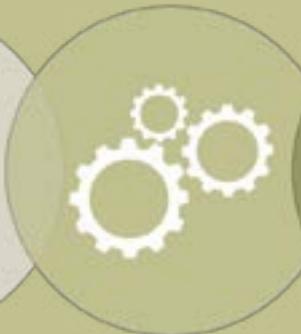
28 FREGONARA E., GIORDANO R., FERRANDO D.G., PATTONO S., *Economic-Environmental Indicators to Support Investment Decisions: A Focus on the Buildings' End-of-Life Stage*, in MDPI Buildings, 2017

# 1

ACQUISIZIONE DELLE  
RISORSE



PRODUZIONE



IMBALLAGGIO E  
TRASPORTO



UTILIZZO



FINE VITA



# 1. Strumenti per la valutazione della sostenibilità economica e ambientale nel ciclo di vita

## 2. Sostenibilità economica

## 3. Sostenibilità ambientale

**3.1.** Evoluzioni dell'approccio LCA

**3.2.** Le potenzialità della LCA nel contesto attuale

**3.3.** L'approccio Life Cycle Assessment: aspetti operativi



Uno degli **strumenti operativi** del Life Cycle Thinking è la Life Cycle Assessment (LCA), che propone una visione sistemica dei processi produttivi e dei prodotti. Effettuare una LCA significa “analizzare e studiare l’evoluzione di un sistema o prodotto, descrivendone le prestazioni energetiche ed ambientali, tramite appositi sistemi operativi”<sup>1</sup>. Fino a poco tempo fa, infatti, il processo di costruzione, o produzione in opera e quello di vita utile, erano i soli ad essere considerati come processi che delineavano il ciclo di vita di un edificio.

L’analisi LCA è in forte espansione a livello nazionale ed internazionale ed è regolamentata dalle norme **ISO 14040, ISO 14041, ISO 14042 e ISO 14043**.

“Lo studio di valutazione del ciclo di vita, secondo la norma già citata prevede:

- la definizione dell’obiettivo e del campo di applicazione dell’analisi (ISO 14041),
- la compilazione di un inventario degli input e degli output di un determinato sistema (ISO 14041),
- la valutazione del potenziale impatto ambientale correlato a tali input e output (ISO 14042),
- l’interpretazione dei risultati (ISO 14043).”<sup>2</sup>

L’applicazione della LCA ha permesso la crescita e l’utilizzo di strumenti di etichettatura ecologica di prodotti, per scopi di comunicazione e

<sup>1</sup> BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008, 2008

<sup>2</sup> <http://www.isprambiente.gov.it/it/certificazioni/ipp/lca/> (12/2019)



sensibilizzazione ambientale. Lo sviluppo di questa tendenza è stato possibile grazie alla politica della Commissione Europea in tema ambientale e alla promozione delle pratiche di gestione ambientale a livello aziendale.

La LCA rappresenta un supporto indispensabile allo sviluppo di schemi di **Etichettatura Ambientale**: nella definizione dei criteri ambientali di riferimento per un dato gruppo di prodotti (etichette ecologiche di tipo I: Ecolabel), o come principale strumento atto ad ottenere una Dichiarazione Ambientale di Prodotto: DAP (etichetta ecologica di tipo III).

Potenzialmente quindi le sue **applicazioni** sono innumerevoli a partire dallo sviluppo e miglioramento di prodotti/processi fino ad arrivare all'attuazione di una politica pubblica.

“Tuttavia, poiché uno studio dettagliato di LCA può risultare a volte costoso (in termini economici e di tempo) e complesso da eseguirsi, si stanno sempre più sviluppando strumenti di “LCA semplificata” che consentano una verifica immediata del ciclo di vita dei prodotti anche a coloro che non possiedono tutte le competenze e le risorse necessarie per realizzare uno studio dettagliato.”<sup>3</sup>



Fig. 3\_1. Schematizzazione delle fasi della LCA

3 <http://www.isprambiente.gov.it/it/certificazioni/files/emas/2017/ReportperCITfinaldrafffase1.pdf/> (12/2019)



### 3.1. Evoluzioni dell'approccio LCA

Le origini dell'approccio al ciclo di vita e il collegamento ai problemi ambientali possono essere collocate alla **fine degli anni '60**. Infatti alcuni ricercatori che studiavano tramite un approccio scientifico il problema del consumo delle risorse e della generazione di reflui nei processi industriali, capirono che l'unico modo per conoscere in maniera completa i sistemi produttivi da un punto di vista ambientale era sicuramente quello di **seguire passo per passo** il cammino percorso dalle materie prime, partendo dall'estrazione, attraversando tutti i **processi di trasformazione e di trasporto** fino al loro ritorno alla terra come rifiuti. Da qui nasce lo slogan "from cradle to grave" e cioè "**dalla culla alla tomba**", da cui prende sempre più forma l'attuale sistema di analisi. Inizialmente questa era chiamata *life cycle analysis, cradle to grave analysis, resource and environmental profile analysis, eco balance, energy and environmental analysis ecc.*

"Questa metodologia ha rappresentato per qualche tempo un'assoluta novità, in quanto, fino ad allora, i miglioramenti dell'efficienza erano stati ricercati concentrandosi sui singoli componenti dei processi produttivi, mentre, in questo modo, veniva presa in considerazione l'**intera filiera produttiva**."<sup>4</sup>

A partire dai **primi anni '70** si possono vedere le prime **applicazioni della**

<sup>4</sup> BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008, p. 27



**teoria del Life Cycle Thinking**, come supporto ad alcune decisioni da parte di grandi aziende statunitensi, dall'agenzia per la protezione dell'ambiente americana (EPA, Environmental Protection Agency) e da alcuni produttori di bottiglie inglesi<sup>5</sup>.

Si iniziava da ricerche nordamericane dove venivano svolti alcuni studi sotto il nome di REPA, resource and environmental profile analysis, che come obiettivo avevano la caratterizzazione del ciclo di vita di alcuni materiali impiegati in importanti produzioni industriali. Già da quel momento era chiaro che non bisognava paragonare materiali in assoluto diversi tra loro, ma solo soluzioni che, a parità di prestazioni, potevano essere realizzate usando materiali alternativi.

“Tra le molte ricerche REPA nel periodo tra la fine degli anni '60 e l'inizio degli anni '70”<sup>6</sup> ricordiamo sicuramente quelle commissionate dalla Coca Cola Company per capire quale materiale e strategia di impiego a fine vita del contenitore fosse energeticamente ed ecologicamente migliore e dalla Mobil Chemical Company al Midwest Research Institute per determinare se i fogli in polistirene per gli incarti alimentari fossero più o meno ecocompatibili dei concorrenti fogli di carta.

---

<sup>5</sup> L' International Journal Of Life Cycle Assessment ha pubblicato diversi articoli che hanno tracciato “la storia della LCA”: tra questi si ricordano Hunt R.G., Franklin W.E. (1996), “LCA. How it came about, personal reflections on the Origin and the development of LCA in the USA”.

<sup>6</sup> BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008, p. 21



In Europa, nel frattempo, “veniva pubblicato il **manuale di analisi energetica di Boustead e Hancock**<sup>7</sup> che”<sup>8</sup>, per la prima volta ha dato un carattere operativo al procedimento analitico. Questo manuale, inoltre, è da considerarsi parte fondamentale della LCA attuale in quanto è stato un punto di riferimento per la stesura della sua metodologia.<sup>8</sup> Il termine LCA è stato coniato durante il congresso SETAC (society of Environmental Toxicology and Chemistry) a Smuggler Notch del 1990, per cercare di evidenziare meglio l’obiettivo delle analisi svolte fino a quel momento con altri nomi.

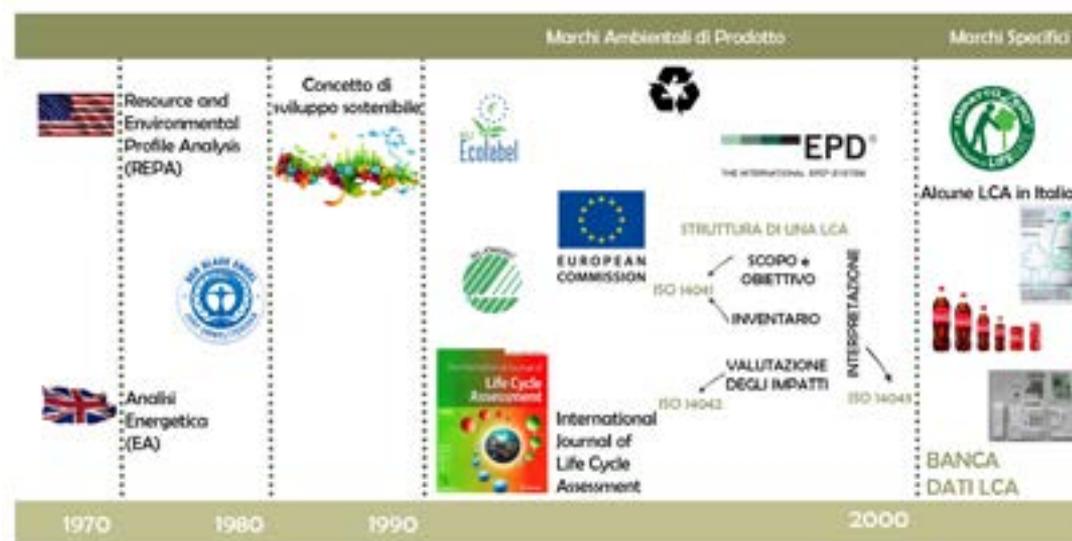


Fig. 3\_2. Schematizzazione origini metodologiche e sviluppo della LCA

7 BOUSTEAD I., HANCOCK G., *Handbook of Industrial Energy Analysis*, The Open University, Milton Keynes, Hellis Horwood Limited, Chichester, West Sussex, England, 1979

8 BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008, p. 29



L'organizzazione originaria di una LCA comprendeva tre fasi principali da attuare successivamente e ciclicamente (Fig. 3\_3).

Nei primi anni '90, grazie alla pubblicazione di testi e manuali specifici, di banche dati per un impiego pratico, sono iniziate a concretizzarsi le iniziative per la standardizzazione della LCA.

Oggi, possiamo affermare che LCA è considerata dalla Commissione Europea "l'unica metodologia in grado di fornire una base scientifica per comprendere il carico ambientale di prodotti e processi in ottica complessiva. Il fatto che alla base dei criteri Ecolabel ci sia questo approccio, ne dimostra la valenza e l'applicabilità nel supportare l'orientamento dei consumatori verso **scelte di eccellenza ambientale.**"<sup>9</sup>



Fig. 3\_3. Rielaborazione delle tre fasi principali di cui è composta LCA come proposto dalla SETAC (Fonte: BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008)

## 3.2. Le potenzialità della LCA nel contesto attuale

Il campo potenziale di applicazione della LCA è variabile e ampio. Proprio per questo, analizzeremo i suoi **impieghi possibili, attuali e futuri**, prima di analizzare la metodologia attuale.

L' applicazione è molto estesa, infatti si può partire dalla singola azienda e si può arrivare ai sistemi socioeconomici nazionali.

<sup>9</sup> BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008, p. 31



Partendo dal **campo industriale**, questo strumento permette all'azienda di "analizzare le caratteristiche delle proprie attività operative nell'ottica del loro adeguamento alle norme di legge e agli standard mondiali di riferimento. Eseguendo una serie di analisi LCA, permette di conoscere con precisione l'entità del proprio impatto ambientale e la sua evoluzione nel tempo"<sup>10</sup>.

Ad oggi, investire risorse nella composizione e nell'aggiornamento di inventari di cicli di vita delle proprie attività produttive, può sicuramente trovare molteplici applicazioni e benefici, come il completamento di un rapporto ambientale o di sostenibilità dell'organizzazione, la dimostrazione di osservanza di norme e protocolli sempre più severi ecc.

Per quanto riguarda l'utilizzo della LCA nel **campo della normativa ambientale a livello internazionale**, è importante sapere che i regolamenti europei e le norme ISO hanno scelto la LCA come metodologia valida anche per impieghi non specifici per i quali l'analisi del ciclo di vita normalmente non viene utilizzata in campo industriale. Il riferimento è sicuramente rivolto al regolamento EMAS II e alla norma ISO 14001 edizione 2004 che definisce LCA come lo "strumento valido per l'identificazione degli aspetti ambientali utili in ottica sistemica."<sup>11</sup>

Attualmente è comune che le aziende richiedano la LCA per utilizzare i risultati in modo da impostare una nuova politica aziendale ambientale migliorativa.

<sup>10</sup> BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008, p. 35

<sup>11</sup> UNI EN ISO 14001:2004 - Sistemi di gestione ambientale - Requisiti e guida per l'uso



“Il **regolamento Ecolabel**<sup>12</sup> propone un percorso che prevede la LCA come unico strumento in grado di soddisfare il grado di scientificità richiesto per garantire le Dichiarazioni ambientali sui prodotti. L’aumento delle richieste di etichettatura ecologica, conformi al regolamento Ecolabel, e il crescente utilizzo di EPD, sono infatti un indicatore della tendenza dell’industria europea a confrontarsi a livello mondiale in settori dove la competizione è accesa”.<sup>13</sup>

La diffusione della metodologia LCA è anche dovuta alle norme ISO della serie 14040 ora sostituite dalla ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006, sono un perfezionamento delle prime linee guida SETAC e costituiscono il riferimento condiviso per l’esecuzione di analisi del ciclo di vita.

L’**utilizzo delle etichettature** negli ultimi anni è cresciuto. Queste hanno lo scopo primario di “veicolare un’informazione dal produttore al consumatore o anche dal produttore all’intermediario professionista. L’obiettivo comune di ogni marchio o etichetta ecologica è sicuramente quello di **incoraggiare la domanda per la fornitura di prodotti che causano minore impatto ambientale lungo il loro ciclo di vita**, attraverso la comunicazione di accurate e verificabili informazioni sugli aspetti ambientali diretti e indiretti di



Fig. 3\_4. Logo Ecolabel Europeo



Fig. 3\_5. Logo Cigno Bianco scandinavo



Fig. 3\_6. Logo Angelo Blu tedesco

<sup>12</sup> Il nuovo regolamento Ecolabel numero 1970/2000 del 17 luglio 2000 relativo al sistema comunitario riesaminato, di assegnazione di un marchio di qualità ecologica, sostituisce il regolamento europeo 800/1992 pubblicato il 23 Marzo 1992.

<sup>13</sup> BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008, p. 38



beni e servizi.”<sup>14</sup>

L'Ecolabel è il “marchio di qualità ecologica introdotto dall’Unione Europea nei primi anni ‘90”<sup>15</sup>, durante le attività del Quinto Programma d’azione, e che “contraddistingue prodotti e servizi che pur garantendo elevati standard prestazionali sono caratterizzati da un ridotto impatto ambientale durante l’intero ciclo di vita”<sup>15</sup>. È disciplinato, quindi, dal Regolamento (CE) n. 66/2010 come modificato dal Regolamento (EU) n. 782/2013. È in vigore nei 28 Paesi dell’Unione Europea e nei Paesi appartenenti allo Spazio Economico Europeo – SEE (Norvegia, Islanda, Liechtenstein).

Le organizzazioni interessate a ottenere il marchio Ecolabel, per un suo prodotto o servizio, devono presentare una domanda con una documentazione tecnica al Competent Body nazionale, che produce un’istruttoria tecnico-amministrativa per verificare che il prodotto in questione sia conforme ai criteri stabiliti per il gruppo di appartenenza.<sup>16</sup>

---

14 BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008, p. 40

15 <http://www.isprambiente.gov.it/certificazioni/ecolabel-ue/> (12/2019)

16 <http://www.isprambiente.gov.it/certificazioni/ecolabel-ue/come-si-ottiene-1/> (12/2019)

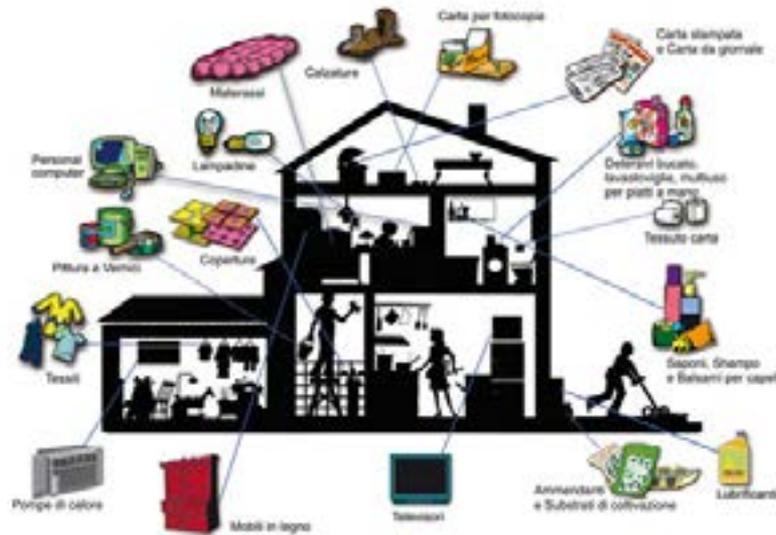


Fig. 3\_7. Alcuni gruppi di prodotti per cui sono disponibili i criteri Ecolabel (Fonte: [www.arpae.it](http://www.arpae.it))



Fig. 3\_8. Logo EPD

Uguualmente a quel che succede per i sistemi di certificazione di tipo I, alcune agenzie hanno predisposto degli schemi per la certificazione e registrazione delle dichiarazioni ambientali di prodotto. Uno di quelli più attivi è sicuramente quello dell'International EPD Consortium che è conosciuto come sistema **EPD (Environmental Product Declaration)**.

“È uno schema di **certificazione volontaria**, nato in Svezia ma di valenza internazionale, che rientra fra le politiche ambientali comunitarie. La EPD è sviluppata in applicazione della norma UNI EN ISO 14025:2010. Le prestazioni, riportate nella EPD, devono basarsi sull'Analisi del Ciclo di Vita (Life Cycle Assessment - LCA) in accordo con le norme della serie ISO 14040, fondamento



Fig. 3\_9. Logo Energy Star



Fig. 3\_10. LogoOeko-Tex



Fig. 3\_11. Logo Forest Stewardship Council



Fig. 3\_12. Logo Impatto Zero

metodologico da cui scaturisce l'oggettività delle informazioni fornite.”<sup>17</sup>

La Dichiarazione ambientale (EPD) dovrà essere **convalidata da dei tecnici accreditati**, andando a redigere un documento che sia il più efficace e trasparente per i risultati dello studio LCA. Si riescono così a fornire i dati quantitativi sul profilo ambientale di un prodotto, calcolati secondo le procedure di LCA (Life Cycle Assessment) ed espressi tramite indicatori di impatto. Inoltre, non sottende ad una scala di valutazione della prestazione, come previsto per le Etichette Ambientali di tipo I o Ecolabel, e non prevede il superamento di una soglia minima di accettabilità. È previsto però il rispetto di un formato nella comunicazione dei dati che faciliti il confronto tra prodotti diversi. L'EPD viene principalmente utilizzata nella comunicazione fra addetti ai lavori (business-tobusiness), ma può essere adottata anche nella comunicazione business-to-consumer.

Ci sono sicuramente altri marchi ambientali di tipo privato e settoriali, non direttamente legati alla classificazione proposta prima. “Tra i più conosciuti ci sono l'Energy star, gestito dall'EPA statunitense che premia i prodotti elettrici-elettronici che soddisfano determinati criteri di risparmio energetico, l'Oeko-Tex sui tessuti, Il Forest Stewardship Council (FSC) con una gestione ambientalmente, socialmente ed economicamente appropriata delle risorse



forestali e, in Italia, il marchio Impatto Zero di LifeGate.”<sup>18</sup>

Tra i **campi di applicazione della LCA quello delle costruzioni** rimane uno dei più importanti. “A livello internazionale la dichiarazione ambientale di prodotto per il settore delle costruzioni è regolata dalla norma ISO 21930:2007 - Sustainability in building constructions e da Environmental declaration of building products / dichiarazione ambientale di prodotto per i materiali da costruzione. Si tratta di norme specifiche per l’EPD dei prodotti da costruzione che hanno lo scopo di descrivere i principi, i requisiti e la struttura della dichiarazione ambientale di Tipo III dei prodotti da costruzione al fine di dare uniformità dei mezzi, delle modalità e di garantire la trasparenza, la coerenza e la solidità scientifica della metodologia con cui si giunge alla dichiarazione ambientale dei prodotti da costruzione.”<sup>19</sup>

---

18 BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2005, p.44

19 BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008, p.54-56



### 3.3. L'approccio Life Cycle Assessment: aspetti operativi

La **definizione di LCA**, in origine proposta dalla SETAC<sup>20</sup>, dal punto di vista metodologico, ripresa poi dalle **norme ISO 14040 e 14044**, è stata leggermente modificata per poter agevolare la comprensione: una LCA “è un procedimento oggettivo di valutazione dei carichi energetici e ambientali relativi ad un processo o un'attività, effettuato attraverso l'identificazione dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente. La valutazione include l'intero ciclo di vita del processo o attività, comprendendo l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale.”<sup>21</sup>

La definizione specifica riportata nella norma ISO 14040 esprime che LCA è “una **compilazione e valutazione**, attraverso tutto il ciclo di vita, dei flussi in entrata e in uscita, nonché i potenziali impatti ambientali di un sistema prodotto”<sup>22</sup>.

Negli anni sono stati riscontrati fattori positivi e negativi della LCA, e verranno di seguito riportati.

---

20 SETAC, *Guidelines for Life-Cycle Assessment: a code of Practice*, SETAC, Bruxelles, 1993.

21 ISO 14040:2006, Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and framework, ISO/TC 207/S05

22 BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2005, p.44



I **fattori positivi** della LCA sono:

- costituisce un documento tecnico-informativo (e non un semplice marchio a soglia);
- veicola un'informazione tecnica utile agli operatori, in particolare ai progettisti;
- non si basa semplicemente su criteri quasi oggettivi come nel caso dei sistemi multicriterio;
- fornisce all'utente (progettista, impresa) informazioni ambientali quantificate e armonizzate.

L'unico **fattore negativo** della LCA è sicuramente il fatto che, essendo un sistema di valutazione complesso, richiede competenze tecnico-scientifiche, conoscenza dettagliata del ciclo produttivo del prodotto e disponibilità di dati, di non semplice reperimento.

“La **struttura della LCA**, proposta dalla norma ISO 14040, è sintetizzabile in quattro momenti principali:

- **Definizione degli scopi e obiettivi** (Goal and scope definition): è la fase preliminare in cui vengono definiti le finalità dello studio, l'unità funzionale, i confini del sistema studiato, il fabbisogno e l'affidabilità dei dati, le assunzioni e i limiti.
- **Analisi di inventario** (LCI Life Cycle Inventory): lo scopo principale è quello di ricostruire la via attraverso cui il fluire dell'energia e dei materiali permette

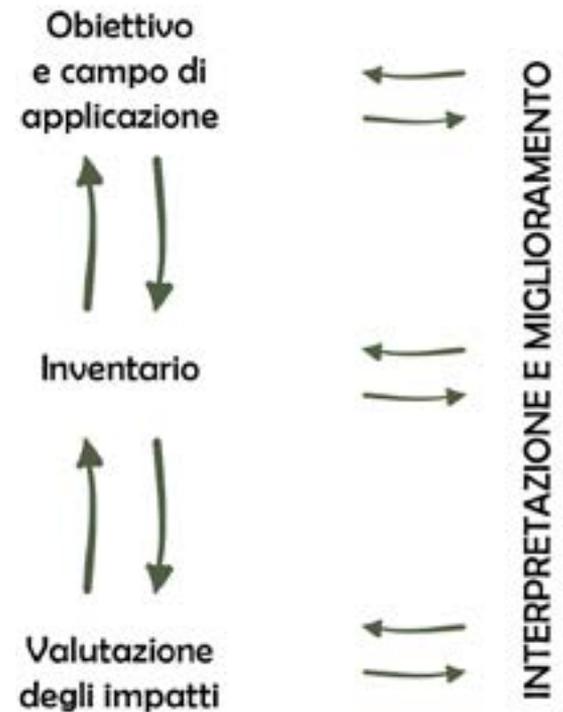


Fig. 3\_13. La struttura della LCA proposta dalla ISO 14040

(Fonte: BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi, Edizioni Ambiente, 2008)



il funzionamento del sistema produttivo in esame tramite tutti i processi di trasformazione e trasporto. Quindi in questa fase si compone un modello analogico del sistema reale che si intende studiare.

- **Analisi degli impatti** (LCIA Life Cycle Impact Assessment): è lo studio dell'impatto ambientale provocato dal processo o attività che ha lo scopo di evidenziare l'entità delle modificazioni generate a seguito dei rilasci nell'ambiente e dei consumi di risorse calcolati nell'inventario. Si passa dal dato oggettivo, della fase di inventario, al giudizio di pericolosità ambientale.

- **Interpretazione e miglioramento** (Life Cycle Improvement): è la parte conclusiva di una LCA, che ha lo scopo di proporre i cambiamenti necessari a diminuire l'impatto ambientale dei processi o attività considerati, valutandoli con la stessa metodologia LCA e in modo da non attuare azioni tali da peggiorare lo stato di fatto.<sup>23</sup>

Questi diversi momenti di analisi della LCA costituiranno un **punto di partenza** per gli interventi da migliorare su un processo di produzione esistente o come muoversi per il progetto di un nuovo prodotto.

La "**LCA semplificata**" ha lo **scopo di trovare una modalità per velocizzare gli studi di LCA**, attraverso, in particolare, dei tagli su sistema analizzato.

"Tale ottimizzazione è da intendersi come un utilizzo iniziale delle informazioni

---

<sup>23</sup> BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2005, p. 51



immediatamente disponibili, “LCA spedita”, e di una successiva revisione nel momento in cui le informazioni mancanti diverranno disponibili”<sup>19</sup>.

Tutte le LCA possono essere considerate “semplificate”, essendo semplificate già nelle ipotesi e avendo semplificato e trascurato parti di un sistema reale.

### La prima fase di una LCA

Una delle cose che non può assolutamente mancare all’interno di una LCA è “un’**esplicita dichiarazione degli obiettivi e delle finalità dello studio**”<sup>24</sup>.

Dal punto di vista normativo la ISO 14040 introduce così l’argomento: “gli obiettivi e gli scopi dello studio di una LCA devono essere definiti con chiarezza ed essere coerenti con l’applicazione prevista. L’**obiettivo di una LCA** deve stabilire senza ambiguità quali siano: l’applicazione prevista, le motivazioni che inducono a realizzare lo studio e il tipo di pubblico a cui è destinato, cioè a quali persone si intendono comunicare i risultati dello studio”<sup>25</sup>.

“Tra le **caratteristiche fondamentali di una LCA** fortemente dipendenti dalle finalità è possibile elencare: l’ampiezza del ciclo di vita, l’eventuale alternativa da considerare, l’integrazione con aspetti non ambientali, la qualità e l’affidabilità dei dati a disposizione, la scelta dei parametri ambientali con cui

<sup>24</sup> BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2005, p. 52

<sup>25</sup> ISO 14040:2006, Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and framework, ISO/TC 207/S05



riassumere i risultati, l'estensione della fase di valutazione e di miglioramento, il livello di dettaglio a cui arrivare.”<sup>26</sup>



Fig. 3\_14. Rielaborazione della fase di “definizione degli scopi e obiettivi” (Fonte: BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008)

Anche il **periodo di riferimento** costituisce un vincolo nella scelta dei confini dell'analisi: i dati devono pertanto essere raccolti in un periodo di tempo ben definito.

## La seconda fase di una LCA

“L' **analisi di inventario** è il momento più importante di una LCA, nel quale si procede alla costruzione di un modello analogico della realtà, in grado di rappresentare nella maniera più fedele possibile tutti gli scambi tra le singole

<sup>26</sup> BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008, pag. 65.



operazioni appartenenti alla catena produttiva effettiva.”<sup>27</sup>

L'**obiettivo di un inventario** è quello di “fornire dati oggettivi che solo in seguito potranno essere elaborati e commentati con lo scopo di trarre valutazioni e indicazioni utili al livello decisionale (fasi di Life Cycle Impact assessment (LCIA) e Life Cycle Interpretation (LCI)). Una caratteristica importante di un modello operativo è quella di poter consentire campagne di simulazione con rapido riscontro dei risultati”<sup>28</sup>.

“Un inventario di ciclo di vita deve offrire garanzie di affidabilità, e quindi la sua stesura deve essere eseguita seguendo uno sviluppo ben definito. In questo modo, i **risultati** di diversi inventari di ciclo di vita, saranno tra loro **confrontabili**, avendoli ottenuti tramite un'unica modalità di costruzione del modello”<sup>28</sup>. La **norma ISO 14040** fornisce “questo codice facendo diventare la redazione di un inventario di ciclo di vita meno soggettiva di quanto avveniva nel passato”<sup>29</sup>.

“In questa fase occorre porsi i seguenti **obiettivi principali**:

- indicare il grado di dettaglio cui arriva la struttura di misurazione dell'impianto, in quanto da questo dipende la precisione a cui può essere spinta l'intera

analisi:

<sup>27</sup> BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008, pag. 95.

<sup>28</sup> BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2005, pag.91

<sup>29</sup> BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008, pag.92



- verificare che il diagramma di flusso predisposto corrisponde al processo reale.”<sup>30</sup>



Fig. 3\_15. Rielaborazione della fase di “Analisi di inventario” (Fonte: BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008)

“I **risultati di un inventario** di ciclo di vita sono normalmente presentati in **sei principali categorie di parametri**:

- materie prime;
- combustibili primari;
- feedstock;
- rifiuti solidi;

<sup>30</sup> BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008, p. 96



- emissioni in aria;
- emissioni in acqua.”<sup>31</sup>



Fig. 3\_16. L'analisi di inventario attraverso i principali processi che appartengono al generico sistema indagato (Fonte: BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008)

“Se un bene è giunto al termine della sua vita utile, dopo la raccolta, si presentano tre strade possibili: il recupero di materia, il recupero di energia e lo smaltimento in discarica. Ognuno di queste alternative presenta degli aspetti ambientali che devono essere attentamente analizzati e confrontati con i benefici per poter dirigere le scelte strategiche verso l’una o l’altra direzione”<sup>32</sup>.

Per sua natura l’approccio LCA non è una metodologia “precisa” in particolare

<sup>31</sup> BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gmateriali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2005, p. 159

<sup>32</sup> BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gmateriali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2005, p. 123



se il sistema analizzato comprende una filiera lunga e complessa. Quando si fa tanto ricorso a dati secondari, sulla base dell'esperienza, è giusto affermare che gli studi LCA hanno un errore minimo dell'ordine del 5-10%, cosa che non basta per dire che i risultati sono incerti.<sup>33</sup>

“L'**utilizzo delle banche dati** semplifica molto la ricerca delle informazioni necessarie per sviluppare un'analisi LCA, ma ci potrebbe essere a volte il problema dell'attendibilità della fonte e della correttezza dell'interpretazione”<sup>34</sup>. Tuttavia, oggi, la volontà è di avere banche dati **condivise e accessibili** facilmente, grazie alle quali la ricerca del dato è molto più facilitata e le fonti sono più rintracciabili. Sul mercato esistono diverse opportunità di acquisto e di utilizzo gratuito di informazione e supporto della LCA.

L'obiettivo della Commissione europea è quello di aumentare la credibilità e spingere l'utilizzo della LCA come strumento operativo sia dei privati sia delle pubbliche amministrazioni.

## La terza fase di una LCA

Le informazioni ottenute dall'analisi di inventario sono la partenza per valutazioni di tipo ambientale, cui è destinata la fase della LCA definita Life Cycle impact

<sup>33</sup> BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008, p. 150

<sup>34</sup> BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008, p. 97



assessment e regolata dalle norme ISO 14040 e ISO 14044.

“L’**analisi degli impatti** ha lo **scopo** di evidenziare l’entità delle modificazioni ambientali che si generano al seguito dei rilasci nell’ambiente o del consumo di risorse associate a un’attività produttiva. Questo compito è tutt’altro che semplice, specialmente per quanto riguarda le conseguenze derivanti dalle emissioni nell’ambiente e del consumo di risorse associate a un’attività produttiva.”<sup>35</sup>

Gli effetti dell’attività antropica sono stati sviluppati di recente, mantenendo ancora delle difficoltà. “Per valutare in maniera appropriata l’**inquinamento dell’ambiente** su diverse scale devono essere tenuti conto tre diversi fattori essenziali:

- l’emanazione di sostanze nocive quindi l’emissione;
- la diffusione e l’eventuale trasformazione che le sostanze subiscono una volta introdotto nell’ambiente quindi trasmissione;
- la concentrazione e la deposizione di inquinanti nei luoghi d’azione quindi immissione.”<sup>36</sup>

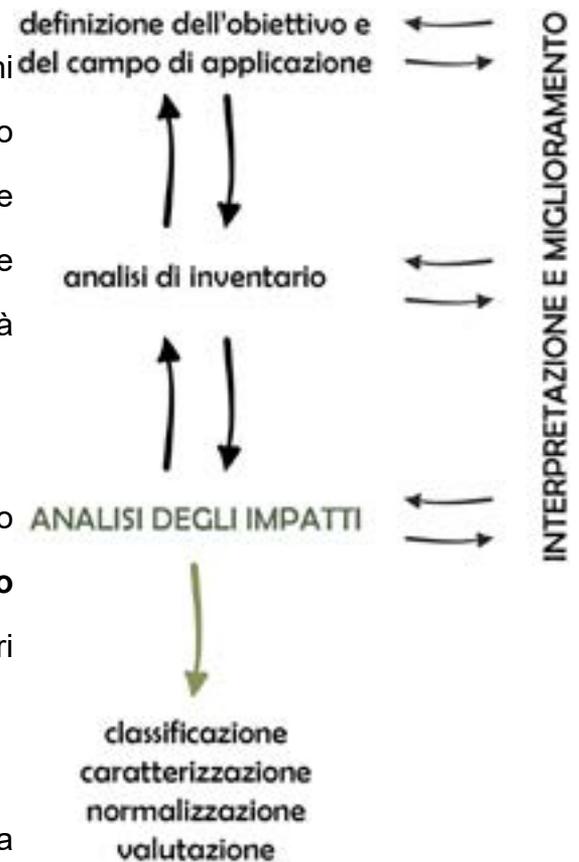


Fig. 3\_17. Rielaborazione dell’analisi degli impatti nello schema operativo di una LCA secondo le ISO 14040 e ISO 14044 (Fonte: BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008)

<sup>35</sup> SETAC, *A Conceptual Framework for Life Cycle Impact Assessment*, workshop report, Sandestin, Florida, February 1992, a cura di SETAC, marzo 1993.

<sup>36</sup> BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gmateriali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2005, p. 164

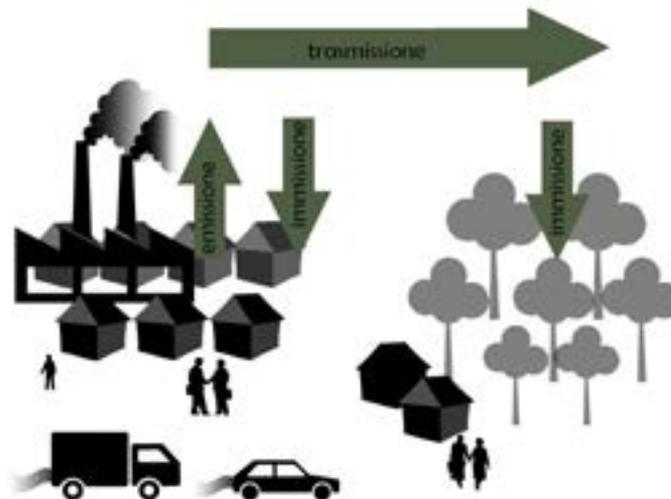


Fig. 3\_18. Relazione tra emissione, trasmissione e immissione: il caso dell'inquinamento in atmosfera (Fonte: BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008)

Si può definire un **impatto** “una qualsiasi modificazione causata da un dato aspetto ambientale ossia da un qualsiasi elemento che può interagire con l’ambiente”<sup>37</sup>.

Un impatto può essere associato ad uno o più effetti ambientali “per esempio la CO<sub>2</sub> emessa durante la combustione di un certo quantitativo di carbone provoca un impatto che contribuisce all’ “effetto serra””.<sup>38</sup>

È **caratteristica di questa fase della LCA la globalità dell’analisi**. Per questo motivo i risultati di un’analisi di inventario possono essere in generale utilizzati per la valutazione di effetti a scala globale quali l’effetto serra e

37 ISO 14001:2015 - Environmental Management Systems

38 BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gmateriali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2005, p. 165



l'assottigliamento della fascia di ozono stratosferico.<sup>39</sup>

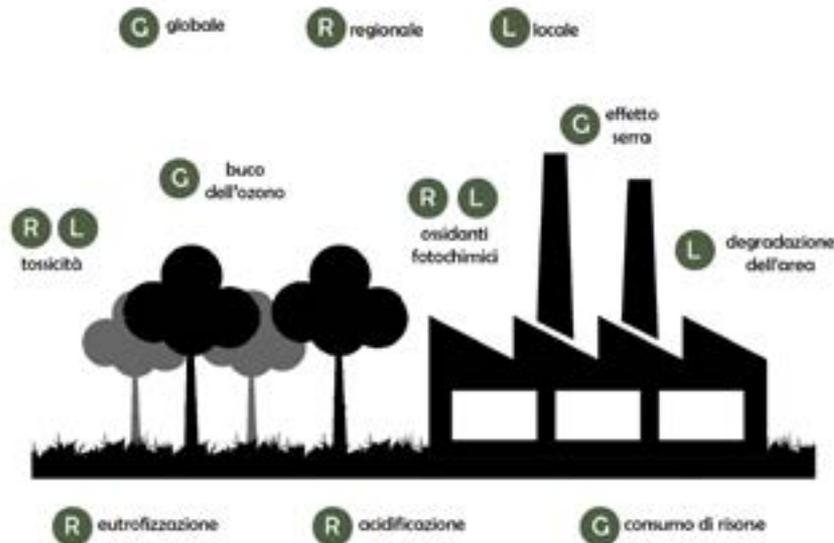


Fig. 3\_19. Alcuni esempi di effetti ambientali che possono presentarsi a scala globale, regionale o locale

Gli effetti ambientali che vengono considerati in questa fase della LCA vengono definiti, non solo a seconda delle potenziali ricadute sulla salute dell'uomo e sull'ambiente, ma anche in base al loro raggio di influenza e per questo si parlerà di scala. "Per le categorie d'impatto vengono utilizzati i seguenti paradigmi principali:

- ecologia: effetti sulla popolazione ed ecosistema;
- salute: effetti su salute e sicurezza dell'uomo;
- risorse: esaurimento di risorse di energia e di materiali;

<sup>39</sup> BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008, p. 155



- riflessi sociali: impatto su tutte le attività umani che interagiscono con il sistema considerato e degrado dell'habitat."<sup>40</sup>

Il **risultato** di questa fase sarà la conoscenza di dove e come poter agire per diminuire e minimizzare l'impatto dovuto ai processi.

## LE FASI DEL LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT

### ELEMENTI «OBBLIGATORI»

- definizione delle categorie di impatto
- definizione dei risultati LCI (classificazione)
- calcolo degli indicatori di categoria (caratterizzazione)



### ELEMENTI «OPZIONALI»

- confronto con un valore di riferimento (normalizzazione)
- raggruppamento
- pesatura

Fig. 3\_20. Rielaborazione delle fasi principali di una LCA (ISO 14040 e ISO 14044) (Fonte: BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008)

## La quarta fase di una LCA

Come già descritto l'analisi del ciclo di vita può avere diverse finalità anche se lo **scopo principale è quello di ricercare la massima eco efficienza.**

La norma ISO 14040 definisce questa quarta fase di una LCA come "il momento in cui realizzare una valida correlazione tra i risultati dell'analisi d'inventario e

<sup>40</sup> BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gmateriali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2005, p. 168



di quella degli impatti e per proporre utili raccomandazioni in conformità con gli scopi e gli obiettivi dello studio”<sup>41</sup>.

Per non perdere la portata della nomenclatura antecedenti all’uscita della norma ISO, la quarta fase è stata definita **componendo le due terminologie** quella ISO 14040 e quella SETAC del congresso del Vermont del 1990. Infatti, è stato ampliato il suo campo d’azione dal solo termine “Interpretation” della norma al linguaggio SETAC “Improvement”. Ad oggi non esiste un codice di riferimento per attuare questa fase ma bensì l’esperienza del progettista, con le competenze del Life Cycle Engineer, costituiscono la base per reimpostare gli studi di fattibilità degli eventuali cambiamenti.<sup>42</sup>

La **norma ISO 14044** indica le “seguenti **fasi operative**:

1. identificazione degli aspetti principali evidenziati dai risultati delle fasi precedenti;
2. controllo ulteriore tramite analisi di sensibilità;
3. conclusioni evidenziando i limiti, raccomandazioni.”<sup>43</sup>

---

41 ISO 14040:2006, Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and framework, ISO/TC 207/S05

42 BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008, p. 187

43 ISO 14044:2006, Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines



Fig. 3 21. Rielaborazione delle fasi di interpretazione e miglioramento combinata con le altre fasi di una LCA (Fonte: BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008)

“Ogni passo sviluppato durante questa fase deve essere riesaminato in un’ottica LCA. È proprio qui che le possibili soluzioni vengono valutate e classificate a seconda dei rendimenti energetici e ambientali di ciclo di vita e vengono arricchite ai classici indici economici e prestazionali”<sup>44</sup>.

Quest’ultima fase può essere condotta anche solo su una parte degli indicatori ambientali, o su tutti, tutto varia in base a quel su cui l’azienda ha interesse a concentrarsi. Il **risultato** sarà così l’elaborazione di un **indicatore specifico da monitorare**. Questo, nel tempo, potrebbe essere riconosciuto come un parametro di miglioramento da tenere in considerazione, in particolare durante la fase di interpretazione.<sup>45</sup>

44 BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008, p. 210

45 BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008, p. 188



2

## 4. Proposta metodologica

**4.1.** Life Cycle Costing congiunta con Life Cycle Assessment

**4.2.** La valutazione di soluzioni tecnologiche alternative



## 4.1. Life Cycle Costing congiunta con Life Cycle Assessment

All'interno di questo lavoro di ricerca è ritenuto fondamentale unire le due metodologie precedentemente descritte, LCC (Life Cycle Costing) ed LCA (Life Cycle Assessment).

Si tratta di una prassi che si sta diffondendo in tutto il mondo in quanto riesce ad unire aspetti legati non solo alla sostenibilità economica ma anche alla sostenibilità ambientale.

L'applicazione dell'analisi LCC ed LCA congiunta evidenzia i molti **parallelismi** e interrelazioni dei due approcci, infatti:

- Valutano gli effetti a lungo termine delle varie scelte;
- Analizzano una gamma diversificata di valori;
- Vengono utilizzati dati simili sia per i materiali sia per l'energia;
- Considerano funzionamento e manutenzione;
- Valutano la fase di riciclaggio e smaltimento dei prodotti;
- Nelle scelte da analizzare forniscono una solida base su cui avviare un razionale processo decisionale.

Ovviamente non ci sono solo parallelismi ma anche profonde **differenze**, infatti:



- "L'analisi LCC unisce tutti i costi rilevanti espressi in termini finanziari e gli utilizza come base per prendere decisioni di investimento;
- L'analisi LCA permette di prendere delle decisioni sulla base di possibili impatti ambientali basandosi su punteggi di criteri ambientali.

Agli impatti ambientali si possono attribuire alcune delle voci di costo, anche se ciò non è sempre possibile in quanto non esistono criteri per quantificarli.

Le analisi LCC e LCA possono essere applicate in diversi **contesti e modalità**:

- L'uso di LCC e LCA come due criteri distinti per la valutazione di una sola scelta di investimento, dove altri criteri di valutazione potrebbero includere la funzionalità, l'estetica, la velocità di costruzione, i futuri ritorni di investimento ecc;
- L'uso di LCC e LCA come due criteri di selezione per la valutazione di scelte di investimento alternativi;
- L'uso della metodologia LCC per avere una valutazione economica degli impatti di sostenibilità con un valore monetario accettato e facilmente calcolato;
- L'uso dell'analisi LCC per fornire una valutazione economica delle scelte alternative individuate in una valutazione LCA;
- L'uso dell'analisi LCA per la definizione di scelte alternative con una buona prestazione ambientale e la successiva analisi LCC solo su queste ultime;
- L'uso della metodologia LCC per definire le scelte economicamente



convenienti e prendere una decisione definitiva grazie all'utilizzo dell'analisi LCA solo su quelle decisioni.

Possiamo dichiarare che le due analisi, LCC e LCA, possono essere impiegate sia contemporaneamente, l'una accanto all'altra in un processo di valutazione più ampio, sia in maniera sequenziale in un processo dove i risultati di un'analisi sono il punto di partenza dell'altra."<sup>1</sup>

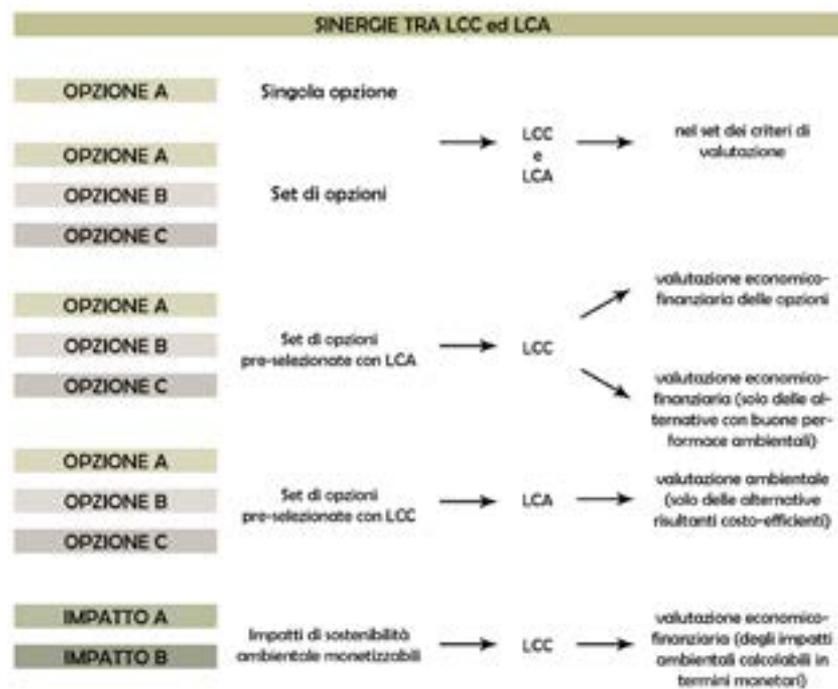


Fig 1.1. Possibili sinergie tra LCC ed LCA (Fonte: FREGONARA E., Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura, Franco Angeli, 2016)

In questo percorso di tesi le due metodologie sono state applicate in maniera

<sup>1</sup> BROSSA E., CIPOLLA M.S., *L'uso del legno per un'edilizia sostenibile: analisi LCCA per una progettazione consapevole*, Tesi di laurea, Rel. Tulliani J.M.C.T., Ferrando D.G., Politecnico di Torino, 2014, p. 59



congiunta usando **LCC e LCA come due criteri di selezione per la valutazione di soluzioni tecnologiche alternative.**

## 4.2. La valutazione di soluzioni tecnologiche alternative

La fase di analisi, di scelta dei materiali e delle relative tecniche costruttive adottate è molto rilevante, già a partire dalla progettazione, una delle prime fasi del ciclo di vita edilizio. Queste scelte iniziali, che risultano essere importanti per far sì che un progetto abbia un buon rendimento nel suo ciclo di vita, possono essere fatte tramite il supporto delle analisi descritte fino ad ora e quindi LCC ed LCA, anche in maniera congiunta.

**L'obiettivo della sperimentazione e ricerca** è la verifica dell'efficacia dell'uso congiunto dei due approcci, al fine di supportare la scelta fra opzioni di progetto (tecnologie) alternative, in ottica di sostenibilità economico-ambientale, assumendo come caso di analisi due diverse soluzioni tecnologiche (attuale e sperimentale).

Si tratta di una metodologia già applicata in maniera congiunta in passato, a scale differenti a partire dal singolo componente, all'applicazione su un modulo prefabbricato. In questo caso per l'uso congiunto dei due approcci sopracitati,



è stato utilizzato quale caso studio un'unità abitativa esistente presso l'azienda Sarotto Group, denominata la "Biocasa", edificio di 180 mq circa.

La differenza tra i due scenari è nella parte tecnologica dell'edificio, infatti la geometria come anche la distribuzione interna sono assunte invariate.

La **soluzione tecnologica attuale**, da cui l'analisi è partita, è il Sistema Klimasismico, attualmente utilizzato dall'azienda Sarotto Group. Per la **soluzione tecnologica sperimentale**, che si ipotizza essere migliorativa sia a livello economico e sia a livello ambientale, è stata presa in considerazione la Miscela ECOFFI, ancora oggi oggetto di studio e sperimentazione.

Questa soluzione tecnologica è stata concordata con l'azienda stessa ed è stata mantenuta l'idea di avere dei tamponamenti prefabbricati ipotizzati come "pareti monolite". Non sono variate le modalità di stoccaggio e posa della Biocasa e delle sue componenti, in modo da poter utilizzare al meglio le attrezzature da cantiere già possedute dall'azienda e le competenze degli operai stessi.

Sono state analizzate e **messe a confronto** le due soluzioni tecnologiche attraverso due metodologie: una che valuta la sostenibilità economica, LCC, ed un'altra che valuta la sostenibilità ambientale, LCA. È stata applicata però una semplificazione sull'intero ciclo di vita, in quanto si è partiti ad analizzare



l'edificio dalla fase di costruzione fino alla fase di fine vita-smaltimento. Uno sviluppo completo e dettagliato sarebbe stato troppo complesso da svolgere in questa sede.

Nella seconda fase di studio le due metodologie sono state **applicate in maniera congiunta** ottenendo così dei risultati che integrano la sostenibilità economica e ambientale. Infatti, alle voci di costo già impiegate nell'analisi LCC sono state aggiunte le voci che valutano gli impatti ambientali di entrambi i sistemi tecnologici.

Maggiori dettagli su queste voci di costo e sul procedimento seguito per congiungere le due analisi si trovano nella quarta parte di questo lavoro di tesi, all'interno della quale si affronta la valutazione economico-ambientale dei due scenari.

# 3



Stoccaggio delle Pareti S32 Modul5 presso l'azienda Sarotto Group

## 5. Caso studio

### 5.1. La Biocasa

#### 5.1.1. Sistema costruttivo

#### 5.1.2. Strategie e soluzioni “sostenibili”

### 5.2. Le soluzioni tecnologiche attuali

### 5.3. Le soluzioni tecnologiche sperimentali



## 5.1. La Biocasa

La Sarotto Group è nata negli anni '60 come impresa di costruzione e dal 1981 progetta e costruisce edifici prefabbricati. Dal 2007 si occupa anche della produzione di energia solare e della realizzazione di soluzioni abitative bioclimatiche. Le sue realizzazioni sono per lo più situate in alcune zone del Nord Italia, in Francia e in Svizzera.<sup>1</sup> Sempre nel 2007 è stato brevettato e progettato un modello di casa prefabbricata passiva: la Biocasa Sarotto®. All'interno di questo capitolo viene presentata la Biocasa, con le sue caratteristiche tecnologiche, che è stata adottata come **caso studio** del lavoro di ricerca e sperimentazione svolto.

«*Grazie ad uno scrupoloso studio architettonico, bioclimatico ed energetico, la nostra biocasa è in grado di acquisire dal sole tutta l'energia necessaria per riscaldare, raffrescare, illuminare e alimentare gli elettrodomestici, con un bilancio a energia quasi zero e basse emissioni.*» Mauro Sarotto, amministratore delegato di Sarotto Group – novembre 2007

La biocasa adotta strategie bioclimatiche e riesce ad ottimizzare il comfort abitativo, riducendo al minimo l'utilizzo di componenti impiantistici per la climatizzazione, integrando a questo l'uso delle fonti rinnovabili.

<sup>1</sup> <https://www.sarotto.it/> (10/2019)



Fig 5\_1. Immagini della Biocasa (a cura dell'autore e dell'azienda)



Una caratteristica, tra le tante, da non sottovalutare è sicuramente la volumetria compatta che aiuta ad avere meno superficie disperdente rispetto a progetti più articolati e di conseguenza meno dispersioni termiche.

Il tetto, elemento architettonico caratterizzante questo edificio, è costituito da un'ampia falda inclinata di 35° e orientata verso sud in modo da sfruttare al massimo l'irraggiamento solare. Infatti su di essa è stato posato un ampio numero di pannelli fotovoltaici. La falda inoltre presenta uno sporto che durante la stagione estiva va ad ombreggiare parzialmente le vetrate sottostanti al fine di ridurre l'irraggiamento sui vetri e il conseguente surriscaldamento degli ambienti.

### 5.1.1. Il sistema costruttivo

La Biocasa è realizzata secondo un innovativo sistema costruttivo ecosostenibile e antisismico, brevettato dall'azienda Sarotto Group nel 2012, chiamato **Sistema Klimasismico**. È un sistema costituito da più elementi dove il più importante è sicuramente l'S32 modul5, ossia l'elemento opaco di tamponatura dell'involucro degli edifici.

È un sistema pensato con una struttura a telaio, in cemento armato, che viene dimensionato di volta in volta in base alle caratteristiche del progetto e del terreno in cui verrà collocato l'edificio. L'elemento di tamponamento viene



Fig 5\_2. Solaio Predalles depositato in azienda



Fig 5\_3. Solaio Predalles depositato all'esterno con interposizione blocchi EPS



Fig 5\_4. Pareti esterne S32 Modul5, depositate in azienda

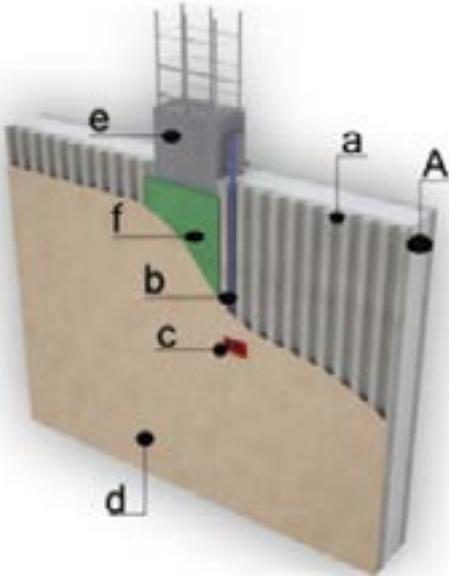


Fig 5\_5. Il muro S32 modul5, in assonometria (Fonte: <https://www.sarotto.it>)

prefabbricato in azienda e successivamente trasportato e posato in cantiere. In ordine di costruzione vengono prima posate le pareti facendo attenzione a lasciare lo spazio idoneo per i pilastri e successivamente vengono casserati e gettati in opera i pilastri. I casseri sono del tipo a perdere (perciò dopo l'asciugatura del cemento non vengono rimossi) e sono costituiti da materiale isolante in modo tale da correggere il ponte termico che si verrebbe a creare tra parete e pilastro. Inoltre così facendo si va a garantire l'unione tra tamponamento e pilastro trasformandoli così in un giunto elastico che va ad assorbire le sollecitazioni sismiche e assicurando un alto grado di duttilità.

Riassumendo il **metodo costruttivo** brevettato dall'azienda Sarotto Group è quello classico di un telaio di cemento armato e tamponatura prefabbricata al quale però sono stati fatti vari accorgimenti e modifiche specifiche, che hanno reso unica questa metodologia.

É stato analizzato il metodo costruttivo e in particolare il muro di tamponamento **S32 modul5** che è caratterizzato da una speciale partizione superficiale a rilievi che riesce a facilitare e velocizzare l'installazione degli impianti elettrici ed idraulici.

“Il muro **S32 modul5** è un elemento prefabbricato costituito da due lastre di 4/8 cm (interna) e 6 cm (esterna) in calcestruzzo naturale (prodotto con



cemento naturale dall'azienda Vicat) alleggerito e fibrorinforzato, e da una coibentazione in EPS di 18 cm (densità 20 kg/m<sup>3</sup>) tra di esse interposta. La superficie interna (Fig. 3.1\_5) del pannello è a rilievi **(a)**. L'estremità laterale delle pareti termina con incavi e incastrì, utili per una corretta connessione con i pilastri, **(e)** e con le battute di posa dell'isolante (interno 4 cm; esterno 3 cm) **(f)**. Previa esecuzione degli impianti, **(b-c)** l'involucro edilizio è rifinito esternamente con rasatura armata o con cappotto termico e internamente con placcaggio di lastre in cartongesso **(d)**".<sup>2</sup>

"Nella sezione tecnologica e nello spaccato assometrico sono evidenziati gli elementi che costituiscono la parete sandwich di dimensioni 500x290x32 cm:

- a)** rivestimento esterno in intonaco fibrorinforzato 1,5 cm;
- b)** strato coibente in EPS 6cm;
- c)** pelle esterna "S32 modul 5" (6 cm), costituita da una miscela di cemento Portland, inerte fine, fibre polimeriche strutturali (4,2cm) e granuli in EPS vergine o macinato per dare al calcestruzzo una densità di 1500 kg/m<sup>3</sup>;
- d)** strato coibente in EPS, interposto tra il pannello esterno e il pannello interno (densità 20 kg/m<sup>3</sup>). Per garantire il taglio termico, l'isolante si estende su tutta la superficie della parete, con un giunto massimo tra le lastre di 1 cm;
- e)** monotraliccio di altezza 23 cm, in acciaio zincato, disposto nel senso

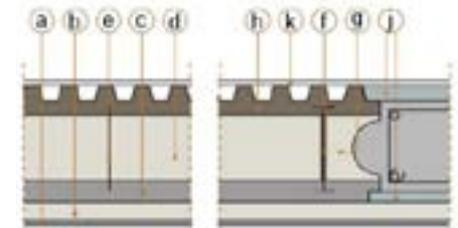
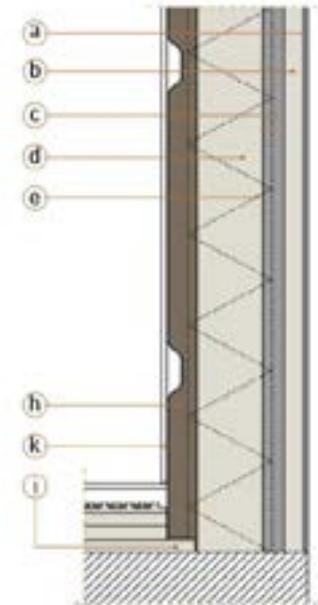
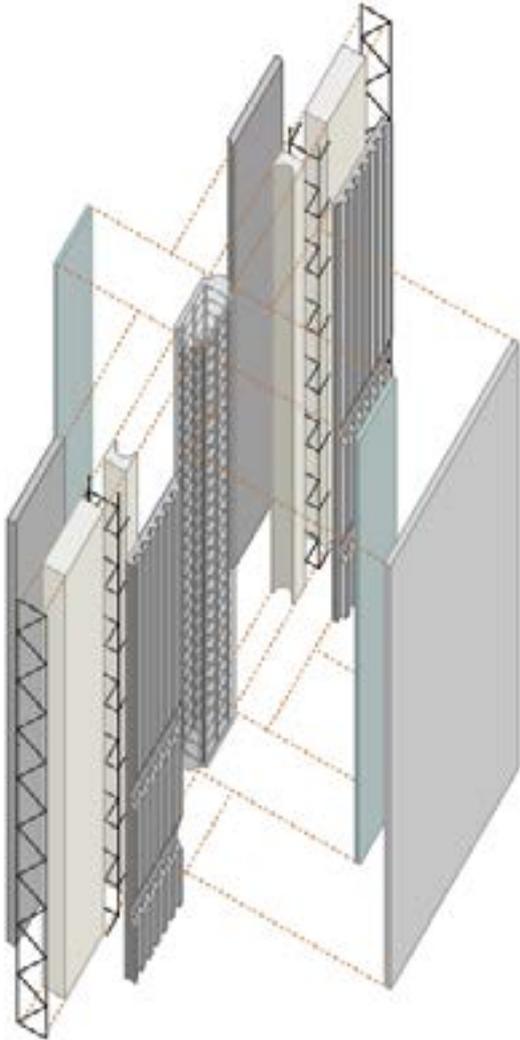


Fig 5\_6. Sezione tecnologica 1:20 (Fonte: ANDREOTTI J., FARUKU D., ECOFFI: Ecological COConcrete Filled Fibers. Progetto, sviluppo e monitoraggio di un sistema di involucro a base di cemento naturale e fibre vegetali riciclate, Tesi di laurea, Rel. Giordano R., Montacchini E.P., Corrado Carbonaro C., Politecnico di Torino, a.a. 2017/2018)

<sup>2</sup> [https://www.sarotto.it/case-prefabbricate-in-cemento-naturale// \(10/2019\)](https://www.sarotto.it/case-prefabbricate-in-cemento-naturale// (10/2019))



verticale alla parete.

Il passo non deve superare gli 80 cm, al fine di creare la connessione tra la lastra interna ed esterna e garantire il taglio termico. I monotralicci sono collegati da armature trasversali ( $\varnothing$  8 mm);

**f)** armature di rinforzo a C ( $\varnothing$  8/15 mm) poste verticalmente sui lati terminali, per rinforzare le estremità della chiusura verticale e garantire la resistenza alle sollecitazioni sismiche;

**g)** giunto in EPS sagomato per correggere il ponte termico e migliorare l'assorbimento delle sollecitazioni sismiche tra la struttura portante e la parete;

**h)** pelle interna "S32 Modul 5" (4/8 cm) in calcestruzzo naturale Prompt di Vicat.

La superficie interna del pannello è a rilievi, al fine di predisporre il passaggio degli impianti: con passo di 10 cm sul piano verticale, di 53 cm (altezza presa) e 138 cm (altezza interruttore) sul piano orizzontale.

La superficie a rilievi offre la possibilità di realizzare gli impianti senza l'esecuzione di tracce;

**i)** basso rilievo per alloggiare l'isolante e correggere il ponte termico tra la soletta e la parete (4 cm).

**j)** lastra coibente in Styrodur goffrato per rivestire la faccia interna (4cm) ed esterna (3cm) del pilastro;

Fig 5 7. Spaccato assonometrico S32 Modul5 (Fonte: ANDREOTTI J., FARUKU D., ECOFFI: Ecological COConcrete Filled Fibers. Progetto, sviluppo e monitoraggio di un sistema di involucro a base di cemento naturale e fibre vegetali riciclate, Tesi di laurea, Rel. Giordano R., Montacchini E.P., Corrado Carbonaro C., Politecnico di Torino, a.a. 2017/2018)



k) Pannello in cartongesso, come finitura della facciata interna.”<sup>3</sup>

### 5.1.2. Le strategie e soluzioni “sostenibili”

Le **caratteristiche termo-igrometriche** che questo Sistema Klimasismico garantisce sono ottimali. Infatti, assicura bassi valori di trasmittanza termica e garantisce un’alta efficienza energetica degli edifici.

Alcune delle **caratteristiche della Biocasa** sono:

- “La **copertura** ventilata, realizzata con soletta predalles alleggerita e con trasmittanza termica di  $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;
- I **solai e le pareti** che costituiscono l’involucro sono sviluppati per assicurare un buon isolamento termico;
- Il **pavimento** controterra (trasmittanza termica  $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) è costituito da platea coibentata e da sistema radiante a pavimento;
- Le **pareti esterne** (trasmittanza termica  $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) sono realizzate con muratura prefabbricata s32 modul5 e isolamento integrale a cappotto di 10 cm;
- Gli **infissi** (trasmittanza termica  $\leq 1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), in legno, pvc o alluminio, sono costituiti da triplo vetro e gas argon. Le veneziane nell’intercapedine del vetro e lo sporto del tetto regolano l’irraggiamento estivo;



Fig 5\_8. Immagine del Prospetto Est della Biocasa



Fig 5\_9. Immagine del Prospetto Sud della Biocasa



Fig 5\_10. Pareti S32 Modul5, stoccate all'esterno dell'azienda



Fig 5\_11. Assemblaggio edificio, da parte dell'azienda  
(Fonte: <https://www.sarotto.it>)

- L'**impianto solare termico**, utile per la produzione di acqua calda sanitaria, ha due pannelli posti sulla falda a sud (35°) e un accumulatore da 300 litri;
- L'**impianto fotovoltaico**, principale fonte energetica dell'abitazione, è dimensionato per poter garantire il fabbisogno necessario per il riscaldamento, il raffrescamento, l'illuminazione e l'alimentazione degli elettrodomestici;
- La **pompa di calore idronica**, che estrae energia termica dall'aria, è costituita da un'unità esterna nel vano tecnico dell'autorimessa e da un modulo hydro-box posto nel locale lavanderia;
- Il **camino a legna**, fonte alternativa alla pompa di calore, è localizzato in posizione strategica al piano terra in modo da poter riscaldare la totalità degli spazi abitativi;
- L'**impianto di deumidificazione centralizzato** permette la regolazione dell'umidità interna;
- La **ventilazione meccanica** con recupero di calore, purifica l'aria, migliorando il benessere e riducendo infine le dispersioni termiche;
- Il **sistema produttivo** prevede l'utilizzo di energia elettrica che viene autoprodotta da fonti rinnovabili.”<sup>4</sup>

<sup>4</sup> <https://www.sarotto.it/> (10/2019)



La Biocasa possiede un "metodo costruttivo che:

- migliora l'isolamento termico, riducendo le dispersioni e permettendo temperature abitative interne sempre ottimali;
- punta sull'ecosostenibilità, infatti segue cicli produttivi rispettosi dell'ambiente;
- aumenta la sicurezza sismica, assicurando solidità strutturale e duttilità antisismica, rientrando nel sistema brevettato Klimasismico;
- aumenta la velocità di posa, diminuendo i tempi di costruzione e i relativi costi;
- cresce la resistenza al fuoco, attraverso l'uso di materiali autoestinguenti e la protezione attraverso l'incapsulamento di quelli infiammabili;
- migliorano le prestazioni acustiche, grazie agli ottimi livelli di isolamento acustico di facciata e di fonoassorbenza interna;
- permette un risparmio economico, riducendo i costi costruttivi e di gestione.”<sup>5</sup>

Tutti i cicli produttivi della Sarotto Group tendono alla minimizzazione dell'uso di energia, alla riduzione della produzione di rifiuti, al recupero e al riuso dei materiali.

Per il **reperimento delle materie prime** alla base della politica aziendale, c'è il concetto di “filiera corta”, di fondamentale importanza. Seppur il legante



Fig 5\_12. Aspetti sostenibili su cui l'azienda sta puntando (Fonte: <https://www.sarotto.it>)

<sup>5</sup> <https://www.sarotto.it/> (10/2019)



## Materie prime

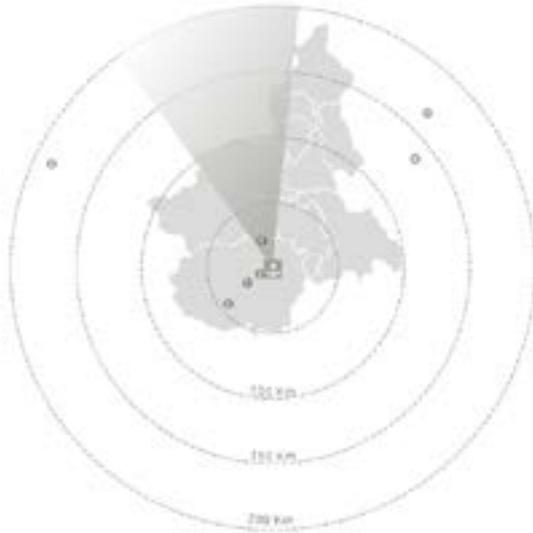


Fig 5\_13. Reperimento materie prime da parte dell'azienda (Fonte: Brochure azienda)

naturale Prompt, gli additivi super fluidificanti e le fibre polimeriche strutturali arrivano da fornitori distanti più di 100 km, i prodotti essenziali e i semilavorati sono reperiti nelle vicinanze della sede produttiva.

“I materiali utilizzati per confezionare le murature “S32 modul5”, con le relative distanze, in linea d’aria, da Narzole (CN), sono:

- Inerti (sabbione e ghiaietta), cava ELI di Salmour (5,7 km);
- Monotralicci ed elementi a C in ferro zincato, centro di trasformazione Retifer di Centallo (24 km);
- Cemento Portland 42,5, cementeria Buzzi Unicem di Robilante (42,8 km);
- Legante naturale Prompt, cementeria Vicat di Grenoble (182 Km);
- Pannelli di Polistirene sagomato, azienda Olivero di Sommariva del Bosco (21,3 km);
- Polistirolo in granuli, materiale riciclato, ottenuto dalla macinazione di scarti propri e da altri fornitori locali;
- additivi superfluidificanti ed aeranti, azienda Sika di Calusco d’Adda (177 km);
- fibre polimeriche strutturali, Mapei di Robbiano (147km).

Il polistirene riciclato che arriva dagli scarti dello stabilimento produttivo e dai cantieri esterni viene utilizzato per l’alleggerimento delle murature prefabbricate S32 modul5.



Il materiale, composto da granuli, ha un peso specifico del 35% circa, in confronto al volume dello stesso. Questo viene sistemato in big bag, selezionato, macinato in granuli ed insilato, riuscendo ad influire poco rispetto al peso del prodotto finito.”<sup>6</sup>

## 5.2. Le soluzioni tecnologiche attuali

Nell'analisi dei materiali adottati nel sistema tecnologico attuale è presente il **cemento naturale prompt**, prodotto e importato dall'azienda francese Vicat. Si tratta di un legante idraulico naturale senza alcuni additivi. Per le sue caratteristiche naturali ed ecosostenibili, questo cemento rientra nella famiglia dei materiali della bioedilizia.

L'impatto ambientale, che anche in questo caso risulta essere particolarmente elevato, proviene dalle alte temperature di cottura (1300-1450°C), a cui tutti gli altri elementi artificiali devono cuocere, rispetto al Prompt.

Le caratteristiche di quest'ultimo sono dovute alla velocità di presa (2 minuti alla temperatura di 20 °C) e alla presenza di silicati di calcio che aiutano a svolgere varie funzioni tra cui: idratare il cemento, rigenerare l'impasto dalle fessure formate nella fase iniziale e aumentare lentamente le resistenze meccaniche nel tempo (mesi/anni)<sup>7</sup>, seppur questo dipenda anche dal rapporto acqua/

| Minerali   | Percentuale |
|--|-------------|
| Silicato tricalcico (C <sub>3</sub> S)                         | 5-15%       |
| Silicato bicalcico (C <sub>2</sub> S)                          | 40-60%      |
| Alluminato tricalcico (C <sub>3</sub> A)                       | 6±2%        |
| Ferroalluminato tetracalcico (C <sub>4</sub> AF)               | 9±2%        |
| Epta-alluminato dodecocalico (C <sub>12</sub> A <sub>7</sub> ) | 3±1%        |
| Periclasio (MgO)   | 4±1%        |
| Itrato di Calcio (Ca(OH) <sub>2</sub> )                        | 2%          |
| Calcite (CaCO <sub>3</sub> )                                   | 10±15%      |
| Solfite (SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )                       | 3±1%        |
| Altri che danno fasi amorfe                                    | 10-15%      |

Fig 5\_14. Composizione mineralogica del Cemento Prompt  
(Fonte: <http://www.cimentetarchitecture.com/it/content/view/full/6272/> (09/2019))

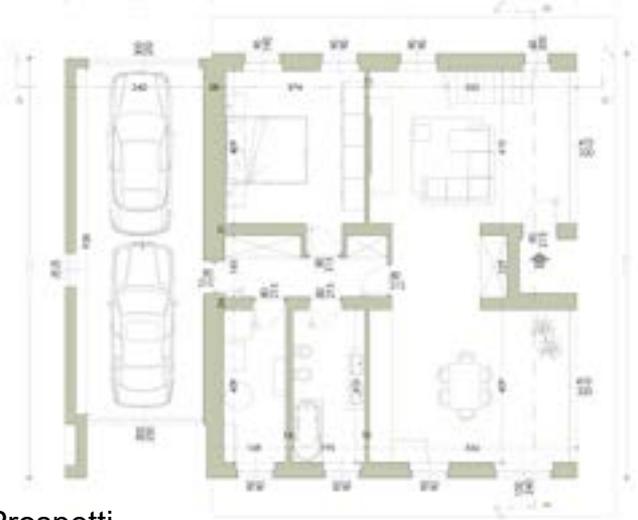
<sup>6</sup> Brochure azienda

<sup>7</sup> <http://www.cimentetarchitecture.com/it/content/view/full/5372>



## Biocasa, Sistema attuale:

Pianta piano terra e pianta primo piano



Prospetti



PROSPETTO OVEST



PROSPETTO SUD



PROSPETTO EST



PROSPETTO NORD



## Sezioni



SEZIONE A'-A

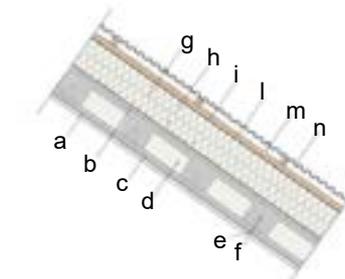
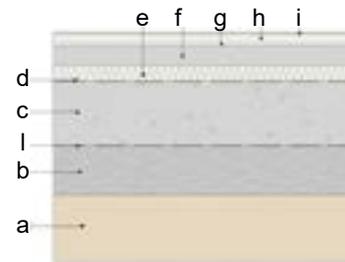
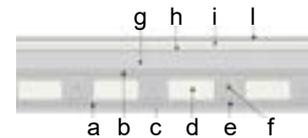


SEZIONE B'-B



Fig 5\_16. Immagine del Prospetto Sud (a cura dell'azienda)

## Soluzione tecnologica attuale:



La **parete perimetrale** verticale del sistema costruttivo Klimasismico® è costituita da:

- **Rivestimento esterno con sistema integrale a cappotto:**
  - a) rasatura armata con tonachino colorato;
  - b) isolante termico con spessori variabili;
- **S32 Modul5®:**
  - c) lastra esterna (6 cm);
  - d) strato coibente in EPS;
  - e) monotraliccio di altezza 23 cm, in acciaio zincato;
  - f) armature di rinforzo a C (Ø 8/15 mm) poste verticalmente;
- **Soluzioni in cemento resistenza alle sollecitazioni sismiche:**
  - g) giunto in EPS sagomato per correggere il ponte termico;
  - h) lastra interna (4-8 cm) in calcestruzzo naturale Prompt;
  - i) basso rilievo per correggere il ponte termico tra soletta e parete (4 cm);
  - j) lastra coibente in Styrodur gofrato per rivestire la parete interna (4 cm) ed esterna (3 cm) del pilastro;
- **Rivestimento interno:**
  - k) lastra in cartongesso di 1,2 cm e tinta come finitura.

Il **Solaio interpiano** è così composto:

- a) armatura fissa
- b) armatura di ripartizione
- c) lastra in cls
- d) polistirene espanso
- e) armatura aggiuntiva
- f) traliccio elettrosaldato
- g) massetto impianti
- h) pannelli radianti per pavimento riscaldato
- i) massetto autolivellante
- l) pavimentazione in gres porcellanato

Il **Solaio su piano non riscaldato** è così composto:

- a) terreno
- b) ghiaia
- c) fondazioni
- d) barriera al vapore
- e) pannelli isolanti XPS (10 cm)
- f) massetto impianti
- g) pannelli radianti per pavimento riscaldato
- h) massetto autolivellante
- i) pavimentazione in gres porcellanato
- l) impermeabilizzante

Il **Solaio di copertura** è così composto:

- a,b,c,d,e,f) come Solaio interpiano
- g) barriera al vapore
- h) pannelli di isolante EPS (20 cm)
- i) impermeabilizzante
- l) tavolato ligneto
- m) seconda orditura per areazione copertura
- n) lamiera grecata



cemento (a/c).

Il cemento **naturale Prompt** è un legante idraulico naturale ottenuto tramite la cottura lenta e a bassa temperatura di calcari argillosi macinati.

Abbiamo una prima pelle interna che è costituita da lastre in cartongesso di 12 mm. Questo ha varie proprietà come:

- elevata traspirabilità,
- assorbe e rilascia l'umidità degli ambienti,
- ha la capacità di assorbire e neutralizzare i volatili organici (VOC),
- ha ottime prestazioni termiche, acustiche e di resistenza al fuoco,
- garantisce un buon livello di finitura, con tempi e costi di applicazione relativamente ristretti.

La seconda pelle interna è costituita da una miscela di cemento naturale prompt, inerte fine, granuli in eps e fibre.<sup>8</sup>

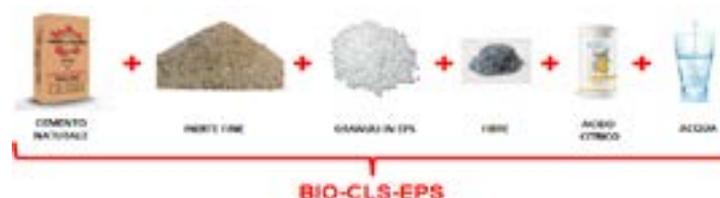


Fig 5\_17. Seconda pelle interna, sistema S32 Modul 5 (Fonte: <https://www.sarotto.it/case-prefabbricate-in-cemento-naturale/>)

La prima pelle esterna è costituita da una miscela di cemento portland, inerte fine, granuli in eps e fibre.

<sup>8</sup> <https://www.sarotto.it/> (10/2019)

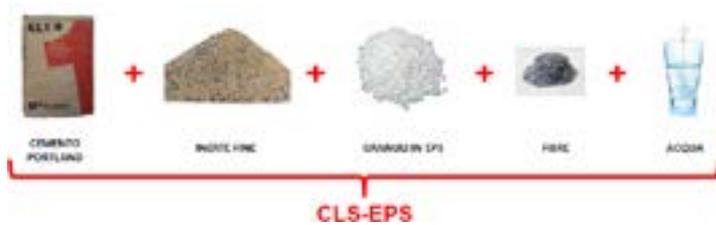


Fig 5\_18. Prima pelle esterna, sistema S32 Modul 5 (Fonte: <https://www.sarotto.it/case-prefabbricate-in-cemento-naturale/>)

La seconda pelle esterna è invece costituita dall'intonaco esterno o dal cappotto.

“La soluzione con intonaco prevede una prima fase di rasatura armata su pilastri, l'intonaco di regolarizzazione, la rasatura armata e la finitura con tonachino colorato.

La soluzione con cappotto può essere eseguita con isolanti di spessore e natura diversa, in base alle prestazioni termiche desiderate”<sup>9</sup>.

Sia con la prima che con la seconda soluzione sono garantite la protezione dai raggi UV, la protezione dagli agenti atmosferici, la durabilità e finiture ad alti livelli.



| CARATTERISTICHE STRUTTURALI E ANTISISMICHE KLIMASISMICO - S32 Modul5®  |   |      |                  |          |                  |    |  |       |   |          |                                   |       |          |     |  |
|--|---|------|------------------|----------|------------------|----|--|-------|---|----------|-----------------------------------|-------|----------|-----|--|
| Zone sismiche  |   |      |                  |          |                  |    |  |       |   |          |                                   |       |          |     |  |
| Classificazione sismica  | 1   | 1-2A | 2                | 2A       | 2A-2D            | 2D | 2A-3A<br>3B                                  | 2D-2A | 3   | 3a       | 3A                                | 3A-3D | 3D       | 3-4 |  |
| Klimasismico-S32 Modul5®   | ✓   | ✓    | ✓                | ✓        | ✓                | ✓  | ✓  | ✓     | ✓   | ✓        | ✓                                 | ✓     | ✓        | ✓   |  |
| CARATTERISTICHE ENERGETICHE - AMBIENTALI   |   |      |                  |          |                  |    |  |       |   |          |                                   |       |          |     |  |
| Analisi LCA (dalla culla al cancello)<br>Unità funzionale = 1 m² di parete.<br>Trasmittanza termica delle pareti (U) (0,235 W/m²K) | S32 Modul5® vs Pareti prefabbricate in cls standard |      |                  |          |                  |    |  |       |   |          |                                   |       |          |     |  |
|  | S32 Modul5® + lastra cartongesso                    |      |                  |          |                  |    | Murature standard                            |       |   |          |                                   |       |          |     |  |
| Energia Primaria non rinnovabile totale (MJ)   | 1158  |      |                  |          |                  |    | 1428   |       |   |          |                                   |       |          |     |  |
| Energia Primaria rinnovabile totale (MJ)   | 32  |      |                  |          |                  |    | 57   |       |   |          |                                   |       |          |     |  |
| Riscaldamento globale (GWP) (kgCO <sub>2</sub> eq)   | 80  |      |                  |          |                  |    | 119  |       |   |          |                                   |       |          |     |  |
| CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE   |   |      |                  |          |                  |    |  |       |   |          |                                   |       |          |     |  |
| Modalità di posa in opera  | Sistema a umido/Adesione/Saldatura                  |      |                  |          | Incestro/Griggio |    |  |       | Accostamento                                |          |                                   |       |          |     |  |
| PRESTAZIONI ENERGETICHE (D.lgs.26 GIUGNO 2015)   |   |      |                  |          |                  |    |  |       |   |          |                                   |       |          |     |  |
| Zone climatiche (2021)   |   |      |                  |          |                  |    |  |       |   |          |                                   |       |          |     |  |
| Valori minimi di riferimento (U=W/m²K)   | A e D = 0,43  |      |                  | C = 0,34 |                  |    | D = 0,29                                     |       |   | E = 0,26 |                                   |       | F = 0,24 |     |  |
| S32 Modul5® (U=0,235W/m²K)   | ✓   |      |                  | ✓        |                  |    | ✓  |       |   | ✓        |                                   |       | ✓        |     |  |
| FINE VITA E SMALTIMENTO  |   |      |                  |          |                  |    |  |       |   |          |                                   |       |          |     |  |
| Indicatore di riciclabilità  | Discarica rifiuti speciali                          |      | Discarica inerti |          | Incenerimento    |    | Riciclabile con bassa capacità prestazionale |       | Riciclabile con alta capacità prestazionale |          | Biodegradabile o/o Riutilizzabile |       |          |     |  |
|  |   |      |                  |          |                  |    |  |       |   |          |                                   |       |          |     |  |

Fig 5\_19. Caratteristiche strutturali e antisismiche del sistema Klimasismico - S32 Modul5 (Fonte:Brochure azienda)



### 5.3. Le soluzioni tecnologiche sperimentali

Durante il lavoro di analisi e ricerca è stata ipotizzata una soluzione tecnologica alternativa al metodo costruttivo Klimasismico, già descritto, variando la metodologia e ipotizzando un nuovo Sistema ECOFFI per la Biocasa.

La **miscela ECOFFI** nasce dalla collaborazione dell'azienda italiana Sarotto s.r.l., la francese Vicat Group, ed il Politecnico di Torino con lo sviluppo di un sistema di chiusura verticale in conglomerato leggero, utilizzando un legante naturale e un aggregato 100% biologico. "Il riciclaggio dei residui agricoli, legati all'ottimizzazione dei processi di trasporto, consente di realizzare una "filiera corta" in cui gli aggregati sono reperibili in aree vicine ai siti di produzione"<sup>10</sup>.

Durante questa sperimentazione sono state affrontate varie analisi partendo dalla selezione delle colture presenti sul territorio, che producono maggiori residui, ritenuti utili per la produzione del blocco ECOFFI. Successivamente, dopo aver analizzato le tre principali filiere piemontesi, inizia la fase sperimentale in cui viene prevista la realizzazione di campioni su cui svolgere le analisi.<sup>10</sup>

Infatti, per essere considerato un materiale da costruzione deve essere conforme alle normative vigenti e avere, quindi, determinate caratteristiche prestazionali come resistenza meccanica e termica.

<sup>10</sup> ANDREOTTI J., FARUKU D., *ECOFFI: Ecological CONcrete Filled Fibers. Progetto, sviluppo e monitoraggio di un sistema di involucro a base di cemento naturale e fibre vegetali riciclate*, Tesi di laurea, Rel. Giordano R., Montacchini E.P., Corrado Carbonaro C., Politecnico di Torino, a.a. 2017/2018, p. 6



Fig 5\_20. Superfici coltivate a mais rispetto a Narzole (Fonte: ANDREOTTI J., FARUKU D., ECOFFI: Ecological COncrete Filled Fibers. Progetto, sviluppo e monitoraggio di un sistema di involucro a base di cemento naturale e fibre vegetali riciclate, Tesi di laurea, Rel. Giordano R., Montacchini E.P., Corrado Carbonaro C., Politecnico di Torino, a.a. 2017/2018)



Fig 5\_21. Superfici coltivate a riso rispetto a Narzole (Fonte: ANDREOTTI J., FARUKU D., ECOFFI: Ecological COncrete Filled Fibers. Progetto, sviluppo e monitoraggio di un sistema di involucro a base di cemento naturale e fibre vegetali riciclate, Tesi di laurea, Rel. Giordano R., Montacchini E.P., Corrado Carbonaro C., Politecnico di Torino, a.a. 2017/2018)

Ad oggi, fondamentale è poter ricevere la marcatura del prodotto per l'impiego nel mercato edilizio ed è proprio per questo che sono stati fatti monitoraggi più approfonditi.

Ad oggi, l'azienda Sarotto Group è proprio al centro delle province con maggiore superficie coltivata destinata a mais: Cuneo (42 km), Alessandria (88 km) e Torino (67 km). Per facilitare la produzione e la vendita della miscela ECOFFI sarebbe indispensabile realizzare un centro di stoccaggio nel quale venga realizzato il prodotto edilizio. Essendo costituito da **materie prime piuttosto voluminose** sarebbe conveniente avere in sede silo verticali o almeno lo stoccaggio in rotoballe delle materie vegetali in modo da ridurre lo spazio dedicato alle merci.

“Sul territorio piemontese, la superficie coltivata a riso è pari a 116.324 ha<sup>11</sup>. Di questi in particolare la paglia costituisce circa il 50% della massa della pianta di riso, ma solamente il 60% può essere raccolta dopo la trebbiatura. È un sottoprodotto che presenta alti tassi di umidità nel momento del taglio e proprio per questo motivo è importante che il clima sia favorevole nei giorni successivi al taglio per una naturale e necessaria essiccazione”<sup>12</sup>.

11 dato Ente Nazionale Risi 2016

12 ANDREOTTI J., FARUKU D., ECOFFI: *Ecological COncrete Filled Fibers. Progetto, sviluppo e monitoraggio di un sistema di involucro a base di cemento naturale e fibre vegetali riciclate*, Tesi di laurea, Rel. Giordano R., Montacchini E.P., Corrado Carbonaro C., Politecnico di Torino, a.a. 2017/2018, p. 89



Inoltre l'azienda Sarotto Group si colloca ad una distanza di 95 km rispetto a Vercelli e 115 km da Novara, le due province piemontesi a più alta produzione di riso, altra componente del materiale ECOFFI.

Durante la **fase sperimentale e ricerca** del progetto Ecoffi sono stati prodotti e analizzati ben **34 provini**, studio iniziato con il lavoro di tesi di Jacopo Andreotti e Denis Faruku. "Il blocco ECOFFI è composto da un mix di: cemento naturale, acqua, acido citrico (ritardante di presa), tutolo di mais (aggregato) e paglia di riso (fibra). È stato utilizzato un legante naturale, invece che un cemento ordinario in base a decisioni e specifiche esigenze delle aziende coinvolte nel progetto. Lo sviluppo del Blocco è stato suddiviso in **tre serie differenti di prove**. La prima prova è stata condotta impiegando solo il tutolo naturale, con una granulometria compresa tra 1-40 mm, inserendo anche sfalci di potatura. Questa scelta è da attribuire anche alla disponibilità stimata che rende il tutolo un sottoprodotto più facilmente recuperabile, rispetto alla paglia di riso. Al naturale, il tutolo è caratterizzato da un'umidità del 41% e per poterlo impiegare in una miscela cementizia, è stato necessario essiccarlo naturalmente, arrivando così ad un'umidità del 28%. Le analisi condotte sui 4 provini prodotti hanno però evidenziato problemi di coesione a causa della granulometria non uniforme. Nella seconda serie di sperimentazioni è stato



Fig 5\_22. Differenza di coesione tra gli aggregati utilizzati per l'impasto ECOFFI (Fonte: ANDREOTTI J., FARUKU D., GIORDANO R. in Adolfo F.L. Baratta, Il riciclaggio di scarti e rifiuti in edilizia, dal downcycling all'upcycling verso gli obiettivi di economia circolare, "Coltivare" la filiera del riciclo di sottoprodotti agricoli nella produzione del calcestruzzo, 2019)

sostituito il tutolo naturale con quello industriale che possiede un'umidità media pari al 13% e viene differenziato in due differenti classi granulometriche (0,85-1,04 mm e 2-6,3 mm). Queste sono state setacciate al fine di distribuire uniformemente i granuli negli impasti".<sup>13</sup>

I vari prototipi realizzati avevano una bassa coesione a causa dell'espansione e del ritiro dell'aggregato, a causa del suo comportamento igroscopico e dalla mancanza di fibre che servivano per riempire gli interstizi presenti tra i granuli. Quindi nella terza campagna è stato deciso di miscelare l'aggregato con la fibra, costituita da paglia di riso sminuzzata (2-10 cm), in pari quantità. Con l'introduzione della fibra, sono stati colmati gli interstizi presenti negli altri provini e questo ha permesso di confezionare altri 10 campioni coesi. Sull'ultima serie di provini, sono stati diretti alcuni monitoraggi in modo da poter determinare la massa volumica apparente, la resistenza a compressione e la conduttività termica.

<sup>13</sup> ANDREOTTI J., FARUKU D., GIORDANO R. in Adolfo F.L. Baratta, Il riciclaggio di scarti e rifiuti in edilizia, dal downcycling all'upcycling verso gli obiettivi di economia circolare, "Coltivare" la filiera del riciclo di sottoprodotti agricoli nella produzione del calcestruzzo, 2019, p. 105



### Prestazioni dei provini ECOFFI

| Simb.     | Parametro                              | U.d.M.                | Valore |
|-----------|--|-----------------------|--------|
| $\rho$    | Densità apparente                      | kg/m <sup>3</sup>     | 540    |
| Rck       | Resistenza a compressione              | MPa                   | 0,5    |
| $\lambda$ | Conduttività termica                   | W/mK                  | 0,088  |
| U         | Trasmittanza termica (blocco sp. 30cm) | W/m <sup>2</sup> K    | 0,29   |
| EE        | Embodied Energy                        | MJ/kg                 | 3,03   |
| EC        | Embodied Carbon                        | kgCO <sub>2</sub> /kg | -0,16  |

Fig 5\_23. Risultati dei monitoraggi e dello studio LCA (Fonte: ANDREOTTI J., FARUKU D., GIORDANO R. in Adolfo F.L. Baratta, Il riciclaggio di scarti e rifiuti in edilizia, dal downcycling all'upcycling verso gli obiettivi di economia circolare, "Coltivare" la filiera del riciclo di sottoprodotti agricoli nella produzione del calcestruzzo, 2019)

“I **risultati** presentano una prestazione meccanica ( $R_{ckm}=0,5$  MPa) simile a prodotti disponibili sul mercato; la trasmittanza termica dei provini ( $U_{blocco30cm}=0,29$  W/m<sup>2</sup>K) dimostra le possibilità di utilizzo in fasce climatiche, da C ad E. È stato condotto poi uno studio LCA attraverso il quale è stato possibile valutare l'impatto ambientale, in termini di Embodied Energy (EE) ed Embodied Carbon (EC). L'EE è un parametro che valuta il contenuto di energia primaria, proveniente da fonti non rinnovabili e rinnovabili, necessario al prodotto durante le fasi del suo ciclo di vita. L'EC valuta invece le emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente prodotta, durante le fasi del ciclo di vita.”<sup>14</sup>

14 ANDREOTTI J., FARUKU D., GIORDANO R. in Adolfo F.L. Baratta, Il riciclaggio di scarti e rifiuti in edilizia, dal downcycling all'upcycling verso gli obiettivi di economia circolare, "Coltivare" la filiera del riciclo di sottoprodotti agricoli nella produzione del calcestruzzo, 2019, p. 105-106

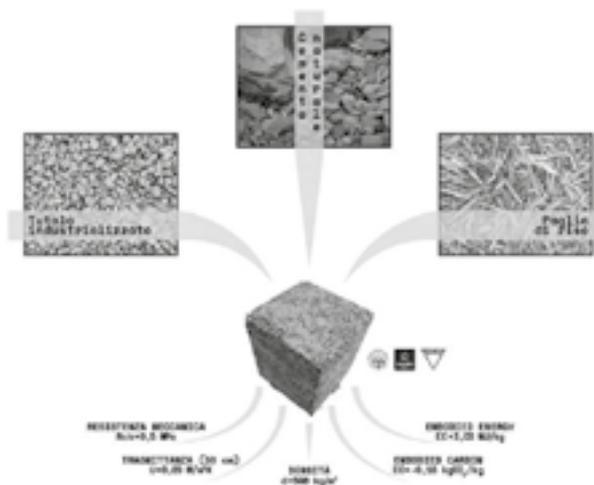


Fig 5\_24. Componenti del mix design e prestazioni dei provini (Fonte: ANDREOTTI J., FARUKU D., GIORDANO R. in Adolfo F.L. Baratta, Il riciclaggio di scarti e rifiuti in edilizia, dal downcycling all'upcycling verso gli obiettivi di economia circolare, "Coltivare" la filiera del riciclo di sottoprodotti agricoli nella produzione del calcestruzzo, 2019)

Sulla base di un'unità funzionale (1 kg di prodotto finito) è stato calcolato un valore di EE pari 3,03 MJ/kg e di EC pari a -0,16 kgCO<sub>2</sub>/kg.

La Embodied Energy rientra nell'intervallo di valori determinati per calcestruzzi leggeri in blocchi, compresi tra 2,53 e 3,5 MJ/kg<sup>15</sup>, anche se bisogna notare che la quota di energia primaria da fonti rinnovabili è superiore alla media. “Per quanto riguarda i valori di Embodied Carbon, si deduce chiaramente il credito ambientale, derivante dal contenuto di carbonio assorbito dai componenti vegetali durante il ciclo di crescita, che consente di classificare il provino come “carbon neutral” o “carbon free”. ”<sup>16</sup>

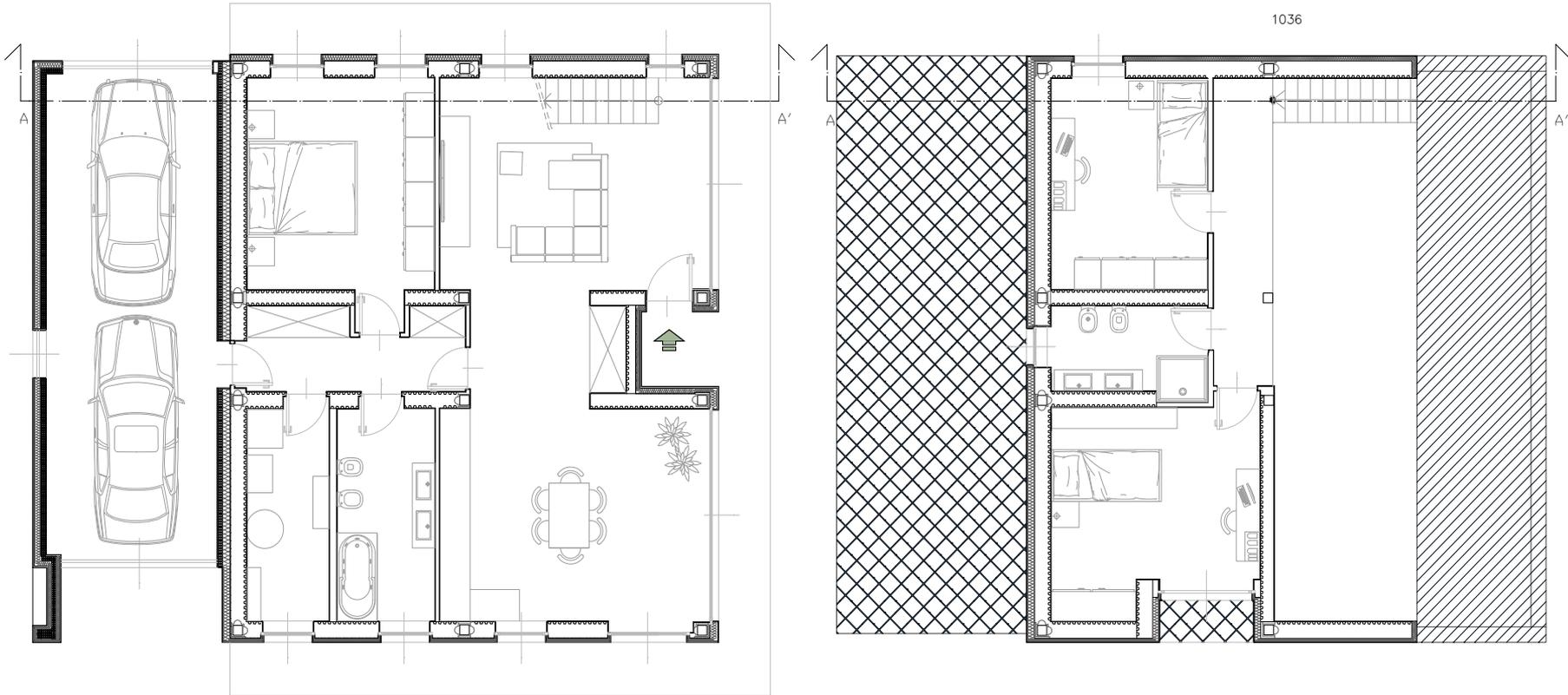
<sup>15</sup> Giordano, 2010; ICE,2010

<sup>16</sup> ANDREOTTI J., FARUKU D., GIORDANO R. in Adolfo F.L. Baratta, Il riciclaggio di scarti e rifiuti in edilizia, dal downcycling all'upcycling verso gli obiettivi di economia circolare, “Coltivare” la filiera del riciclo di sottoprodotti agricoli nella produzione del calcestruzzo, 2019, p. 107





## Biocasa, Sistema sperimentale: Pianta di dettaglio





## Sezione e dettagli tecnologici

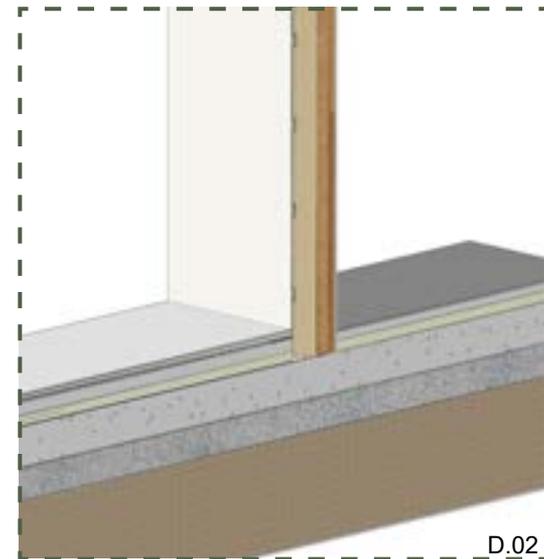
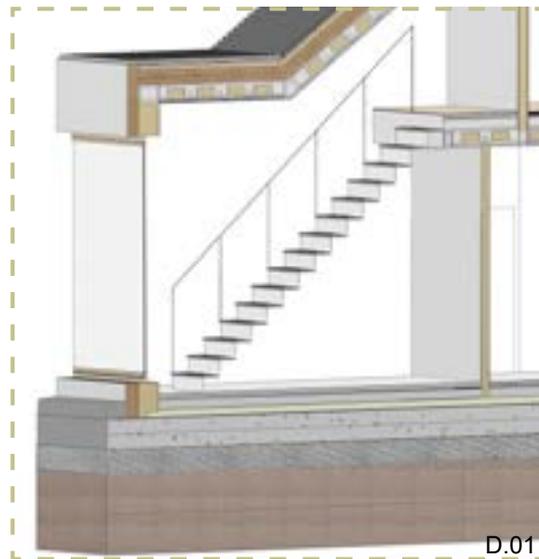
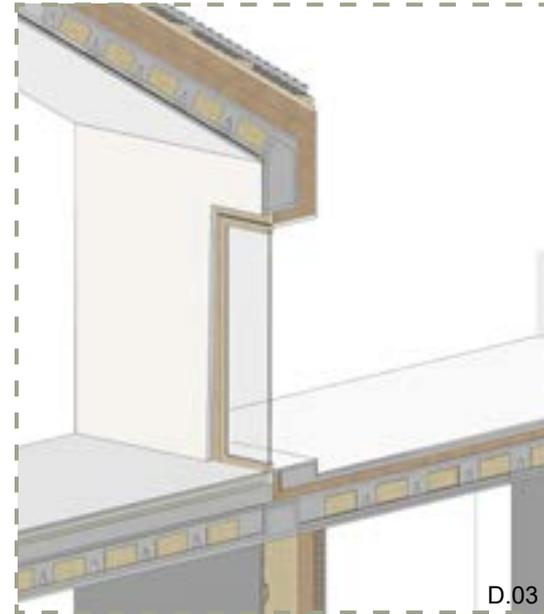
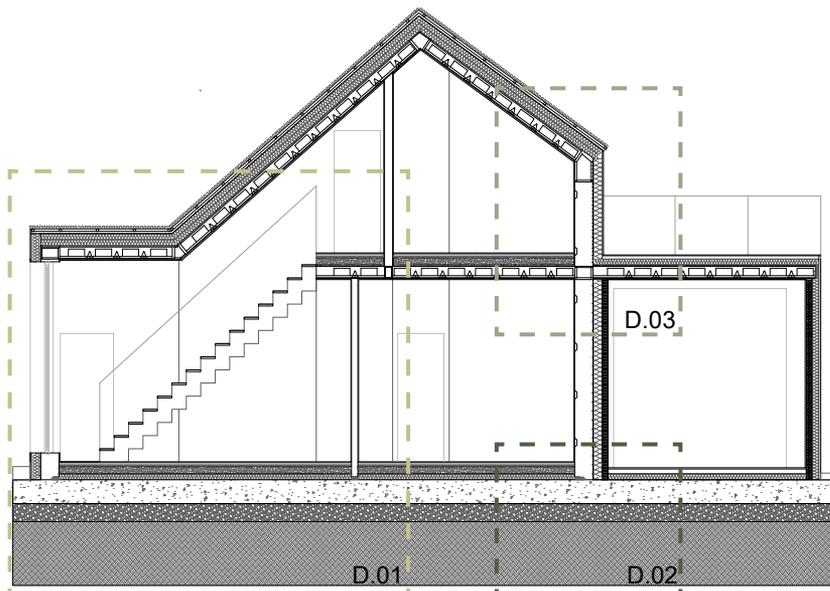


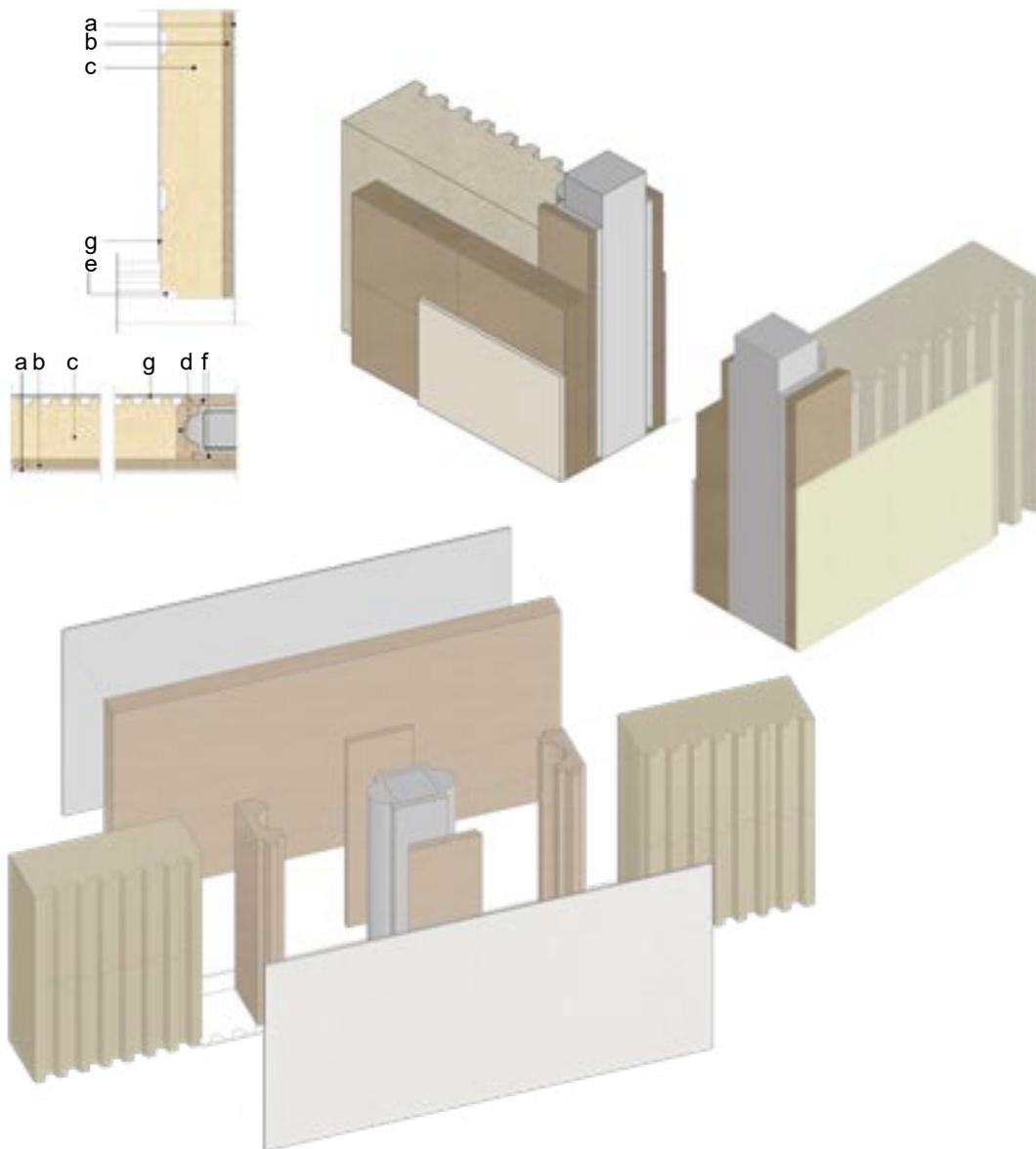
Fig 5\_25. Disegni a cura dell'autore



## Soluzione tecnologica sperimentale

### PARETE PERIMETRALE:

Pianta, Sezione e Viste assonometriche



La **parete perimetrale** verticale del sistema costruttivo Ecoffi è costituita da:

- **Rivestimento esterno con sistema integrale a cappotto:**

a) rasatura armata con tonachino naturale colorato;

b) isolante termico di sughero con spessori variabili a seconda dell'orientamento della parete, **Parete ECOFFI:**

c) parete monolitica materiale ECOFFI, con sistema a bassorilievo per poter alloggiare gli impianti idraulici e elettrici;

- **Soluzioni in cemento resistenza alle sollecitazioni sismiche;**

d) giunto in sughero sagomato per correggere il ponte termico e migliorare l'assorbimento delle sollecitazioni sismiche tra la struttura portante e la parete;

e) basso rilievo per alloggiare l'isolante e correggere il ponte termico tra la soletta e la parete (4 cm);

f) lastra coibente in Corkpan per rivestire la parete interna (4 cm) ed esterna (3 cm) del pilastro;

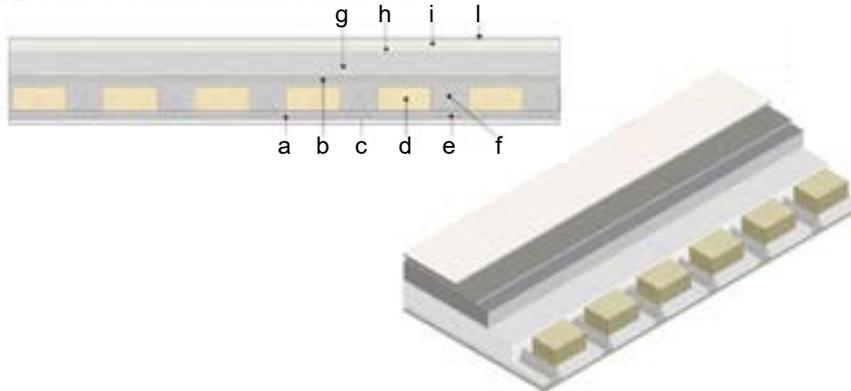
- **Rivestimento interno:**

g) lastra in Celenit AB di 1,5 cm.



### SOLAIO INTERPIANO:

#### Sezione e Vista assonometrica

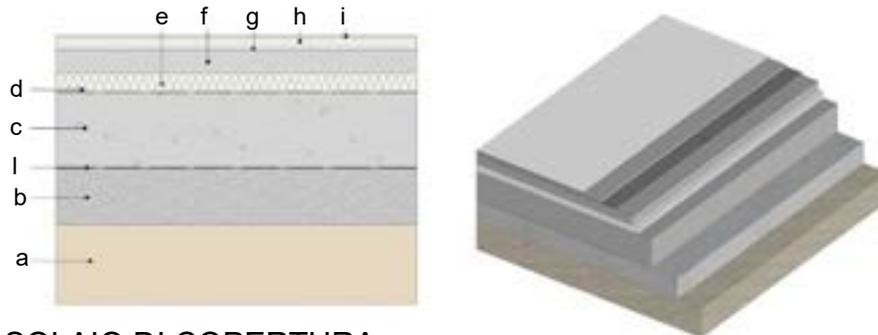


Il **Solaio interpiano** è così composto:

- a) armatura fissa
- b) armatura di ripartizione
- c) lastra in cls
- d) ECOFFI
- e) armatura aggiuntiva
- f) traliccio elettrosaldato
- g) massetto impianti
- h) pannelli radianti per riscaldamento a pavimento
- i) massetto autolivellante
- l) pavimentazione

### SOLAIO SU PIANO NON RISCALDATO:

#### Sezione e Vista assonometrica

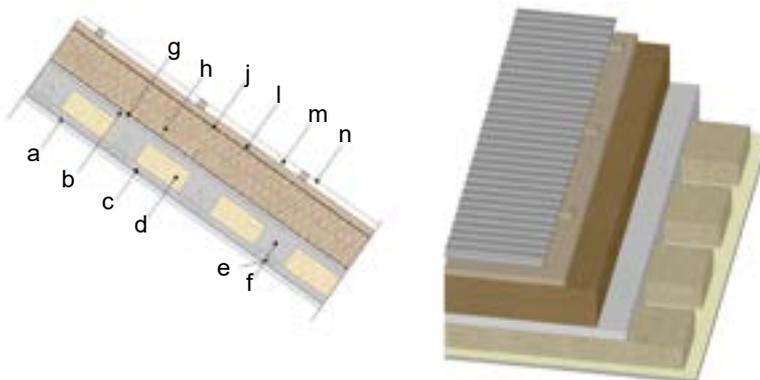


Il **Solaio sul piano non riscaldato** è così composto:

- a) terreno
- b) ghiaia
- c) fondazioni
- d) barriera al vapore
- e) pannelli isolanti in XPS (10 cm)
- f) massetto impianti
- g) pannelli radianti per riscaldamento a pavimento
- h) massetto autolivellante
- i) pavimentazione in cotto
- j) impermeabilizzante

### SOLAIO DI COPERTURA:

#### Sezione e Vista assonometrica

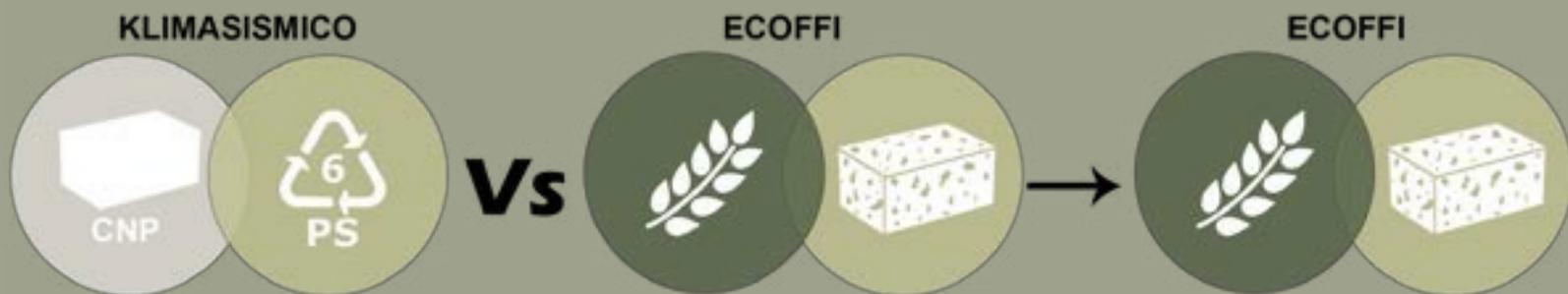


Il **Solaio di copertura** è così composto:

- a) armatura fissa
- b) armatura di ripartizione
- c) lastra in cls
- d) ECOFFI
- e) armatura aggiuntiva
- f) traliccio elettrosaldato
- g) barriera al vapore
- h) pannelli isolanti in sughero Corkpan (20 cm)
- i) impermeabilizzante
- l) tavolato ligneo
- m) seconda orditura per areazione copertura
- n) lamiera grecata

Fig 5\_26. Disegni a cura dell'autore

# 4



Scelta tra Sistema Attuale (Klimasismico) e Sistema Sperimentale (Ecoffi)

## 6. Valutazione economico - ambientale degli scenari tecnologici

- 6.1.** Applicazione dell'approccio LCC sullo scenario attuale e sperimentale
- 6.2.** Analisi LCC+LCA sullo scenario attuale e sperimentale
  - 6.2.1.** Voci di costo nel dettaglio
- 6.3.** Applicazione congiunta di LCC e di LCA e calcolo di un indicatore sintetico economico - ambientale
- 6.4.** Risultati dell'applicazione



## 6.1. Applicazione dell'approccio LCC sugli scenari "attuale" e "sperimentale"

La sostenibilità economica delle diverse soluzioni tecnologiche è stata valutata andando a individuare tutti i costi e le spese che si suppone di dover sostenere nell'intero ciclo di vita dell'edificio, dalla costruzione alla gestione fino ad arrivare alla dismissione, smaltimento.

Il **calcolo dei costi** è stato sviluppato in maniera semplificata in quanto l'applicazione completa di un'analisi sull'intero ciclo di vita comporterebbe l'individuazione di un numero considerevole di dati e l'accesso ad informazioni anche molto complicate da individuare e di non facile reperimento.

Non sono stati considerati, infatti, alcuni costi come i "Non Construction Cost" quindi i costi relativi all'acquisizione del terreno, le spese d'atto, la bonifica eventuale dell'area, gli oneri di urbanizzazione e il contributo sul costo di costruzione. Non sono stati neanche considerati parte dei "Costi di gestione" ed in particolare i costi di assicurazione, i costi dell'energia elettrica, le tasse e spese di registrazione, le imposte di bollo e tasse sull'imponibile in quanto si suppone siano comuni ai due scenari e dunque trascurabili ai fini dell'analisi stessa.

La simulazione di calcolo, anche se semplificata, porta ad ogni modo a risultati confrontabili tra loro. In questo modo è possibile fare delle **considerazioni**



## economiche sulle soluzioni tecnologiche studiate.

Vengono qui riportati gli **indicatori sintetici** calcolati applicando l'approccio LCC.

| INDICATORI SINTETICI                  | ATTUALE   | SPERIMENTALE |
|---------------------------------------|-----------|--------------|
| NPV                                   | 127924,28 | 122009,98    |
| $NS = LCC_{BASE} - LCC_{ALTERNATIVO}$ | 5914,30   |              |
| $SIR = O_s / A_i$                     | 1,83      |              |
| $AIRR = (1+r)(SIR)^{1/N} - 1$         | 6,27%     |              |

|   | ATTUALE      | SPERIMENTALE | $\Delta$   |
|---|--------------|--------------|------------|
| Risparmi sullo smaltimento dei materiali ( $Os_1$ ) |              |              | 2.693,67 € |
| Risparmi sulla manutenzione ( $Os_2$ )              | 18.438,00 €  | 16.088,40 €  | 2.349,60 € |
| Costi del materiale ( $A_i$ )                       | 223.200,00 € | 225.950,00 € | 2.750,00 € |
| r   | 2,50%        |              |            |

Questi risultati evidenziano la preferibilità per lo scenario sperimentale, che risulta essere meno costoso, valutando l'intero ciclo di vita e variando solo i materiali adottati. È dimostrato tramite l'applicazione dell'approccio LCC che lo scenario sperimentale, dunque il Sistema ECOFFI è più conveniente, in termini economici, dello scenario attuale, il Sistema Klimasismico.

Ovviamente i risultati della sperimentazione, qui condotta ai soli fini didattici, andrebbero ulteriormente verificati e confrontati considerando anche le voci omesse, o parzialmente ricostruite, o calcolate in modalità approssimativa. Pertanto i risultati devono essere opportunamente interpretati in considerazione dei limiti del lavoro di simulazione didattico, e considerando l'obiettivo di indagine metodologica.

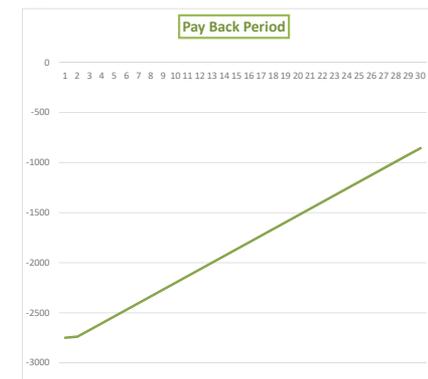
## INDICATORI SINTETICI ACCETTABILI

Net Savings > 0

Pay Back Period = < 30 anni

Savings t Investment Ratio > 1

Adjusted Internal Rate of Return > r





## LCC Scenario attuale

| LIFE CYCLE COST                    |   |                       |               |                   |             |                   |                   |               |
|------------------------------------|---|-----------------------|---------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------------|---------------|
| Construction                       |   | €/giorno              | €/giorno      | giorni lavorativi | [mq]        | costo parametrico | €                 | %             |
| Fondazioni                         |   |                       |               |                   |             |                   | 16.879,00         | 5,16%         |
| Opere strutturali                  |   |                       |               |                   |             |                   | 100.200,00        | 30,61%        |
| Finiture                           |   |                       |               |                   |             |                   | 123.000,00        | 37,57%        |
| Costo di manodopera                |   |                       |               |                   |             |                   | 12.000,00         | 3,67%         |
| Costo di cantiere                  |   | 1.200,00<br>ponteggio | 172,50<br>gru | 40,00             |             |                   | 6.937,00          | 2,12%         |
| <b>Totale</b>                      |   |                       |               |                   | <b>0,00</b> |                   | <b>259.016,00</b> | <b>79,12%</b> |
| Spese tecniche                     | % |                       |               |                   |             | 8%                | 20.721,28         | 6,33%         |
| <b>Totale Costi di Costruzione</b> |   |                       |               |                   |             |                   | <b>279.737,28</b> | <b>85,45%</b> |

| Operation Cost               |   |          |        |      |        |                   |                 |              |
|------------------------------|---|----------|--------|------|--------|-------------------|-----------------|--------------|
|                              | % | kWh/anno | kWh/m2 | [mc] | [mq]   | costo parametrico | €               | %            |
| Costo del Riscaldamento      |   |          | 35,00  |      | 180,00 | 0,38              | 2.381,40        | 0,73%        |
| Costo ACS                    |   |          | 16,00  |      | 180,00 | 0,22              | 633,60          | 0,19%        |
| <b>Totale Operation Cost</b> |   |          |        |      |        |                   | <b>3.015,00</b> | <b>0,92%</b> |

| Maintenance  |   |          |     |      |      |                   |                  |              |
|--|---|----------|-----|------|------|-------------------|------------------|--------------|
|  | % | kWh/anno | [t] | [mc] | [mq] | costo parametrico | €                | %            |
| Costi di ordinaria manutenzione                                | % |          |     |      |      | 8,0%              | 883,62           | 0,27%        |
| Costi di straordinaria amministrazione - Pompa di calore       |   |          |     |      |      |                   | 8.000,00         | 2,44%        |
| Costi di straordinaria amministrazione - Pannelli fotovoltaici |   |          |     |      |      |                   | 6.000,00         | 1,83%        |
| <b>Totale Maintenance</b>                                      |   |          |     |      |      |                   | <b>14.883,62</b> | <b>4,55%</b> |

| End of Life                               |   |          |     |      |          |                   |                  |              |
|---|---|----------|-----|------|----------|-------------------|------------------|--------------|
|   | % | kWh/anno | [t] | [mc] | [mq]     | costo parametrico | €                | %            |
| Costi di demolizione                      |   |          |     |      | 1.253,00 | 16,00             | 20.048,00        | 6,12%        |
| Costo di smaltimento dei rifiuti speciali |   |          |     |      |          |                   | 9.702,00         | 2,96%        |
| <b>Totale End of life</b>                 |   |          |     |      |          |                   | <b>29.750,00</b> | <b>9,09%</b> |

|                     |                   |                |
|---------------------|-------------------|----------------|
| <b>TOTALE COSTI</b> | <b>327.385,90</b> | <b>100,00%</b> |
|---------------------|-------------------|----------------|

### FLUSSO ECONOMICO - CASH FLOW UNLEVERED

#### FLUSSO ECONOMICO - CASH FLOW UNLEVERED:

|                        |
|------------------------|
| saggio attualizzazione |
| <b>NPV</b>             |

|       |                     |
|-------|---------------------|
| annuo | equival. di periodo |
| 2,50% | 2,50%               |
|       | <b>-127.924,28</b>  |



| Inizio lavori   |                  | Fine lavori      |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |                  |  |  |
|-----------------|------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|--|--|
| Anno            |                  |                  |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             | Totale           |  |  |
| 1               | 2                | 3                | 4           | 5           | 6           | 7           | 8           | 9           | 10          | ...         | 29          | 30          | Totale      |                  |  |  |
| 0%              | 10%              | 90%              | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 100%             |  |  |
| 0,00            | 1.687,90         | 15.191,10        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 16.879,00        |  |  |
| 0%              | 10%              | 90%              | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 100%             |  |  |
| 0,00            | 10.020,00        | 90.180,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 100.200,00       |  |  |
| 0%              | 10%              | 90%              | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 100%             |  |  |
| 0,00            | 12.300,00        | 110.700,00       | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 123.000,00       |  |  |
| 20%             | 40%              | 40%              | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 100%             |  |  |
| 2.400,00        | 4.800,00         | 4.800,00         | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 12.000,00        |  |  |
| 40%             | 45%              | 15%              | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 100%             |  |  |
| 2.774,80        | 3.121,65         | 1.040,55         | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 6.937,00         |  |  |
| 10%             | 45%              | 45%              | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 100%             |  |  |
| <b>5.174,80</b> | <b>9.609,55</b>  | <b>21.031,65</b> | <b>0,00</b> | <b>35.816,00</b> |  |  |
| 20%             | 60%              | 20%              | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 100%             |  |  |
| 4.144,26        | 12.432,77        | 4.144,26         | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 20.721,28        |  |  |
| <b>9.319,06</b> | <b>22.042,32</b> | <b>25.175,91</b> | <b>0,00</b> | <b>56.537,28</b> |  |  |

| 1           | 2           | 3           | 4               | 5               | 6               | 7               | 8               | 9               | 10              | ...             | 29              | 30              | Totale           |
|-------------|-------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 0,00        | 0,00        | 0,00        | 2.381,40        | 2.381,40        | 2.381,40        | 2.381,40        | 2.381,40        | 2.381,40        | 2.381,40        | 2.381,40        | 2.381,40        | 2.381,40        | 64.297,80        |
| 0,00        | 0,00        | 0,00        | 633,60          | 633,60          | 633,60          | 633,60          | 633,60          | 633,60          | 633,60          | 633,60          | 633,60          | 633,60          | 17.107,20        |
| <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>3.015,00</b> | <b>81.405,00</b> |

| 1           | 2           | 3           | 4             | 5             | 6             | 7             | 8             | 9             | 10            | ...           | 29            | 30              | Totale |
|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|--------|
| 0,00        | 0,00        | 0,00        | 76,05         | 77,12         | 78,21         | 79,31         | 80,43         | 81,57         | 82,72         | 108,24        | 109,80        | 2.480,84        |        |
| 0,00        | 0,00        | 0,00        | 307,69        | 307,69        | 307,69        | 307,69        | 307,69        | 307,69        | 307,69        | 307,69        | 307,69        | 8.307,69        |        |
| 0,00        | 0,00        | 0,00        | 230,77        | 230,77        | 230,77        | 230,77        | 230,77        | 230,77        | 230,77        | 230,77        | 230,77        | 6.230,77        |        |
| <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>306,82</b> | <b>307,89</b> | <b>308,98</b> | <b>310,08</b> | <b>311,20</b> | <b>312,34</b> | <b>313,49</b> | <b>339,01</b> | <b>340,57</b> | <b>8.711,61</b> |        |

| 1           | 2           | 3           | 4           | 5           | 6           | 7           | 8           | 9           | 10          | ...         | 29          | 30               | Totale           |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|------------------|
| 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 20.048,00        | 20.048,00        |
| 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 9.702,00         | 9.702,00         |
| <b>0,00</b> | <b>29.750,00</b> | <b>29.750,00</b> |

|                 |                  |                  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                   |
|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|
| <b>9.319,06</b> | <b>22.042,32</b> | <b>25.175,91</b> | <b>3.321,82</b> | <b>3.322,89</b> | <b>3.323,98</b> | <b>3.325,08</b> | <b>3.326,20</b> | <b>3.327,34</b> | <b>3.328,49</b> | <b>3.354,01</b> | <b>33.105,57</b> | <b>176.403,89</b> |
|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|

|                 |                  |                  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                   |
|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|
| <b>9.319,06</b> | <b>22.042,32</b> | <b>25.175,91</b> | <b>3.321,82</b> | <b>3.322,89</b> | <b>3.323,98</b> | <b>3.325,08</b> | <b>3.326,20</b> | <b>3.327,34</b> | <b>3.328,49</b> | <b>3.354,01</b> | <b>33.105,57</b> | <b>176.403,89</b> |
|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|



## LCC Scenario Sperimentale

| LIFE CYCLE COST                    |   |                       |               |                   |      |                   |                   |               |
|------------------------------------|---|-----------------------|---------------|-------------------|------|-------------------|-------------------|---------------|
| Construction                       |   | €/giorno              | €/giorno      | giorni lavorativi | [mq] | costo parametrico | €                 | %             |
| Fondazioni                         |   |                       |               |                   |      |                   | 16.879,00         | 5,19%         |
| Opere strutturali                  |   |                       |               |                   |      |                   | 98.950,00         | 30,45%        |
| Finiture                           |   |                       |               |                   |      |                   | 127.000,00        | 39,09%        |
| costo manodopera                   |   |                       |               |                   |      |                   | 12.000,00         | 3,69%         |
| costi di cantiere                  |   | 1.200,00<br>ponteggio | 172,50<br>gru | 40,00             |      |                   | 6.937,00          | 2,13%         |
| <b>Totale</b>                      |   |                       |               |                   |      |                   | <b>261.766,00</b> | <b>80,56%</b> |
| Spese tecniche                     | % |                       |               |                   |      | 8%                | 20.941,28         | 6,45%         |
| <b>Totale Costi di Costruzione</b> |   |                       |               |                   |      |                   | <b>282.707,28</b> | <b>87,01%</b> |

| Operation Cost               |   |          |        |      |        |                   |                 |              |
|------------------------------|---|----------|--------|------|--------|-------------------|-----------------|--------------|
|                              | % | kWh/anno | kWh/m2 | [mc] | [mq]   | costo parametrico | €               | %            |
| Costo del Riscaldamento      |   |          | 35,60  |      | 180,00 | 0,38              | 2.422,22        | 0,75%        |
| Costo ACS                    |   |          | 16,00  |      | 180,00 | 0,22              | 633,60          | 0,20%        |
| <b>Totale Operation Cost</b> |   |          |        |      |        |                   | <b>3.055,82</b> | <b>0,94%</b> |

| Maintenance  |   |          |     |      |      |                   |                  |              |
|--|---|----------|-----|------|------|-------------------|------------------|--------------|
|  | % | kWh/anno | [t] | [mc] | [mq] | costo parametrico | €                | %            |
| Costi di ordinaria manutenzione                                | % |          |     |      |      | 8,0%              | 793,23           | 0,24%        |
| Costi di straordinaria amministrazione - Pompa di calore       |   |          |     |      |      |                   | 8.000,00         | 2,46%        |
| Costi di straordinaria amministrazione - Pannelli fotovoltaici |   |          |     |      |      |                   | 6.000,00         | 1,85%        |
| <b>Totale Maintenance</b>                                      |   |          |     |      |      |                   | <b>14.793,23</b> | <b>4,55%</b> |

| End of Life                               |   |          |     |      |          |                   |                  |              |
|---|---|----------|-----|------|----------|-------------------|------------------|--------------|
|   | % | kWh/anno | [t] | [mc] | [mq]     | costo parametrico | €                | %            |
| Costi di demolizione                      |   |          |     |      | 1.253,00 | 16,00             | 20.048,00        | 6,17%        |
| Costo di smaltimento dei rifiuti speciali |   |          |     |      |          |                   | 7.008,33         | 2,16%        |
| <b>Totale End of life</b>                 |   |          |     |      |          |                   | <b>27.056,33</b> | <b>8,33%</b> |

| INCOME  |   |          |        |      |      |                   |                  |               |
|---|---|----------|--------|------|------|-------------------|------------------|---------------|
|   | % | kWh/anno | kWh/m2 | [mc] | [mq] | costo parametrico | €                | %             |
| Riduzione dei costi di smaltimento dei rifiuti in discarica |   |          |        |      |      |                   | -2.693,67        | -0,83%        |
| <b>Totale INCOME</b>  |   |          |        |      |      |                   | <b>-2.693,67</b> | <b>-0,83%</b> |

|                     |  |  |  |  |  |  |                   |                |
|---------------------|--|--|--|--|--|--|-------------------|----------------|
| <b>TOTALE COSTI</b> |  |  |  |  |  |  | <b>324.918,99</b> | <b>100,00%</b> |
|---------------------|--|--|--|--|--|--|-------------------|----------------|

|                         |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| <b>FLUSSO ECONOMICO</b> |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|

| FLUSSO ECONOMICO       |
|------------------------|
| saggio attualizzazione |
| <b>NPV</b>             |

| annuo | equival. di periodo |
|-------|---------------------|
| 2,50% | 2,50%               |
|       | <b>-122.009,98</b>  |



| Inizio lavori |           | Fine lavori |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |           |  |
|---------------|-----------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|-----------|--|
| Anno          |           |             |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      | Totale    |  |
| 1             | 2         | 3           | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | ...   | 29   | 30   | Totale    |  |
| 0,00          | 1.687,90  | 15.191,10   | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | ..... | 0,00 | 0,00 | 16.879,00 |  |
| 0%            | 10%       | 90%         | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   |       | 0%   | 0%   | 100%      |  |
| 2.400,00      | 4.800,00  | 4.800,00    | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | ..... | 0,00 | 0,00 | 12.000,00 |  |
| 20%           | 40%       | 40%         | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   |       | 0%   | 0%   | 100%      |  |
| 2.774,80      | 3.121,65  | 1.040,55    | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | ..... | 0,00 | 0,00 | 6.937,00  |  |
| 40%           | 45%       | 15%         | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   |       | 0%   | 0%   | 100%      |  |
| 5.174,80      | 9.609,55  | 21.031,65   | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | ..... | 0,00 | 0,00 | 35.816,00 |  |
| 10%           | 45%       | 45%         | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   |       | 0%   | 0%   | 100%      |  |
| 4.188,26      | 12.564,77 | 4.188,26    | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | ..... | 0,00 | 0,00 | 20.941,28 |  |
| 20%           | 60%       | 20%         | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   |       | 0%   | 0%   | 100%      |  |
| 9.363,06      | 22.174,32 | 25.219,91   | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | ..... | 0,00 | 0,00 | 56.757,28 |  |
| 10%           | 45%       | 45%         | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   |       | 0%   | 0%   | 100%      |  |

| 1    | 2    | 3    | 4        | 5        | 6        | 7        | 8        | 9        | 10       | ...   | 29       | 30       | Totale    |
|------|------|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|----------|----------|-----------|
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2.422,22 | 2.422,22 | 2.422,22 | 2.422,22 | 2.422,22 | 2.422,22 | 2.422,22 | ..... | 2.422,22 | 2.422,22 | 65.400,05 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 633,60   | 633,60   | 633,60   | 633,60   | 633,60   | 633,60   | 633,60   | ..... | 633,60   | 633,60   | 17.107,20 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3.055,82 | 3.055,82 | 3.055,82 | 3.055,82 | 3.055,82 | 3.055,82 | 3.055,82 | ..... | 3.055,82 | 3.055,82 | 82.507,25 |

| 1    | 2    | 3    | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | ...   | 29     | 30     | Totale   |
|------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|----------|
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 34,02  | 34,25  | 34,49  | 34,73  | 34,97  | 35,22  | 35,46  | ..... | 48,30  | 48,64  | 1.021,41 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 307,69 | 307,69 | 307,69 | 307,69 | 307,69 | 307,69 | 307,69 | ..... | 307,69 | 307,69 | 8.307,69 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 230,77 | 230,77 | 230,77 | 230,77 | 230,77 | 230,77 | 230,77 | ..... | 230,77 | 230,77 | 6.230,77 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 34,02  | 34,25  | 34,49  | 34,73  | 34,97  | 35,22  | 35,46  | ..... | 48,30  | 48,64  | 1.021,41 |

| 1    | 2    | 3    | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | ...   | 29     | 30        | Totale    |
|------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-----------|-----------|
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | ..... | 0,00   | 20.048,00 | 20.048,00 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | ..... | 0,00   | 7.008,33  | 7.008,33  |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 230,77 | 230,77 | 230,77 | 230,77 | 230,77 | 230,77 | 230,77 | ..... | 230,77 | 20.278,77 | 26.278,77 |

| Anno |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |           | Totale    |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-----------|-----------|
| 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | ...   | 29   | 30        | Totale    |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | ..... | 0,00 | -2.693,67 | -2.693,67 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | ..... | 0,00 | -2.693,67 | -2.693,67 |

|          |           |           |          |          |          |          |          |          |          |       |          |           |            |
|----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|----------|-----------|------------|
| 9.363,06 | 22.174,32 | 25.219,91 | 3.320,61 | 3.320,85 | 3.321,09 | 3.321,33 | 3.321,57 | 3.321,81 | 3.322,06 | ..... | 3.334,89 | 20.689,56 | 163.871,04 |
| 9.363,06 | 22.174,32 | 25.219,91 | 3.320,61 | 3.320,85 | 3.321,09 | 3.321,33 | 3.321,57 | 3.321,81 | 3.322,06 | ..... | 3.334,89 | 20.689,56 | 163.871,04 |



## 6.2. Analisi LCC+LCA sullo scenario attuale e sperimentale

Lo studio svolto nella prima fase si è soffermato sulle voci di costo utili per l'approccio LCC, ma si pensa che questo sia solo un primo passaggio a cui va aggiunta la valutazione ambientale.

Per questo motivo si è ritenuto di aggiungere alle voci di costo valutate all'interno dell'approccio LCC parametri che potessero tenere conto degli **impatti ambientali**, che i materiali adottati nella soluzione tecnologica attuale e i materiali adottati nella soluzione tecnologica sperimentale, hanno sull'ambiente. In particolare sono stati valutati l'**Embodied Energy** (EE) e l'**Embodied Carbon** (EC). "L'EE è un parametro che valuta il contenuto di energia primaria, proveniente da fonti non rinnovabili e rinnovabili, necessario al prodotto durante le fasi del suo ciclo di vita. L'EC valuta invece le emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente prodotta, durante le fasi del ciclo di vita."<sup>1</sup> Questi parametri sono stati considerati all'interno del Costo ambientale e del Costo ambientale di manutenzione, che sono stati aggiunti ai costi già utilizzati per l'approccio LCC. Si tratta sicuramente di un'analisi più completa che permette una valutazione della sostenibilità non solo economica ma anche ambientale.

---

<sup>1</sup> ANDREOTTI J., FARUKU D., GIORDANO R. in Adolfo F.L. Baratta, Il riciclaggio di scarti e rifiuti in edilizia, dal downcycling all'upcycling verso gli obiettivi di economia circolare, *"Coltivare" la filiera del riciclo di sottoprodotti agricoli nella produzione del calcestruzzo*, 2019 p. 105-106



## 6.2.1. Voci di costo nel dettaglio

### Costo di costruzione

Il costo di costruzione è stato calcolato a partire da indicazioni fornite dall'azienda costruttrice. È stato utilizzato quindi un sistema che potesse simulare i costi per la realizzazione della Biocasa e utilizzando costi unitari da prezzari per i nuovi prodotti, nella soluzione di progetto. Per la miscela ECOFFI è stato ipotizzato un costo che poteva essere simile a materiali analoghi in commercio. All'interno del preventivo, che si basa solo sulla fornitura del materiale, sono state inserite le quantità delle singole componenti.<sup>2</sup>

I costi della manodopera e del cantiere sono stati computati a parte, andando a ipotizzare le tempistiche di costruzione delle due tipologie costruttive. Il relativo costo di manodopera è stato dimensionato invece andando a moltiplicare le ore lavorative necessarie per il costo orario di un operaio edile.

Anche per quanto riguarda i costi di cantiere la metodologia è stata la stessa. Dopo aver definito i tempi, sono stati reperiti i prezzi medi di affitto e installazione del ponteggio e gru, allestimento cantiere e opere annesse, definendone i costi.

Di seguito vengono riportati i calcoli e il materiale necessario per la determinazione del costo di costruzione.

<sup>2</sup> Non è stato possibile allegare i preventivi in quanto dati sensibili per l'azienda.



## Costo di costruzione

| Sistema costruttivo | costo materiale | costo manodopera | costi di cantiere | TOTALE       |
|---------------------|-----------------|------------------|-------------------|--------------|
| KLIMASISMICO        | 223.200,00 €    | 12.000,00 €      | 6.936,80 €        | 242.136,80 € |
| ECOFFI              | 225.950,00 €    | 12.000,00 €      | 6.936,80 €        | 244.886,80 € |

## Costo manodopera

| Sistema costruttivo | giorni lavorativi | ore lavorative | persone impiegate<br>(valore medio<br>giornaliero) | costo unitario (€/ora) | TOTALE      |
|---------------------|-------------------|----------------|--|------------------------|-------------|
| KLIMASISMICO        | 25                | 8              | 4  | 15,00 €                | 12.000,00 € |
| ECOFFI              | 25                | 8              | 4  | 15,00 €                | 12.000,00 € |

## Costo di cantiere

| Sistema costruttivo | giorni lavorativi | costo della Gru | Mq Ponteggio | Costo del Ponteggio | TOTALE     |
|---------------------|-------------------|-----------------|--------------|---------------------|------------|
| KLIMASISMICO        | 30                | 3100            | 352          | 3.836,80 €          | 6.936,80 € |
| ECOFFI              | 30                | 3100            | 352          | 3.836,80 €          | 6.936,80 € |

## GRU

|                       |            |             |
|-----------------------|------------|-------------|
| Costo d'installazione | 2500       |             |
| Costo di noleggio     | 600 €/mese | 20 €/giorno |

## PONTEGGIO

|                       |             |                  |
|-----------------------|-------------|------------------|
| Costo d'installazione | 10 €/mq     |                  |
| Costo di noleggio     | 1 €/mq/mese | 0,03 €/mq/giorno |

## ALLESTIMENTO

### CANTIERE

|                 |          |
|-----------------|----------|
| Box di cantiere |          |
| WC chimico      | € 10.000 |



I risultati ottenuti in questa simulazione evidenziano che il costo di manodopera e il costo di cantiere restano invariati, ma la variazione si ha nel costo del materiale. Infatti ciò che influisce rendendo meno conveniente lo scenario sperimentale è proprio quest'ultima voce di costo, anche se non risulta essere un aumento così significativo potendolo recuperare nel corso del ciclo di vita preso in esame.



## Costo ambientale

I risultati sul costo ambientale sono stati ottenuti dopo aver catalogato e individuato tutti i **materiali** che compongono i due scenari, quello attuale e quello sperimentale. A ciascun materiale è stato attribuito il **contenuto di energia primaria del materiale** adoperato per la sua realizzazione e la quota di energia rinnovabile utilizzata nell'intero processo ossia il  $CEP_{TOT}$  e il  $CEP_{FR}$  espressi in MJ/kg. Si tratta di valori che sono stati individuati all'interno di database internazionali e, nel caso dei materiali inseriti nella nuova soluzione con la Miscela ECOFFI, grazie alla sperimentazione in corso dai due borsisti Jacopo Andreotti e Denis Faruku. Per i materiali disponibili sul mercato questi valori sono stati reperiti dagli studi LCA forniti dalle aziende produttrici. I parametri analizzati possono differenziarsi a seconda del luogo di produzione, della lavorazione sulla materia prima, del tipo di impiego e del luogo. Per avere dei valori dettagliati bisognerebbe eseguire un'analisi LCA approfondita, dovendo quindi reperire e conoscere dati ed informazioni non facilmente reperibili per tutti i materiali. Per questo in mancanza di dati così dettagliati sono state utilizzate anche dati o schede di prodotti che abbiano caratteristiche simili.

Un lavoro uguale è stato svolto per la determinazione dell'**emissione di anidride carbonica** ( $CO_2$ ) emessa nell'ambiente, durante il ciclo produttivo



del singolo materiale.

Per convertire i dati relativi al calcolo dell'Embodied Energy in valori economici, si sono utilizzati i prezzi medi di **costo dell'energia** per un'azienda operante nel settore delle costruzioni da anni.

Per quanto riguarda invece il calcolo dell'Embodied Carbon, si è utilizzato il valore di **carbon tax medio** presente in Europa<sup>3</sup> pari a 22 €/t. Questa tassa è stata imposta per cercare di ridurre la produzione di materiali che emettono enormi quantitativi di anidride carbonica nell'atmosfera. La prima volta è stata introdotta in Nuova Zelanda nel 2005 e poi in alcuni paesi europei a partire dai primi anni '90, ma la cifra era pari a 15 €/t.

Di seguito vengono riportati i calcoli effettuati per la determinazione del costo ambientale e quindi dei valori sopracitati.

---

3 <https://www.carbontax.org/where-carbon-is-taxed/> (01/2020)



## Costo ambientale Scenario Attuale

|  |   | Lato esterno   |             |              |           |                 |               |                        |                |                |
|--|---|--|-------------|--------------|-----------|-----------------|---------------|------------------------|----------------|----------------|
|  |   | larghezza (m)  | altezza (m) | spessore (m) | m² Totali | densità (kg/m³) | peso (kg)     | incidenza elemento (%) |                |                |
| PARETE<br>ESTERNA<br>S32<br>MODUL5           | 1 | rasatura armata con tonachino colorato                   | 1,00        | 1,00         | 0,03      | 0,03            | 1400          | 42,0                   | 20,40%         |                |
|  | 2 | isolante termico EPS (polistirene espanso)               | 1,00        | 1,00         | 0,1       | 0,1             | 20            | 2,0                    | 0,97%          |                |
|  | 3 | lastra esterna (6 cm) miscela di cemento Portland        | 1,00        | 1,00         | 0,06      | 0,06            | 1500          | 90,0                   | 43,71%         |                |
|  | 4 | isolante termico EPS (polistirene espanso)               | 1,00        | 1,00         | 0,12      | 0,12            | 20            | 2,4                    | 1,17%          |                |
|  | 5 | lastra Bio-clc-eps                                       | 1,00        | 1,00         | 0,08      | 0,04            | 1000          | 40,0                   | 19,43%         |                |
|  | 5 | lastra ½ bio-clc ½ aria                                  | 1,00        | 1,00         | 0,08      | 0,04            | 500           | 20,0                   | 9,71%          |                |
|  | 6 | lastra in cartongesso di 1,2 cm                          | 1,00        | 1,00         | 0,0125    | 0,0125          | 760           | 9,5                    | 4,61%          |                |
|  |   |  |             |              |           |                 | <b>0,4825</b> |                        | <b>205,9</b>   | <b>100,00%</b> |
|  |   | LATO INTERNO   |             |              |           |                 |               |                        |                |                |
| PARETE<br>INTERNA                            | 1 | lastra di cartongesso di 1,2 cm                          | 1,00        | 1,00         | 0,0125    | 0,0125          | 760           | 9,5                    | 12,03%         |                |
|  | 2 | lastra interna (4-8 cm) in calcestruzzo naturale Prompt  | 1,00        | 1,00         | 0,08      | 0,04            | 1500          | 60                     | 75,95%         |                |
|  | 3 | lastra in cartongesso di 1,2 cm                          | 1,00        | 1,00         | 0,0125    | 0,0125          | 760           | 9,5                    | 12,03%         |                |
|  |   |  |             |              |           |                 | <b>0,105</b>  |                        | <b>79</b>      | <b>100,00%</b> |
|  |   | LATO INTERNO   |             |              |           |                 |               |                        |                |                |
| SOLAIO<br>COPERTUR<br>A                      | 1 | intonaco   | 1           | 1            | 0,02      | 0,02            | 1400          | 28                     | 12,56%         |                |
|  | 2 | lastra interna (4-8 cm) in calcestruzzo                  | 1           | 1            | 0,04      | 0,04            | 1500          | 60                     | 26,91%         |                |
|  | 3 | barriera al vapore                                       | 1           | 1            | 0,001     | 0,001           | 1150          | 1,15                   | 0,52%          |                |
|  | 4 | isolante termico EPS (polistirene espanso)               | 1           | 1            | 0,2       | 0,2             | 40            | 8                      | 3,59%          |                |
|  | 5 | Lastra esterna (6 cm) in calcestruzzo                    | 1           | 1            | 0,06      | 0,06            | 1500          | 90                     | 40,37%         |                |
|  | 6 | Telo antivento ed impermeabile Wurth Wutop               | 1           | 1            | 0,01      | 0,01            | 1150          | 11,5                   | 5,16%          |                |
|  | 7 | Listellatura lignea verticale per areazione sp. 40x40 mm | 0,15        | 1            | 0,05      | 0,0075          | 350           | 2,63                   | 1,18%          |                |
|  | 8 | Listellatura lignea orizzontale portategola sp. 40x40 mm | 0,12        | 1            | 0,04      | 0,0048          | 350           | 1,68                   | 0,75%          |                |
|  | 9 | Lamiera grecata  | 1           | 1            | 0,02      | 0,02            | 1000          | 20                     | 8,97%          |                |
|  |   |  |             |              |           |                 | <b>0,441</b>  |                        | <b>222,96</b>  | <b>100,00%</b> |
|  |   | LATO INTERNO   |             |              |           |                 |               |                        |                |                |
| SOLAIO<br>INTERPIANO                         | 1 | pavimentazione in gres porcellanato                      | 1           | 1            | 0,0125    | 0,0125          | 1670          | 20,875                 | 5,45%          |                |
|  | 2 | barriera al vapore                                       | 1           | 1            | 0,001     | 0,001           | 1150          | 1,15                   | 0,30%          |                |
|  | 3 | isolante termico EPS (polistirene espanso)               | 1           | 1            | 0,08      | 0,08            | 40            | 3,2                    | 0,84%          |                |
|  | 4 | getto in calcestruzzo                                    | 1           | 1            | 0,22      | 0,22            | 1500          | 330                    | 86,11%         |                |
|  | 5 | intonaco   | 1           | 1            | 0,02      | 0,02            | 1400          | 28                     | 7,31%          |                |
|  |   |  |             |              |           |                 | <b>0,3335</b> |                        | <b>383,225</b> | <b>100,00%</b> |
|  |   | LATO INTERNO   |             |              |           |                 |               |                        |                |                |
| SOLAIO SU<br>LOCALE<br>NON<br>RISCALDAT<br>O | 1 | pavimentazione in gres porcellanato                      | 1           | 1            | 0,0125    | 0,0125          | 1670          | 20,875                 | 5,84%          |                |
|  | 2 | massetto posa pavimento                                  | 1           | 1            | 0,04      | 0,04            | 1500          | 60                     | 16,79%         |                |
|  | 3 | pannelli radianti per riscaldamento                      | 1           | 1            | 0,03      | 0,03            | 40            | 1,2                    | 0,34%          |                |
|  | 4 | massetto passaggio impianti                              | 1           | 1            | 0,12      | 0,12            | 1500          | 180                    | 50,38%         |                |
|  | 5 | barriera al vapore                                       | 1           | 1            | 0,001     | 0,001           | 1150          | 1,15                   | 0,32%          |                |
|  | 6 | pannelli isolanti XPS                                    | 0,84        | 1            | 0,15      | 0,1008          | 40            | 4,032                  | 1,13%          |                |
|  | 7 | getto di calcestruzzo                                    | 0,08        | 1            | 0,22      | 0,0176          | 1500          | 90                     | 25,19%         |                |
|  |   |  |             |              |           |                 | <b>0,5735</b> |                        | <b>357,257</b> | <b>100,00%</b> |



## CALCOLO EMBODIED ENERGY

| CEP <sub>TOT</sub> (MJ/kg) | CEP <sub>TOT</sub> (MJ) | CEP <sub>FR</sub> (MJ/kg) | CEP <sub>FR</sub> (MJ) |
|----------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|
| 6,42                       | 269,64                  | 0,2                       | 8,4                    |
| 88,05                      | 176,1                   | -2,22                     | -4,44                  |
| 5,31                       | 477,9                   | 0,01                      | 0,9                    |
| 88,05                      | 211,32                  | -2,22                     | -5,328                 |
| 3,55                       | 142                     | 0,01                      | 0,4                    |
| 2,53                       | 50,6                    | 0,01                      | 0,2                    |
| 9,79                       | 93,005                  | 4,92                      | 46,74                  |
|                            | 1420,565                |                           | 46,872                 |

## CALCOLO EMBODIED CARBON

| CO <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> /kg) | CO <sub>2</sub> tot |
|---------------------------------------|---------------------|
| 1,17                                  | 49,14               |
| 2,57                                  | 5,14                |
| 0,22                                  | 19,8                |
| 2,57                                  | 6,168               |
| 0,57                                  | 22,8                |
| 0,22                                  | 4,4                 |
| -0,22                                 | -2,09               |
|                                       | 56,218              |

|                     |
|---------------------|
| CO <sub>2</sub> tot |
| 56,218              |

|      |        |      |       |
|------|--------|------|-------|
| 9,79 | 93,005 | 4,92 | 46,74 |
| 3,55 | 213    | 0,01 | 0,6   |
| 9,79 | 93,005 | 4,92 | 46,74 |
|      | 399,01 |      | 94,08 |

|       |       |
|-------|-------|
| -0,22 | -2,09 |
| 0,57  | 34,2  |
| -0,22 | -2,09 |
|       | 30,02 |

|                     |
|---------------------|
| CO <sub>2</sub> tot |
| 30,02               |

|       |          |       |          |
|-------|----------|-------|----------|
| 6,42  | 179,76   | 0,2   | 5,6      |
| 3,55  | 213      | 0,01  | 0,6      |
| 39,11 | 44,9765  | 25,57 | 29,4055  |
| 88,05 | 704,4    | -2,22 | -17,76   |
| 5,31  | 477,9    | 0,01  | 0,9      |
| 4,71  | 54,165   | 0     | 0        |
| 30,55 | 80,3465  | 19,17 | 50,4171  |
| 30,55 | 51,324   | 19,17 | 32,2056  |
| 4,29  | 85,8     | 0     | 0        |
|       | 1891,672 |       | 101,3682 |

|       |         |
|-------|---------|
| 1,17  | 32,76   |
| 0,57  | 34,2    |
| -1,83 | -2,1045 |
| 2,57  | 20,56   |
| 0,83  | 74,7    |
| 0,29  | 3,335   |
| -1,15 | -3,0245 |
| -1,15 | -1,932  |
| 0,1   | 2       |
|       | 160,494 |

|                     |
|---------------------|
| CO <sub>2</sub> tot |
| 160,494             |

|       |           |       |         |
|-------|-----------|-------|---------|
| 7,6   | 158,65    | 0,1   | 2,0875  |
| 39,11 | 44,9765   | 25,57 | 29,4055 |
| 88,05 | 281,76    | -2,22 | -7,104  |
| 3,55  | 1171,5    | 0,01  | 3,3     |
| 6,42  | 179,76    | 0,2   | 5,6     |
|       | 1836,6465 |       | 33,289  |

|       |           |
|-------|-----------|
| 1,95  | 40,70625  |
| -1,83 | -2,1045   |
| 2,57  | 8,224     |
| 0,57  | 188,1     |
| 1,17  | 32,76     |
|       | 267,68575 |

|                     |
|---------------------|
| CO <sub>2</sub> tot |
| 267,68575           |

|       |           |       |          |
|-------|-----------|-------|----------|
| 7,6   | 158,65    | 0,1   | 2,0875   |
| 2,53  | 151,8     | 0,01  | 0,6      |
| 88,05 | 105,66    | -2,22 | -2,664   |
| 3,55  | 639       | 0,01  | 1,8      |
| 39,11 | 44,9765   | 25,57 | 29,4055  |
| 88,05 | 355,0176  | -2,22 | -8,95104 |
| 5,31  | 477,9     | 0,01  | 0,9      |
|       | 1933,0041 |       | 23,17796 |

|       |           |
|-------|-----------|
| 1,95  | 40,70625  |
| 0,22  | 13,2      |
| 0,63  | 0,756     |
| 0,57  | 102,6     |
| -1,83 | -2,1045   |
| 0,63  | 2,54016   |
| 0,83  | 74,7      |
|       | 232,39791 |

|                     |
|---------------------|
| CO <sub>2</sub> tot |
| 232,39791           |



## Costo ambientale Soluzione Sperimentale

| LATO INTERNO                    |                   |   | larghezza (m)           | altezza (m) | spessore (m) | m² Totali | densità (kg/m³) | peso (kg) | incidenza elemento (%) |         |
|---------------------------------|-------------------|---|-------------------------|-------------|--------------|-----------|-----------------|-----------|------------------------|---------|
| PARETE ECOFFI                   | 1                 | Celenit AB                                  | 1,00                    | 1,00        | 0,015        | 0,015     | 567             | 8,505     | 4,28%                  |         |
|                                 | 2                 | "monolite" ECOFFI                           | 1,00                    | 1,00        | 0,32         | 0,32      | 540             | 172,8     | 86,96%                 |         |
|                                 | 3                 | Corkpan-isolante termo acustico             | 1,00                    | 1,00        | 0,12         | 0,12      | 130             | 15,6      | 7,85%                  |         |
|                                 | 4                 | Rasante TecnofixP10                         | 1,00                    | 1,00        | 0,003        | 0,003     | 600             | 1,8       | 0,91%                  |         |
|                                 |                   |   |                         |             | 0,46         |           |                 | 198,71    | 100,00%                |         |
| LATO INTERNO                    |                   |   |                         |             |              |           |                 |           |                        |         |
| PARETE INTERNA                  | 1                 | Celenit AB                                  | 1,00                    | 1,00        | 0,015        | 0,015     | 567             | 8,51      | 14,13%                 |         |
|                                 | 2                 | "monolite" ECOFFI                           | 1,00                    | 1,00        | 0,08         | 0,08      | 540             | 43,2      | 71,75%                 |         |
|                                 | 3                 | Celenit AB                                  | 1,00                    | 1           | 0,015        | 0,015     | 567             | 8,505     | 14,13%                 |         |
|                                 |                   |   |                         |             | 0,11         |           |                 | 60,21     | 100,00%                |         |
| LATO INTERNO                    |                   |   |                         |             |              |           |                 |           |                        |         |
| SOLAIO COPERTURA                | 1                 | Celenit AB                                  | 1                       | 1           | 0,015        | 0,015     | 567             | 8,51      | 4,06%                  |         |
|                                 | 2                 | lastra interna (4-8 cm) in calcestruzzo     | 1                       | 1           | 0,04         | 0,04      | 1500            | 60        | 28,65%                 |         |
|                                 | 3                 | barriera al vapore                          | 1                       | 1           | 0,001        | 0,001     | 1150            | 1,15      | 0,55%                  |         |
|                                 | 4                 | Corkpan-isolante termo acustico             | 1                       | 1           | 0,2          | 0,2       | 130             | 26        | 12,41%                 |         |
|                                 | 5                 | Lastra esterna (6 cm) in calcestruzzo       | 1                       | 1           | 0,06         | 0,06      | 1500            | 90        | 42,97%                 |         |
|                                 | 8                 | Telo antivento ed impermeabile Wurth Wutop  | 1                       | 1           | 0,01         | 0,001     | 1150            | 1,15      | 0,55%                  |         |
|                                 | 9                 | Listellatura lignea verticale per areazione | 0,15                    | 1           | 0,05         | 0,0075    | 350             | 2,63      | 1,26%                  |         |
|                                 | 11                | Lamiera grecata                             | 1                       | 1           | 0,02         | 0,02      | 1000            | 20        | 9,55%                  |         |
|                                 |                   |   |                         |             |              | 0,40      |                 |           | 209,44                 | 100,00% |
|                                 | LATO INTERNO      |   |                         |             |              |           |                 |           |                        |         |
|                                 | SOLAIO INTERPIANO | 1   | pavimentazione in cotto | 1           | 1            | 0,015     | 0,015           | 567       | 8,51                   | 2,17%   |
| 2                               |                   | barriera al vapore                          | 1                       | 1           | 0,001        | 0,001     | 1150            | 1,15      | 0,29%                  |         |
| 3                               |                   | ECOFFI                                      | 1                       | 1           | 0,08         | 0,08      | 540             | 43,2      | 11,04%                 |         |
| 4                               |                   | getto in calcestruzzo                       | 1                       | 1           | 0,22         | 0,22      | 1500            | 330       | 84,32%                 |         |
| 5                               |                   | Celenit AB                                  | 1                       | 1           | 0,015        | 0,015     | 567             | 8,51      | 2,17%                  |         |
|                                 |                   |   |                         |             | 0,33         |           |                 | 391,36    | 100,00%                |         |
| LATO INTERNO                    |                   |   |                         |             |              |           |                 |           |                        |         |
| SOLAIO SU LOCALE NON RISCALDATO | 1                 | pavimentazione in cotto                     | 1                       | 1           | 0,0125       | 0,0125    | 760             | 9,5       | 2,68%                  |         |
|                                 | 2                 | massetto posa pavimento                     | 1                       | 1           | 0,04         | 0,04      | 1500            | 60        | 16,93%                 |         |
|                                 | 3                 | pannelli radianti per riscaldamento         | 1                       | 1           | 0,03         | 0,03      | 23,8            | 0,714     | 0,20%                  |         |
|                                 | 4                 | massetto passaggio impianti                 | 1                       | 1           | 0,12         | 0,12      | 1500            | 180       | 50,78%                 |         |
|                                 | 5                 | barriera al vapore                          | 1                       | 1           | 0,001        | 0,001     | 1150            | 1,15      | 0,32%                  |         |
|                                 | 6                 | pannelli XPS                                | 0,84                    | 1           | 0,15         | 0,1008    | 130             | 13,104    | 3,70%                  |         |
|                                 | 7                 | getto di calcestruzzo                       | 0,08                    | 1           | 0,22         | 0,0176    | 1500            | 90        | 25,39%                 |         |
|                                 |                   |   |                         |             | 0,5735       |           |                 | 354,468   | 100,00%                |         |



## CALCOLO EMBODIED ENERGY

| CEP <sub>TOT</sub> (MJ/kg) | CEP <sub>TOT</sub> (MJ) | CEP <sub>FR</sub> (MJ/kg) | CEP <sub>FR</sub> (MJ) |
|----------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|
| 0,85                       | 7,23                    |                           | 0                      |
| 2,37                       | 409,54                  | 0,33                      | 57,34                  |
| 25,53                      | 398,268                 | 20,39                     | 318,10                 |
| 1,29                       | 2,322                   | 0,01                      | 0,018                  |
|                            | 817,36                  |                           | 375,45                 |

## CALCOLO EMBODIED CARBON

| CO <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> /kg) | CO <sub>2</sub> tot | CO <sub>2</sub> tot |
|---------------------------------------|---------------------|---------------------|
| 0,43                                  | 3,66                | 39,732              |
| 0,35                                  | 60,48               |                     |
| -1,33                                 | -20,75              |                     |
| 0                                     | 0                   |                     |
|                                       | 39,73               |                     |

|      |        |      |         |
|------|--------|------|---------|
| 0,85 | 7,23   | 4,92 | 41,8446 |
| 2,37 | 102,38 | 0,33 | 14,256  |
| 0,85 | 7,23   | 0    | 0       |
|      | 116,84 |      | 56,10   |

|      |       |         |
|------|-------|---------|
| 0,43 | 3,66  | 22,4343 |
| 0,35 | 15,12 |         |
| 0,43 | 3,66  |         |
|      | 22,43 |         |

|       |         |       |        |
|-------|---------|-------|--------|
| 0,85  | 7,23    | 0     | 0      |
| 3,55  | 213     | 0,01  | 0,6    |
| 39,11 | 44,98   | 25,57 | 29,41  |
| 25,53 | 663,78  | 20,39 | 530,14 |
| 5,31  | 477,9   | 0,01  | 0,9    |
| 4,71  | 5,42    | 0     | 0      |
| 30,55 | 80,35   | 19,17 | 50,42  |
| 4,29  | 85,8    | 0     | 0      |
|       | 1578,45 |       | 611,46 |

|       |         |          |
|-------|---------|----------|
| 0,43  | 3,66    | 75,18165 |
| 0,57  | 34,2    |          |
| -1,83 | -2,1045 |          |
| -1,33 | -34,58  |          |
| 0,83  | 74,7    |          |
| 0,29  | 0,33    |          |
| -1,15 | -3,02   |          |
| 0,1   | 2       |          |
|       | 75,18   |          |

|       |         |       |       |
|-------|---------|-------|-------|
| 0,85  | 7,23    | 0     | 0     |
| 39,11 | 44,98   | 25,57 | 29,41 |
| 2,37  | 102,38  | 0,33  | 14,33 |
| 3,55  | 1171,5  | 0,01  | 3,3   |
| 0,85  | 7,23    | 4,92  | 41,84 |
|       | 1333,32 |       | 88,88 |

|       |          |          |
|-------|----------|----------|
| 0,43  | 3,65715  | 208,4298 |
| -1,83 | -2,1045  |          |
| 0,35  | 15,12    |          |
| 0,57  | 188,1    |          |
| 0,43  | 3,65715  |          |
|       | 208,4298 |          |

|       |         |       |        |
|-------|---------|-------|--------|
| 1,93  | 18,335  | 0,04  | 0,38   |
| 2,53  | 151,80  | 0,01  | 0,60   |
| 88,05 | 62,87   | -2,22 | -1,59  |
| 3,55  | 639,00  | 0,01  | 1,80   |
| 39,11 | 44,98   | 25,57 | 29,41  |
| 88,05 | 1153,81 | -2,22 | -29,09 |
| 5,31  | 477,90  | 0,01  | 0,90   |
|       | 2548,69 |       | 2,41   |

|       |          |          |
|-------|----------|----------|
| 0,14  | 1,33     | 216,6706 |
| 0,22  | 13,20    |          |
| 1,95  | 1,39     |          |
| 0,57  | 102,60   |          |
| -1,83 | -2,10    |          |
| 1,95  | 25,55    |          |
| 0,83  | 74,7     |          |
|       | 216,6706 |          |



## Risultati Costo ambientale Scenario Attuale

### RISULTATI CALCOLO EMBODIED ENERGY

| TIPOLOGIA ELEMENTO                | CEP <sub>TOT</sub> (MJ) | CEP <sub>FR</sub> (MJ) | m <sup>2</sup> Totali | incidenza      | CEP <sub>TOT</sub> (MJ) | CEP <sub>FR</sub> (MJ) | CEP <sub>TOT</sub> (kWh) | S.U. EDIFICIO |
|-----------------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|----------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|---------------|
| 1 Parete esterna s32 Modul 5      | 1420,57                 | 46,87                  | 234,90                | 37,10%         | 333690,72               | 11010,23               | 281482,28                | 180,00        |
| 2 Parete interna                  | 399,01                  | 94,08                  | 50,00                 | 7,90%          | 19950,50                | 4704,00                |                          |               |
| 3 Copertura                       | 1891,67                 | 101,37                 | 95,20                 | 15,04%         | 180087,17               | 9650,25                |                          |               |
| 4 Solaio interpiano               | 1836,65                 | 33,29                  | 98,00                 | 15,48%         | 179991,36               | 3262,32                |                          |               |
| 5 Solaio su locale non riscaldato | 1933,00                 | 23,18                  | 155,00                | 24,48%         | 299615,64               | 3592,58                |                          |               |
| <b>TOTALE</b>                     | <b>7480,90</b>          | <b>298,79</b>          | <b>633,10</b>         | <b>100,00%</b> | <b>1013335,39</b>       | <b>32219,39</b>        |                          |               |

### RISULTATI CALCOLO EMBODIED CARBON

| TIPOLOGIA ELEMENTO                | CO <sub>2</sub> TOT (kg) | m <sup>2</sup> Totali | incidenza      | CO <sub>2</sub> TOT (kg) | CO <sub>2</sub> TOT (kg) | S.U. EDIFICIO |
|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------|--------------------------|--------------------------|---------------|
| 1 Parete esterna s32 Modul 5      | 56,22                    | 234,90                | 37,10%         | 13205,61                 | 25622,39                 | 180,00        |
| 2 Parete interna                  | 30,02                    | 50,00                 | 7,90%          | 1501,00                  |                          |               |
| 3 Copertura                       | 160,49                   | 95,20                 | 15,04%         | 15279,03                 |                          |               |
| 4 Solaio interpiano               | 267,69                   | 98,00                 | 15,48%         | 26233,20                 |                          |               |
| 5 Solaio su locale non riscaldato | 232,40                   | 155,00                | 24,48%         | 36021,68                 |                          |               |
| <b>TOTALE</b>                     | <b>746,82</b>            | <b>633,10</b>         | <b>100,00%</b> | <b>92240,52</b>          |                          |               |

### RISULTATI COSTO AMBIENTALE

| KLIMASISMICO | EP <sub>CEP50</sub> (kWh/m2anno) | EP <sub>CEP50</sub> (kg/m2anno) | TOTALE      |
|--------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------|
|              | 31,28                            | 51.652,00 €                     | 2,85        |
|              |                                  |                                 | 563,69 €    |
|              |                                  |                                 | 52.215,69 € |

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| m2 caso studio        | 180,00 |
| anni vita utile       | 50,00  |
| Costo energia (€/kWh) | 0,1835 |
| costo CO2 (€/kg)      | 0,022  |

I risultati ottenuti in questa simulazione evidenziano che il costo ambientale, a differenza del costo di costruzione è inferiore nello scenario sperimentale rispetto allo scenario attuale. Questo conferma l'ipotesi iniziale, in quanto si utilizzano materiali meno impattanti sull'ambiente e quindi con valori di Embodied Energy ed Embodied Carbon inferiori ai materiali utilizzati attualmente.



## Risultati Costo ambientale Scenario Sperimentale

### RISULTATI EMBODIED ENERGY

| TIPOLOGIA ELEMENTO                | CEP <sub>TOT</sub> (MJ) | CEP <sub>FR</sub> (MJ) | m <sup>2</sup> Totali | incidenza | CEP <sub>TOT</sub> (MJ) | CEP <sub>FR</sub> (MJ) | CEP <sub>TOT</sub> (kWh) | S.U. EDIFICIO |
|-----------------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------|-------------------------|------------------------|--------------------------|---------------|
| 1 Parete esterna ECOFFI           | 2,32                    | 375,45                 | 234,90                | 37,10%    | 545,44                  | 88193,83               | 189546,69                | 180,00        |
| 2 Parete interna                  | 116,84                  | 56,10                  | 50,00                 | 7,90%     | 5842,13                 | 2805,03                |                          |               |
| 3 Copertura                       | 1578,45                 | 611,46                 | 95,20                 | 15,04%    | 150268,32               | 58211,24               |                          |               |
| 4 Solaio interpiano               | 1333,32                 | 88,88                  | 98,00                 | 15,48%    | 130665,26               | 8710,62                |                          |               |
| 5 Solaio su locale non riscaldato | 2548,69                 | 2,41                   | 155,00                | 24,48%    | 395046,39               | 373,48                 |                          |               |
| TOTALE                            | 5579,62                 | 1134,31                | 633,10                | 100,00%   | 682367,54               | 158294,19              |                          |               |

### RISULTATI CO2

| TIPOLOGIA ELEMENTO                | CO <sub>2</sub> TOT (kg) | m <sup>2</sup> Totali | incidenza | CO <sub>2</sub> TOT (kg) | CO <sub>2</sub> TOT (kg) | S.U. EDIFICIO |
|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------|--------------------------|--------------------------|---------------|
| 1 Parete esterna s32 Modul 5      | 39,73                    | 234,90                | 37,10%    | 9333,05                  | 19895,05                 | 180,00        |
| 2 Parete interna                  | 22,43                    | 50,00                 | 7,90%     | 1121,72                  |                          |               |
| 3 Copertura                       | 75,18                    | 95,20                 | 15,04%    | 7157,29                  |                          |               |
| 4 Solaio interpiano               | 208,43                   | 98,00                 | 15,48%    | 20426,12                 |                          |               |
| 5 Solaio su locale non riscaldato | 216,67                   | 155,00                | 24,48%    | 33583,94                 |                          |               |
| TOTALE                            | 562,45                   | 633,10                | 100,00%   | 71622,12                 |                          |               |

### RISULTATI COSTO AMBIENTALE

|        | EP <sub>CEP50</sub><br>(kWh/m <sup>2</sup> anno) | EP <sub>CEP50</sub><br>(kg/m <sup>2</sup> anno) | TOTALE |          |             |
|--------|--|---|--------|----------|-------------|
| ECOFFI | 21,06  | 34.781,82 €                                     | 2,21   | 442,66 € | 35.224,48 € |

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| m2 caso studio        | 180,00 |
| anni vita utile       | 50,00  |
| Costo energia (€/kWh) | 0,1835 |
| costo CO2 (€/kg)      | 0,022  |

Come dimostrato in tabella sono stati catalogati tutti i materiali utilizzati nelle due soluzioni tecnologiche e di questi sono stati calcolati l'Embodied Energy e l'Embodied Carbon totali. Il materiale che, come riportato in tabella, è maggiormente impattante nello scenario attuale, influenzando sugli impatti ambientali, è sicuramente l'EPS che nello scenario sperimentale viene sostituito da pannelli isolanti di sughero, mantenendo buone prestazioni.



## Costo di gestione

Per quanto riguarda i costi di gestione vengono considerati solo i costi relativi al **riscaldamento**. Tutti gli altri costi di gestione, ipotetici (illuminazione, tasse, costi impiantistici) potrebbero risultare ed essere considerati simili, indipendentemente dalla tipologia costruttiva scelta; quindi andare a confrontarli e inserirli all'interno dell'analisi, non avrebbe portato ad alcun affinamento dell'analisi.

I dati relativi ai consumi sono stati dimensionati tramite lo sviluppo dell'analisi energetica e della relativa certificazione (allegata alla tesi), utilizzando i dati di progetto.

Per la definizione del costo dell'energia e per la quantificazione economica dei costi di gestione, in relazione all'intero ciclo di vita, sono stati utilizzati i **costi medi dell'energia**, ottenibili da abbonamenti riconducibili alle aziende che lavorano nel settore.

Di seguito vengono riportati i calcoli per la determinazione dei costi di gestione.



## Costo di gestione

| SISTEMA COSTRUTTIVO | $E_{pi}$ (kWh/m <sup>2</sup> anno) | TOTALE     |
|---------------------|------------------------------------|------------|
| KLIMASISMICO        | 36,11                              | 2.456,92 € |
| ECOFFI              | 36,38                              | 2.475,30 € |

|                               |        |
|-------------------------------|--------|
| m2 caso studio                | 180,00 |
| Periodo di riferimento (anni) | 1,00   |
| Costo energia (€/KWh)         | 0,378  |

I risultati ottenuti in questa simulazione evidenziano che il costo di gestione, è leggermente superiore nel Sistema sperimentale, ECOFFI, rispetto al Sistema attuale, Klimasismico. Si tratta di un aumento del 0,01% che può essere considerato irrilevante ai fini dell'analisi svolta. Questo valore è stato ottenuto dopo lo sviluppo dell'analisi energetica e della relativa certificazione.



## Costo di manutenzione

Gli interventi di manutenzione si riferiscono solo all'involucro esterno ed alle rifiniture.

Il costo di manutenzione viene ipotizzato a partire da piani di manutenzione e sostituzione degli elementi tecnologici, basati su esperienze pratiche e casi reali. Per quanto riguarda le quantificazioni, queste vengono fatte tramite due metodologie differenti:

- in **maniera parametrica**, quindi sul costo di costruzione del bene, e quindi proporzionalmente all'entità della manutenzione attesa;
- calcolata **tramite un computo metrico**, con i relativi costi in previsione degli interventi delle relative parti oggetto di manutenzione.

Le simulazioni, ad ogni modo, non vengono fatte sul singolo elemento tecnico, in quanto sarebbe impossibile valutarlo, ma sull'intero elemento. Il costo relativo all'intero elemento tecnico è stato estrapolato dal costo di costruzione e valutato per la stima del costo di manutenzione .

Per comparazione con generalità dei casi, è stata definita la vita utile dello strato di rifinitura, nell'intonaco e nel cartongesso, pari a 30 anni. Si prevede la sostituzione integrale di questi elementi dopo 30 anni dalla costruzione della Biocasa.



Il costo per questi interventi è stato distribuito sull'intero ciclo di vita dell'edificio, andando ad individuare una quota annua di manutenzione. Si ipotizza quindi come costo globale di manutenzione all'intero ciclo di vita la sostituzione completa degli strati di rifinitura, calcolati però su quota annuale.

Di seguito vengono riportati i calcoli e il materiale necessario per la determinazione dei costi di manutenzione.



## Costo di manutenzione

| Sistema costruttivo | Costo materiale | Costo manodopera | Costi di cantiere | TOTALE      | Quota annuale |
|---------------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------|---------------|
| KLIMASISMICO        | 13.902,80 €     | 3.024,00 €       | 1.512,00 €        | 18.438,80 € | 614,63 €      |
| ECOFFI              | 11.552,40 €     | 3.024,00 €       | 1.512,00 €        | 16.088,40 € | 536,28 €      |

### Costo di manodopera

| Sistema costruttivo | Giorni lavorativi | Ore lavorative | Persone impiegate | Costo unitario (€/ora) | TOTALE     |
|---------------------|-------------------|----------------|-------------------|------------------------|------------|
| KLIMASISMICO        | 7,00              | 8,00           | 4,00              | 13,50 €                | 3.024,00 € |
| ECOFFI              | 7,00              | 8,00           | 4,00              | 13,50 €                | 3.024,00 € |

### Costo di cantiere

| Sistema costruttivo | Giorni lavorativi | Ore lavorative | Persone impiegate | Costo unitario (€/ora) | TOTALE     |
|---------------------|-------------------|----------------|-------------------|------------------------|------------|
| KLIMASISMICO        | 7,00              | 8,00           | 3,00              | 9,00 €                 | 1.512,00 € |
| ECOFFI              | 7,00              | 8,00           | 3,00              | 9,00 €                 | 1.512,00 € |

### Costo materiale KLIMASISMICO

|               |                     | m <sup>2</sup> | prezzo unitario    |            |
|---------------|---------------------|----------------|--------------------|------------|
| INTONACO      | PARETE ESTERNA      | 234,00         | 18,00 €            | 4.212,00 € |
|               | SOLAIO SU COPERTURA | 95,20          | 18,00 €            | 1.713,60 € |
| CARTONGESSO   | PARETE INTERNA      | 200,00         | 11,00 €            | 2.200,00 € |
|               | PARETE ESTERNA      | 234,00         | 11,00 €            | 2.574,00 € |
|               | SOLAIO INTERPIANO   | 196,00         | 11,00 €            | 2.156,00 € |
|               | SOLAIO SU COPERTURA | 95,20          | 11,00 €            | 1.047,20 € |
| <b>TOTALE</b> |                     |                | <b>13.902,80 €</b> |            |

### Costo materiale ECOFFI

|               |                     | m <sup>2</sup> | prezzo unitario    |            |
|---------------|---------------------|----------------|--------------------|------------|
| INTONACO      | PARETE ESTERNA      | 234,00         | 18,00 €            | 4.212,00 € |
|               | SOLAIO SU COPERTURA | 95,20          | 18,00 €            | 1.713,60 € |
| CELENIT AB    | PARETE INTERNA      | 100,00         | 9,00 €             | 900,00 €   |
|               | PARETE ESTERNA      | 234,00         | 9,00 €             | 2.106,00 € |
|               | SOLAIO INTERPIANO   | 196,00         | 9,00 €             | 1.764,00 € |
|               | SOLAIO SU COPERTURA | 95,20          | 9,00 €             | 856,80 €   |
| <b>TOTALE</b> |                     |                | <b>11.552,40 €</b> |            |

I risultati riportati nelle tabelle evidenziano che il costo di manutenzione è inferiore nello scenario sperimentale rispetto allo scenario attuale, in quanto i materiali oggetto di sostituzione sono meno costosi pur essendo prodotti naturali. Infatti nella manutenzione non viene sostituito l'isolante che nel computo metrico dello scenario sperimentale, svolto per i costi di costruzione, risultava essere più costoso di quello attuale.



## Costo ambientale degli interventi di manutenzione

Il costo ambientale degli interventi di manutenzione e sostituzione viene dedotto e quantificato dallo stesso costo ambientale, già calcolato per la fase di costruzione dell'edificio.

Sono stati definiti i parametri ambientali quali **Embodied Energy** e **Embodied Carbon**, così come per la fase di costruzione, solo per gli interventi di manutenzione previsti. In particolare, sono state valutate solo le opere di **rimozione e sostituzione del rivestimento** come intonaco e cartongesso.

Di seguito vengono riportati i calcoli e il materiale elaborato per la definizione dei costi ambientali degli interventi di manutenzione.



## Costo ambientale di manutenzione Scenario Attuale

|                             |   | LATO INTERNO          | larghezza (m) | altezza (m) | spessore (m) | m <sup>3</sup> Totali | densità (kg/m <sup>3</sup> ) | peso (kg) | incidenza elemento (%) |
|-----------------------------|---|-----------------------|---------------|-------------|--------------|-----------------------|------------------------------|-----------|------------------------|
| PARETE ESTERNA<br>S32MODUL5 | 1 | lastra in cartongesso | 1,00          | 1,00        | 0,0125       | 0,0125                | 760                          | 9,5       | 18,45%                 |
|                             | 2 | intonaco              | 1,00          | 1,00        | 0,03         | 0,03                  | 1400                         | 42        | 81,55%                 |
|                             |   | TOTALE                |               |             |              |                       |                              | 51,5      | 100,00%                |
|                             |   | LATO INTERNO          |               |             |              |                       |                              |           |                        |
| PARETE INTERNA              | 1 | lastra in cartongesso | 1,00          | 1,00        | 0,0125       | 0,0125                | 760                          | 9,5       | 50,00%                 |
|                             | 2 | lastra in cartongesso | 1,00          | 1,00        | 0,0125       | 0,0125                | 760                          | 9,5       | 50,00%                 |
|                             |   | TOTALE                |               |             |              |                       |                              | 19        | 100,00%                |
|                             |   | LATO INTERNO          |               |             |              |                       |                              |           |                        |
| SOLAIO INTERPIANO           | 1 | lastra in cartongesso | 1,00          | 1,00        | 0,0125       | 0,0125                | 760                          | 9,5       | 100,00%                |
|                             |   | TOTALE                |               |             |              |                       |                              | 9,5       | 100,00%                |
|                             |   | LATO INTERNO          |               |             |              |                       |                              |           |                        |
| SOLAIO COPERTURA            | 1 | lastra in cartongesso | 1,00          | 1,00        | 0,0125       | 0,0125                | 760                          | 9,5       | 18,45%                 |
|                             | 2 | intonaco              | 1,00          | 1,00        | 0,03         | 0,03                  | 1400                         | 42        | 81,55%                 |
|                             |   | TOTALE                |               |             |              |                       |                              | 51,5      | 100,00%                |

**EMBODIED ENERGY**

| CEP <sub>TOT</sub> (MJ/kg) | CEP <sub>TOT</sub> (MJ) | CEP <sub>FR</sub> (MJ/kg) | CEP <sub>fr</sub> (MJ) |
|----------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|
| 9,79                       | 93,005                  | 4,92                      | 46,74                  |
| 6,42                       | 269,64                  | 0,2                       | 8,4                    |
|                            | 362,645                 |                           | 55,14                  |
| 9,79                       | 93,005                  | 4,92                      | 46,74                  |
| 9,79                       | 93,005                  | 4,92                      | 46,74                  |
|                            | 186,01                  |                           | 93,48                  |
| 9,79                       | 93,005                  | 4,92                      | 46,74                  |
|                            | 93,005                  |                           | 46,74                  |
| 9,79                       | 93,005                  | 4,92                      | 46,74                  |
| 6,42                       | 269,64                  | 0,2                       | 8,4                    |
|                            | 362,645                 |                           | 55,14                  |

**EMBODIED CARBON**

| CO <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> /kg) | CO <sub>2</sub> tot |
|---------------------------------------|---------------------|
| -0,22                                 | -2,09               |
| 1,17                                  | 49,14               |
|                                       | 47,05               |
| -0,22                                 | -2,09               |
| -0,22                                 | -2,09               |
|                                       | -4,18               |
| -0,22                                 | -2,09               |
|                                       | -2,09               |
| -0,22                                 | -2,09               |
| 1,17                                  | 49,14               |
|                                       | 47,05               |



## Costo ambientale di manutenzione Scenario Sperimentale

|                          |   | LATO INTERNO | larghezza (m) | altezza (m) | spessore (m) | m <sup>3</sup> Totali | densità (kg/m <sup>3</sup> ) | peso (kg) | incidenza elemento (%) |
|--------------------------|---|--------------|---------------|-------------|--------------|-----------------------|------------------------------|-----------|------------------------|
| PARETE ESTERNA<br>ECOFFI | 1 | CELENIT AB   | 1,00          | 1,00        | 0,0125       | 0,0125                | 760                          | 9,5       | 18,45%                 |
|                          | 2 | intonaco     | 1,00          | 1,00        | 0,03         | 0,03                  | 1400                         | 42        | 81,55%                 |
|                          |   | TOTALE       |               |             |              |                       |                              | 51,5      | 100,00%                |
|                          |   | LATO INTERNO |               |             |              |                       |                              |           |                        |
| PARETE INTERNA           | 1 | CELENIT AB   | 1,00          | 1,00        | 0,0125       | 0,0125                | 760                          | 9,5       | 50,00%                 |
|                          | 2 | CELENIT AB   | 1,00          | 1,00        | 0,0125       | 0,0125                | 760                          | 9,5       | 50,00%                 |
|                          |   | TOTALE       |               |             |              |                       |                              | 19        | 100,00%                |
|                          |   | LATO INTERNO |               |             |              |                       |                              |           |                        |
| SOLAIO INTERPIANO        | 1 | CELENIT AB   | 1,00          | 1,00        | 0,0125       | 0,0125                | 760                          | 9,5       | 100,00%                |
|                          |   | TOTALE       |               |             |              |                       |                              | 9,5       | 100,00%                |
|                          |   | LATO INTERNO |               |             |              |                       |                              |           |                        |
| SOLAIO COPERTURA         | 1 | CELENIT AB   | 1,00          | 1,00        | 0,0125       | 0,0125                | 760                          | 9,5       | 18,45%                 |
|                          | 2 | intonaco     | 1,00          | 1,00        | 0,03         | 0,03                  | 1400                         | 42        | 81,55%                 |
|                          |   | TOTALE       |               |             |              |                       |                              | 51,5      | 100,00%                |

**EMBODIED ENERGY**

| CEP <sub>TOT</sub> (MJ/kg) | CEP <sub>TOT</sub> (MJ) | CEP <sub>FR</sub> (MJ/kg) | CEP <sub>FR</sub> (MJ) |
|----------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|
| 0,85                       | 8,075                   | 0                         | 0                      |
| 2,4                        | 100,8                   | 0,01                      | 0,42                   |
|                            | 108,875                 |                           | 0,42                   |
| 0,85                       | 8,075                   | 0                         | 0                      |
| 0,85                       | 8,075                   | 0                         | 0                      |
|                            | 16,15                   |                           | 0                      |
| 0,85                       | 8,075                   | 0                         | 0                      |
|                            | 8,075                   |                           | 0                      |
| 0,85                       | 8,075                   | 0                         | 0                      |
| 6,42                       | 269,64                  | 0,2                       | 8,4                    |
|                            | 277,715                 |                           | 8,4                    |

**EMBODIED CARBON**

| CO <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> /kg) | CO <sub>2</sub> tot |
|---------------------------------------|---------------------|
| 0,43                                  | 4,085               |
| 1,17                                  | 49,14               |
|                                       | 53,225              |
| 0,43                                  | 4,085               |
| 0,43                                  | 4,085               |
|                                       | 8,17                |
| 0,43                                  | 4,085               |
|                                       | 4,085               |
| 0,43                                  | 4,085               |
| 1,17                                  | 49,14               |
|                                       | 53,225              |



## Risultati Costo ambientale di manutenzione Scenario Attuale

| TIPOLOGIA ELEMENTO          | CEP <sub>TOT</sub> (MJ) | CEP <sub>FR</sub> (MJ) | m <sup>2</sup> Totali | incidenza | CEP <sub>TOT</sub> (MJ) | CEP <sub>FR</sub> (MJ) | CEP <sub>TOT</sub> (kWh) | S.U. EDIFICIO |
|-----------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------|-------------------------|------------------------|--------------------------|---------------|
| 1 Parete esterna S32 Modul5 | 362,65                  | 55,14                  | 234,90                | 37,10%    | 85185,31                | 12952,39               | 38367,84                 | 180,00        |
| 2 Parete interna            | 186,01                  | 93,48                  | 50,00                 | 7,90%     | 9300,50                 | 4674,00                |                          |               |
| 3 Copertura                 | 362,65                  | 55,14                  | 95,20                 | 15,04%    | 34523,80                | 5249,33                |                          |               |
| 4 Solaio interpiano         | 93,01                   | 46,74                  | 98,00                 | 15,48%    | 9114,49                 | 4580,52                |                          |               |
|                             | 1004,31                 | 250,50                 | 633,10                | 100,00%   | 138124,10               | 27456,23               |                          |               |

### RISULTATI EMBODIED CARBON

| TIPOLOGIA ELEMENTO          | CEP <sub>TOT</sub> (MJ) | m <sup>2</sup> Totali | incidenza | CEP <sub>TOT</sub> (MJ) | CEP <sub>TOT</sub> (kWh) | S.U. EDIFICIO |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------|-------------------------|--------------------------|---------------|
| 1 Parete esterna S32 Modul5 | 47,05                   | 234,90                | 37,10%    | 11052,05                | 4199,28                  | 180,00        |
| 2 Parete interna            | -4,18                   | 50,00                 | 7,90%     | -209,00                 |                          |               |
| 3 Copertura                 | 47,05                   | 95,20                 | 15,04%    | 4479,16                 |                          |               |
| 4 Solaio interpiano         | -2,09                   | 98,00                 | 15,48%    | -204,82                 |                          |               |
|                             | 87,83                   | 633,10                | 100,00%   | 15117,39                |                          |               |

### RISULTATI COSTO AMBIENTALE DI MANUTENZIONE

|              | EP <sub>CEP50</sub> (kWh/m <sup>2</sup> anno) |          |
|--------------|---|----------|
| KLIMASISMICO | 4,26  | 140,81 € |

### EP<sub>CEP50</sub> (kg/m<sup>2</sup>anno)

|  |      |        |
|--|------|--------|
|  | 0,47 | 1,85 € |
|--|------|--------|

### TOTALE

|  |          |
|--|----------|
|  | 142,66 € |
|--|----------|

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| m2 caso studio        | 180,00 |
| anni vita utile       | 1,00   |
| Costo energia (€/kWh) | 0,1835 |
| costo CO2 (€/kg)      | 0,022  |

I risultati ottenuti in questa simulazione evidenziano che il costo ambientale di manutenzione è inferiore nello scenario sperimentale rispetto allo scenario attuale. Era uno dei risultati attesi, in quanto, come visibile dalle tabelle relative a questa voce di costo, nella soluzione tecnologica sperimentale vengono adottati materiali meno impattanti a livello ambientale. Se infatti confrontiamo



## Risultati Costo ambientale di manutenzione Scenario Sperimentale

| TIPOLOGIA ELEMENTO      | CEP <sub>TOT</sub> (MJ) | m <sup>2</sup> Totali | incidenza | CEP <sub>TOT</sub> (MJ) | CEP <sub>TOT</sub> (kWh) | S.U. EDIFICIO |
|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------|-------------------------|--------------------------|---------------|
| 1 Parete esterna ECOFFI | 108,88                  | 234,90                | 37,10%    | 25574,74                | 14892,25                 | 180,00        |
| 2 Parete interna        | 16,15                   | 50,00                 | 7,90%     | 807,50                  |                          |               |
| 3 Solaio copertura      | 277,72                  | 95,20                 | 15,04%    | 26438,47                |                          |               |
| 4 Solaio interpiano     | 8,08                    | 98,00                 | 15,48%    | 791,35                  |                          |               |
|                         | 410,82                  | 633,10                | 100,00%   | 53612,06                |                          |               |

### RISULTATI EMBODIED CARBON

| TIPOLOGIA ELEMENTO      | CEP <sub>TOT</sub> (MJ) | m <sup>2</sup> Totali | incidenza | CEP <sub>TOT</sub> (MJ) | CEP <sub>TOT</sub> (kWh) | S.U. EDIFICIO |
|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------|-------------------------|--------------------------|---------------|
| 1 Parete esterna ECOFFI | 53,23                   | 234,90                | 37,10%    | 12502,55                | 5105,12                  | 180,00        |
| 2 Parete interna        | 8,17                    | 50,00                 | 7,90%     | 408,50                  |                          |               |
| 3 Solaio copertura      | 53,23                   | 95,20                 | 15,04%    | 5067,02                 |                          |               |
| 4 Solaio interpiano     | 4,09                    | 98,00                 | 15,48%    | 400,33                  |                          |               |
|                         | 118,71                  | 633,10                | 100,00%   | 18378,40                |                          |               |

### RISULTATI COSTO AMBIENTALE DI MANUTENZIONE

|        | EP <sub>CEP50</sub> (kWh/m <sup>2</sup> anno) |         |
|--------|---|---------|
| ECOFFI | 1,65  | 54,65 € |

|  | EP <sub>CEP50</sub> (kg/m <sup>2</sup> anno) |        |
|--|--|--------|
|  | 0,57   | 2,25 € |

| TOTALE  |
|---------|
| 56,90 € |

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| m2 caso studio        | 180,00 |
| anni vita utile       | 1,00   |
| Costo energia (€/kWh) | 0,1835 |
| costo CO2 (€/kg)      | 0,022  |

i singoli valori relativi al costo ambientale di manutenzione dello scenario sperimentale, delle varie componenti valutate dell'unità abitativa, risultano inferiori rispetto allo scenario attuale.



## Costo di smaltimento

Per determinare il costo di smaltimento, sono stati considerati i materiali che sia per caratteristiche e sia per messa in opera possono essere ritenuti riciclabili o riutilizzabili. In un sistema tradizionale, l'utilizzo dei materiali tramite malte e calcestruzzo li rende praticamente inutilizzabili in un futuro, quindi rende impossibile, o quasi, la separazione e di conseguenza il riutilizzo o il riciclaggio dei materiali da costruzione adottati.

Poichè nello scenario sperimentale abbiamo considerato materiali con caratteristiche di riciclabilità maggiori, la fase di smaltimento di un edificio è risultata meno impattante alla conclusione del suo ciclo di vita. Possiamo quindi considerare questa fase come una risorsa e anche un'opportunità, piuttosto che una difficile e costosa operazione.

Per quanto riguarda la quantificazione dei costi sono stati individuati grazie alle **tariffe di smaltimento**, presso discariche autorizzate, dei vari materiali utilizzati, nei due scenari tecnologici presi in esame. I dati inseriti sono stati reperiti da indagini di mercato relative allo smaltimento dei singoli materiali.

Si evidenzia il fatto che non può essere trascurata come **fase** in quanto è **costosa ed è molto gravosa sull'ambiente**, in particolare con lo smaltimento di materiali che possono ritenersi pericolosi, rendendo quindi difficile e costoso



lo smaltimento.

Di seguito vengono riportati i calcoli e il materiale elaborato per la determinazione dei costi di smaltimento.



## Costo di smaltimento

| MATERIALE           | peso (t) | quantità di materiale da smaltire | costo di smaltimento | TOTALE            |
|---------------------|----------|-----------------------------------|----------------------|-------------------|
| intonaco            | 12,04    | 12,04                             | 139,00 €             | 1.673,56 €        |
| cartongesso         | 0,081    | 0,08                              | 85,00 €              | 6,89 €            |
| barriera al vapore  | 0,33     | 0,33                              | 350,00 €             | 114,95 €          |
| cemento             | 93,33    | 93,33                             | 70,00 €              | 6.533,10 €        |
| isolante eps        | 2,79     | 2,79                              | 355,00 €             | 989,74 €          |
| guaina antigoccia   | 1,09     | 1,09                              | 350,00 €             | 383,18 €          |
| manto di copertura  | 1,90     | 0,00                              | 139,00 €             | - €               |
| <b>KLIMASISMICO</b> |          |                                   |                      | <b>9.701,42 €</b> |

| MATERIALE          | peso (t) | quantità di materiale da smaltire | costo di smaltimento | TOTALE            |
|--------------------|----------|-----------------------------------|----------------------|-------------------|
| intonaco           | 12,04    | 12,04                             | 139,00 €             | 1.673,56 €        |
| Celenit            | 0,087    | 0,09                              | 30,00 €              | 2,61 €            |
| barriera al vapore | 0,33     | 0,33                              | 350,00 €             | 114,95 €          |
| cemento            | 52,23    | 52,23                             | 70,00 €              | 3.656,10 €        |
| isolante Corkpan   | 9,06     | 9,06                              | 130,00 €             | 1.177,93 €        |
| guaina antigoccia  | 1,09     | 1,09                              | 350,00 €             | 383,18 €          |
| manto di copertura | 1,90     | 0,00                              | 139,00 €             | - €               |
| <b>ECOFFI</b>      |          |                                   |                      | <b>7.008,33 €</b> |

I risultati ottenuti in questa simulazione evidenziano che il costo di smaltimento è inferiore nel sistema sperimentale ECOFFI rispetto al sistema attuale Klimasismico. Come è stato riportato all'interno della tabella, i costi di smaltimento che incidono maggiormente in questa simulazione sono quelli dell'isolante dello scenario attuale e del cartongesso, che vengono diminuiti nello scenario sperimentale grazie all'impiego di materiali che hanno costi di smaltimento inferiori, quali il celenit e pannelli isolanti di sughero.



### 6.3. Applicazione congiunta di LCC e di LCA e calcolo di un indicatore sintetico economico - ambientale

Viene proposto un “indicatore economico-ambientale sintetico”, “calcolato tramite il Metodo del Global Cost ed espresso in una misura monetaria, utile a supportare decisioni tra differenti soluzioni tecnologiche in nuovi progetti o nella realizzazione di interventi di retrofitting”<sup>1</sup>.

Nel caso specifico tutte le voci di costo calcolate fino ad ora sono state fondamentali per quantificare l’indicatore sintetico nei due scenari valutati, quello attuale e quello sperimentale. **Racchiude** infatti le **valutazioni economiche fatte fin ora nell’intero ciclo di vita**, partendo dal Costo iniziale, che in questo specifico caso è pari al Costo di costruzione, fino ad arrivare al Costo di dismissione e smaltimento.

Viene qui riportata l’equazione che permetterà di rielaborare e dare un valore numerico ai risultati ottenuti. Viene di seguito calcolato l’indicatore sintetico economico-ambientale, che riesce a racchiudere tutti i costi del ciclo di vita, includendo anche il Costo ambientale calcolato.

<sup>1</sup> FREGONARA E., GIORDANO R., FERRANDO D.G., PATTONO S., *Economic-Environmental Indicators to Support Investment Decisions: A Focus on the Buildings’ End-of-Life Stage*, in MDPI Buildings, 2017, pag. 10



$$C_{\text{GenEc}} = C_G + C_I + C_{EE} + C_{EC} + \sum (C_m + C_r)/(1+r)^t + (C_{dm} + C_{dp} - V_r)/(1+r)^N$$

in cui:  $C_G$  è il costo del ciclo di vita;  $C_I$  i costi di investimento;  $C_{EE}$  i costi relativi all'Energia incorporata;  $C_{EC}$  i costi relativi al Carbonio incorporato;  $C_m$  il costo di manutenzione;  $C_r$  il costo di sostituzione;  $C_{dm}$  il costo di dismissione e  $C_{dp}$  il costo di smaltimento;  $V_r$  il valore residuo;  $t$  è l'anno in cui si è verificato il costo e  $N$  il numero di anni dell'intero periodo considerato per l'analisi;  $r$  è il tasso di sconto.<sup>2</sup>

Si precisa che, nella presente simulazione, si applica la citata equazione in forma semplificata (non sono considerate le componenti relative a  $C_{dm}$  e  $V_r$ ).

<sup>2</sup> FREGONARA E., GIORDANO R., FERRANDO D.G., PATTONO S., *Economic-Environmental Indicators to Support Investment Decisions: A Focus on the Buildings' End-of-Life Stage*, in MDPI Buildings, 2017



## Global Cost

### Sistema Attuale - Klimasismico

| $C_G = C_I + \sum (C_m + C_r) / (1+r)^t + (C_{dm} + C_{dp} - V_r) / (1+r)^N$                         |                     |
|--|---------------------|
| Costo di Costruzione   | 242.136,80 €        |
| Costo di manutenzione  | 15.849,39 €         |
| Costo di gestione  | 51.424,05 €         |
| Costo di smaltimento e dismissione   | 9.464,80 €          |
| <b>Global Cost</b>   | <b>318.875,04 €</b> |
| $C_{GEnEc} = C_I + C_{EE} + C_{EC} + \sum (C_m + C_r) / (1+r)^t + (C_{dm} + C_{dp} - V_r) / (1+r)^N$ |                     |
| Global Cost  | 318.875,04 €        |
| Costo Embodied Energy  | 51.652,00 €         |
| Costo Embodied Carbon  | 564,00 €            |
| <b><math>C_{GEnEc}</math></b>  | <b>371.091,04 €</b> |

### Sistema Sperimentale - ECOFFI

| $C_G = C_I + \sum (C_m + C_r) / (1+r)^t + (C_{dm} + C_{dp} - V_r) / (1+r)^N$                         |                     |
|--|---------------------|
| Costo di Costruzione   | 244.886,80 €        |
| Costo di manutenzione  | 12.414,50 €         |
| Costo di gestione  | 51.808,75 €         |
| Costo di smaltimento e dismissione   | 6.837,40 €          |
| <b>Global Cost</b>   | <b>315.947,45 €</b> |
| $C_{GEnEc} = C_I + C_{EE} + C_{EC} + \sum (C_m + C_r) / (1+r)^t + (C_{dm} + C_{dp} - V_r) / (1+r)^N$ |                     |
| Global Cost  | 315.947,45 €        |
| Costo Embodied Energy  | 34.782,00 €         |
| Costo Embodied Carbon  | 443,00 €            |
| <b><math>C_{GEnEc}</math></b>  | <b>351.172,45 €</b> |

I risultati ottenuti evidenziano che il Global Cost è inferiore nel sistema sperimentale, ECOFFI, rispetto al sistema attuale, Klimasismico, come ipotizzato all'inizio del lavoro svolto. Infatti, come evidenziato dalle tabelle delle voci di costo, solo nel costo di costruzione e nel costo di gestione lo scenario sperimentale superava lo scenario attuale, garantendo così risultati favorevoli alla soluzione alternativa proposta.



## 6.4. Risultati dell'applicazione

La simulazione di tutte le voci di costo e la valutazione economico - ambientale delle due soluzioni tecnologiche ha portato ai risultati attesi.

Inizialmente sono state valutate le due soluzioni tecnologiche solo utilizzando l'approccio LCC. Secondo gli indicatori sintetici calcolati, lo **scenario tecnologico sperimentale è migliorativo dal punto di vista economico.**

Infatti, seppur non ci sia una grandissima differenza tra le due soluzioni, quella attuale risulta essere più costosa se si analizza il ciclo di vita che va dalla costruzione allo smaltimento. È stato un risultato quasi inaspettato, in quanto i materiali inseriti nel nuovo scenario tecnologico sono più costosi, quindi l'investimento iniziale è sicuramente più alto a parità di prestazioni energetiche. Quel che crea una variazione economica alla fine del ciclo di vita, sono sicuramente i **costi di smaltimento**, che nel caso dello scenario attuale sono più alti a causa della difficoltà nello smaltimento dei materiali impiegati e i **costi di manutenzione**, anche in questo caso inferiori nello scenario sperimentale in quanto vengono adottati materiali più economici.

Nella seconda parte dell'analisi sono state applicate le due metodologie congiunte LCC ed LCA, potendo così valutare anche i costi relativi all'impatto ambientale che i due scenari hanno nel ciclo di vita. I risultati emersi dall'analisi, e quindi nella valutazione aggiuntiva ai costi utili per l'approccio LCC sono il



Costo Ambientale e il Costo ambientale di manutenzione, che risultano essere inferiori nello scenario sperimentale. Come pianificato infatti, i materiali adottati nello scenario sperimentale, seppur più costosi, hanno dei valori di **Embodied Energy** ed **Embodied Carbon inferiori**, riuscendo così a diminuire gli impatti sull'ambiente nel loro ciclo di vita. Sono inoltre materiali il cui **smaltimento** a fine vita è meno costoso rispetto allo smaltimento dei materiali attuali, riuscendo così a superare positivamente la tecnologia attualmente adottata.

Tutti questi costi, simulati separatamente, sono stati poi inclusi all'interno di un'**equazione per il calcolo di un indicatore sintetico economico-ambientale**.

Valutando i due scenari tecnologici è emerso che la soluzione tecnologica attuale è complessivamente meno conveniente, in quanto l'indicatore risulta essere più alto. Questo risultato conferma l'ipotesi iniziale della tesi, ossia che grazie all'utilizzo delle due metodologie congiunte, è possibile individuare la soluzione preferibile sia dal punto di vista economico, sia dal punto di vista ambientale.



**Non si nota un sensibile scostamento tra i due scenari**, questo perchè non ci sono state grandi variazioni come pianificato all'inizio del lavoro di tesi. Infatti la variazione è stata ipotizzata solo sui materiali. Sono invece stati mantenuti tutti gli impianti e anche tutti gli aspetti energetici, conservando quindi tutti i costi relativi alla fase di esercizio della Biocasa.





# Conclusione

Questo lavoro di tesi è stato svolto con l'**obiettivo** di sperimentare l'utilizzo di due approcci congiunti, LCC ed LCA, per supportare la valutazione di scenari tecnologici alternativi.

Quale caso studio è stato comparato lo “scenario attuale” rappresentato dal metodo costruttivo Klimasismico, allo “scenario sperimentale”, che consiste in una soluzione più naturale, in cui viene utilizzata la miscela ECOFFI. Tramite l'approccio LCC è stato possibile includere nell'analisi, le voci di costi rilevanti, l'intero ciclo di vita. I risultati ottenuti, **già nella prima analisi** evidenziavano la convenienza economica della soluzione sperimentale, che avrebbe portato dei benefici durante il ciclo di vita. Per poter avere un'analisi più approfondita e per poter testare le due metodologie in maniera congiunta, sono state aggiunte alle voci di costo della LCC alcune voci dirette alla quantificazione degli impatti ambientali nell'intero ciclo di vita, combinando l'approccio LCC con l'approccio LCA.

Secondo l'analisi svolta si è arrivati ad un costo di costruzione iniziale maggiore rispetto a quello attuale, che è stato calcolato secondo indicazioni fornite dall'azienda (il cui dettaglio è stato qui omesso per ragioni di riservatezza).



Il costo di costruzione, risultato superiore nella soluzione sperimentale, viene poi recuperato nel corso del ciclo di vita, tramite costi, come il costo ambientale, il costo di manutenzione e il costo di smaltimento.

È stato possibile **valutare** il tutto **complessivamente**, riunendo le varie voci di costo all'interno di un'equazione, che ha confermato l'ipotesi e l'obiettivo posto inizialmente. Infatti, come dimostrano i risultati ottenuti, lo scenario alternativo in cui vengono utilizzati materiali più naturali e meno impattanti a livello ambientale, è migliorativo. Non si hanno grandi risparmi nelle prime fasi a causa del costo iniziale maggiore nel sistema sperimentale, ma si ottengono dei **miglioramenti** grazie alla **valutazione dei costi** in cui vengono **valutati gli impatti ambientali** che i materiali producono.

Come dimostrato dallo studio, è possibile recuperare l'investimento iniziale più alto per tecnologie più naturali, rispetto ad una tecnologia meno naturale, nel corso del ciclo di vita.

Questo lavoro di analisi è stato svolto per cercare di incentivare all'**analisi dell'intero ciclo di vita** ed in particolare all'utilizzo dei due approcci utilizzati, in modo da avere una visione o **analisi più completa** dell'investimento che si vuole fare.



Alla luce della sperimentazione fatta e degli obiettivi prefissati all'inizio, si può sicuramente affermare che l'utilizzo delle due **metodologie in maniera congiunta** ha sicuramente i suoi **aspetti positivi** ma anche i suoi **aspetti negativi** in ottica futura.

I positivi sono quelli che siamo riusciti ad ottenere anche in questo lavoro, riuscendo ad avere un'analisi in grado di considerare aspetti legati alla sostenibilità economica ed ambientale.

I negativi sono le difficoltà che si possono incontrare nel reperimento dei dati necessari allo svolgimento dell'analisi, oltre che alle esigenze di conoscenza che le metodologie adottate implicano.

Tuttavia, i risultati illustrati e le modalità operative proposte possono rappresentare una prima base per **futuri sviluppi** della ricerca.



# Ringraziamenti

È stato un lavoro di ricerca che ha riunito più figure e proprio per questo è necessario ringraziare più persone, per avermi supportata ed aiutata.

Un sincero e vero ringraziamento va ai professori: Elena Fregonara, Elena Piera Montacchini, Silvia Tedesco e Diego Giuseppe Ferrando che mi hanno accompagnato lungo questo percorso di tesi, dandomi supporto e seguendomi passo dopo passo, permettendomi di svolgere al meglio questo lavoro.

Ringrazio anche i due ragazzi, borsisti, Jacopo Andreotti e Denis Faruku per avermi dato consigli, materiale per procedere e supporto, riuscendo a colmare i miei dubbi.

Un doveroso e onesto ringraziamento va alla azienda Sarotto Group ed in particolare al titolare Mauro Sarotto per avermi fornito il caso studio e tutti i materiali e dati richiesti, essendo sempre molto disponibile per ogni richiesta.

Un grazie veramente grande è per i miei genitori, che mi hanno supportata pur essendo distante da ormai più di cinque anni. A loro devo tutto quel che ho e avrò in un futuro.



A mia sorella, che nel suo piccolo, senza troppi sfoggi, mi ha sempre dimostrato tutto il suo bene e la sua vicinanza a me nei periodi più difficili.

A tutta la mia famiglia che, seppur distante da me e sparsa in ogni parte d'Italia, ha sempre saputo darmi parole di conforto e supporto.

Ed ora è arrivato il momento di Mauro, colui che in questo percorso mi ha supportata, aiutata e sopportata. Senza di te non so se sarei mai stata in grado di trovare la forza e il coraggio di andare avanti. Hai sempre trovato la parola giusta per confortarmi e sollevarmi il morale.

A tutti i miei compagni universitari, a partire da Myriam, Beatrice, Marcella, Arianna, Filippo ecc., senza escludere nessuno, dico grazie.

E infine a loro, la “mia Parma”, Eleonora e Francesca, coloro che anche a km di distanza, e anche vedendole poco purtroppo, sanno sempre cosa dirmi per farmi stare bene, senza mentirmi mai e regalandomi sempre un sorriso.

Concludo dicendo: “Nessun dovere è più urgente di quello di restituire un GRAZIE”.





# Bibliografia

ANDREOTTI J., FARUKU D., GIORDANO R. in Adolfo F.L. Baratta, *Il riciclaggio di scarti e rifiuti in edilizia, dal downcycling all'upcycling verso gli obiettivi di economia circolare, "Coltivare" la filiera del riciclo di sottoprodotti agricoli nella produzione del calcestruzzo*, 2019

BALDO G.L., MARINO M., ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, 2008

BECCHIO C., FERRANDO D.G., FREGONARA E., MILANI N., QUERCIA C., SERRA V., *The cost-optimal methodology for the energy retrofit of an ex-industrial building located in Northern Italy*, in *Energy and Buildings*, Volume 127, Pages 590-602, 2016

BRAVI M., FREGONARA E., *Promozione e sviluppo immobiliare. Analisi dei processi e tecniche di valutazione*, Celid, Torino 2004.

FREGONARA E., GIORDANO R., FERRANDO D.G., PATTONO S., *Economic-Environmental Indicators to Support Investment Decisions: A Focus on the Buildings' End-of-Life Stage*, in *MDPI Buildings*, 2017

FREGONARA E., *Methodologies for supporting sustainability in energy and buildings. The contribution of Project Economic Evaluation*. *Energy Procedia* 2017, 111, 2–11

FREGONARA E., *Valutazione Sostenibilità Progetto, Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, ricerche di tecnologia dell'architettura*, Franco Angeli, 2016

GIORDANO R., *I prodotti per l'edilizia sostenibile: la compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio*, Sistemi Editoriali, Napoli 2010

GLUNCH P., BAUMANN H., *The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making*, in Building and Environment, Volume 39, Issue 5, 2004

GOH B.H., SUN Y., *The development of life-cycle costing for buildings*, in Journal Building Research & Information, Volume 44, 2016 - Issue 3, 2015

LANGDON D., *Final Report of Life Cycle Costing (LCC) as contribution to sustainable construction: a common methodology*, 2007

LANGDON D., *Life Cycle Costing (LCC) as contribution to sustainable construction: a common methodology*, 2007

LANGDON D., *Literature Review of Life Cycle Costing (LCC) as contribution to sustainable construction: a common methodology*, 2007

NOTARNICOLA B., in Cappellaro F., Scalbi S., *Atti del convegno scientifico della rete italiana LCA*, Palermo, 11-12 giugno 2009, p.17-25

SWARR T. E., HUKELER D., W. KLOPFER, CIROTH H.P.A., BRENT A.C., and PAGAN R., *Environmental Life Cycle Costing: A Code of Practice*, Cetac, 2011

TECNOBORSA, *Quaderni di economia immobiliare: periodico semestrale di tecnoborsa*, vol. 21, 2014

## Normative

Direttiva 2002/91/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2002, sul rendimento energetico nell'edilizia, Gazzetta ufficiale delle Comunità europee

Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia, Gazzetta ufficiale delle Comunità europee

ISO 14040:2006, Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and framework, ISO/TC 207/S05

ISO 14044:2006, Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines

ISO 15686:2008, Building and constructed assets – Service-life planning – Part 5: Life Cycle Costing, ISO/TC 59/CS 14

## Tesi

ANDREOTTI J., FARUKU D., *ECOFFI: Ecological CONcrete Filled Fibers. Progetto, sviluppo e monitoraggio di un sistema di involucro a base di cemento naturale e fibre vegetali riciclate*, Tesi di laurea, Rel. Giordano R., Montacchini E.P., Corrado Carbonaro C., Politecnico di Torino, a.a. 2017/2018

BROSSA E., CIPOLLA M.S., *L'uso del legno per un'edilizia sostenibile: analisi LCCA per una progettazione consapevole*, Tesi di laurea, Rel. Tulliani J.M.C.T., Ferrando D.G., Politecnico di Torino, 2014

CLOS A., *MOTE<sup>2</sup>, Modulo Tecnologico Equipaggiato ed Eco-efficiente : analisi di fattibilità tecnica e Metaprogetto : progetto di una tecnologia prefabbricata ad alte prestazioni energetico-ambientali, integrata con elementi impiantistici*, Tesi di laurea, Rel. Giordano R., Montacchini E.P., Simonetti M., Politecnico di Torino, 2015

PANINI C., *Convenienza e Sostenibilità nell'approccio Life Cycle Cost (LCC): un'applicazione comparativa al tipo edilizio unifamiliare*, Tesi di laurea, Relatore Giuseppe Bonazzi e Mattia Iotti, Università degli studi di Parma, a.a. 2010/2011

PASQUARELLA O., *Life Cycle Cost analysis per la sostenibilità economica di interventi di nuova costruzione/retrofit energetico dal building al district: il caso del progetto europeo "Concerto ALPiano"*, Tesi di laurea, Rel. Elena Fregonara, Corrado Carbonaro. Politecnico di Torino, 2016

PATTONO S., *Life cycle thinking e architettura: indicatori ambientali ed economici per il decision making nella fase di fine vita degli edifici*, Tesi di laurea, Rel. Fregonara E., Giordano R., Ferrando D.G., Politecnico di Torino, 2017

## Sitografia

<https://www.carbontax.org/where-carbon-is-taxed/> (01/2020)

<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/sviluppo-sostenibile/> (08/2019)

<https://ec.europa.eu/environment/gpp/lcc.htm>

<https://www.sarotto.it/> (10/2019)

[https://www.vicat.com /](https://www.vicat.com/) (10/2019)

<http://www.ambiente.unimore.it/on-line/Home/Qualitaambientale/> (11/2019)

<http://www.isprambiente.gov.it/it/certificazioni/ecolabel-ue/> (12/2019)

<http://www.etichettaambientale.it/lca.html/> (12/2019)

<http://www.lifecycleinitiative.org/> (12/2019)

<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/sviluppo-sostenibile/> (11/2019)

[https://www.arpae.it/dettaglio\\_generale.asp?id=244&idlivello=504/](https://www.arpae.it/dettaglio_generale.asp?id=244&idlivello=504/) (12/2019)

<https://www.eia.gov/> (1/2020)





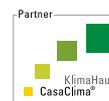
---

# Allegati



TECNOSUGHERI srl  
Via privata Goito, 7  
20037 - Paderno Dugnano (MI)  
Tel. 02.99500134  
Mail: info@tecnosugheri.it  
www.tecnosugheri.it

**TECNO  
Sugheri**  
SUGHERO DI QUALITÀ



## CORKPAN

Pannello in sughero espanso, autocollato, per isolamenti termo-acustici.

CORKPAN è un pannello in sughero totalmente naturale perchè ottenuto tramite processo termico, senza aggiunta di alcun tipo di collante.

Il processo termico di espansione permette la fusione delle resine naturalmente contenute nella corteccia, che agiscono da collante naturale per aggregare i granuli e formare il pannello.

La tostatura non altera le caratteristiche del sughero, anzi le migliora, in quanto permette al granulo di espandersi, migliorandone le caratteristiche di coibenza.

La colorazione bruna del prodotto non è dovuta ad una alterazione del sughero ma solo alla sua tostatura.

### Caratteristiche

- 100% naturale, da materia prima riciclata, riutilizzabile e riciclabile;
- Durabilità illimitata ed eccellente stabilità dimensionale;
- Insensibile ad acqua e umido e non biorecettivo;
- Prestazioni termiche inalterate anche dopo 50 anni ( $\lambda=0,039$ );
- Ottimo isolante termico estivo e invernale;
- Certificato per la bio-edilizia da **natureplus®** e **ANAB I ICEA**;
- Certificato da **Biosafe** come salubre e basso emissivo;
- Soddisfa i CAM per la salubrità (COV) e l'origine della materia prima da fonte riciclata.

### Impieghi

- Cappotti interni con rasatura;
- Isolamento dall'interno;
- Facciate ventilate;
- Sottomassetto
- Solai, sottotetti e coperture piane, tetti verdi e coperture a falde;
- Intercapedini;
- Isolamento antivibrante.

### Documentazione correlata

- Protocollo di Posa Sistema ETICS ISOVIT CORK (ETAG004);
- Protocollo di Posa Sistema ETICS TECNOCORK;
- Protocollo di Posa Sistema ETICS TECNOCORK WOOD.

Certificazioni pannello Corkpan:



Le informazioni e i dati riportati sono indicati in buona fede e ritenuti corretti. Tuttavia non viene assunta alcuna responsabilità per tali informazioni e dati, né può essere presunta alcuna garanzia. Tecnosugheri srl a causa della politica di sviluppo e miglioramento dei suoi prodotti, si riserva il diritto di modificare senza preavviso modelli e caratteristiche dei prodotti descritti. Le immagini possono non corrispondere fedelmente alla reale colorazione dei prodotti presentati. I dati indicati in questa pubblicazione, frutto di prove di laboratorio o rilevazioni in cantiere, non garantiscono la ripetibilità dei risultati per sistemi equivalenti.



### Caratteristiche Tecniche (EN13170)

**Dimensioni:** 100 x 50 cm

**Spessore:** da 10 a 320 mm

**Densità:** 110 kg/m<sup>3</sup>

**Conducibilità termica dichiarata:**  $\lambda_d=0,039$  W/mK

**Conducibilità termica provata:**  $\lambda_p=0,036$  W/mK

**Calore specifico:** 1900 J/kgK

**Resistenza al passaggio del vapore:**  $\mu = 20$

**Assorbimento di acqua:** <0,5 kg/m<sup>2</sup>

**Reazione al fuoco:** Classe E

**Rigidità dinamica (50mm spessore):**  $\leq 126$  MN/m<sup>3</sup>

**Resistenza alla flessione:**  $\sigma \geq 130$  kPa b

**Resistenza alla compressione:**  $\sigma \geq 100$  kPa 10

**Resistenza alla trazione (perp. alle facce):**  $\sigma \geq 50$  kPa mt

### Altre Informazioni

**Stabilità dimensionale:** ottima in ogni condizione

**Biorecettività:** nulla (ASTM D3629)

**Durabilità:** sempre superiore alla vita dell'edificio

**Prestazioni coibenti dopo 50 anni:** immutate

**COV TOTALI** (composti organici volatili): 77 µg/m<sup>3</sup>

**GGWP100** (Effetto Serra): -1,80 kg CO<sub>2</sub> eq/kg

**TRR rinnovabili:** 60,64 MJeq/kg | **TRNR non rinnovabili:** 8,91 MJeq/kg

### Voce di capitolato

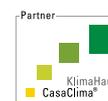
Strato isolante costituito da pannelli di sughero espanso auto-collato, privo di collanti chimici, **CORKPAN** spessore mm... della ditta Tecnosugheri srl, con le seguenti caratteristiche:

- Densità: 110 kg/m<sup>3</sup>
- onducibilità dichiarata:  $\lambda_d = 0,039$  W/mK
- **Marchio CE** (EN13170)
- Certificato **natureplus®** e **ANAB-ICEA** per la bio-edilizia
- Certificato **Biosafe** e **A+** per la salubrità delle emissioni COV
- Sughero CORKPAN 100% da materia prima riciclata (pre-consumo)
- Dichiarazione Ambientale di Prodotto.



TECNOSUGHERI srl  
Via privata Goito, 7  
20037 - Paderno Dugnano (MI)  
Tel. 02.99500134  
Mail: info@tecnosugheri.it  
www.tecnosugheri.it

**TECNO  
Sugheri**  
SUGHERO DI QUALITÀ



## TECNOFIX P10

Adesivo/rasante a base di calce idraulica naturale e microgranuli di sughero.

**TECNOFIX P10** è una malta a base di calce idraulica naturale e microgranuli di sughero ad elevata traspirabilità, pensata per la realizzazione di cappotti isolanti in sughero CORKPAN.

### Caratteristiche

- Elevata traspirabilità;
- Elevata durabilità su ogni tipo di supporto: muratura, calcestruzzo o altri rivestimenti pre-esistenti;
- Impiegato all'interno del protocollo TECNOCORK.

### Impieghi

- Incollaggio dei pannelli al supporto;
- Rasatura armata (intonaco di fondo);
- Rasatura per uniformare supporti di fondo esistenti e/o scarsamente assorbenti;
- Su supporti in gesso, richiede l'applicazione di un primer acrilico.
- Applicazioni in interno ed esterno.

### Indicazioni per la sicurezza

- Irritante per gli occhi, le vie respiratorie e la pelle;
- Può causare sensibilizzazione a contatto con la pelle;
- Non respirarne le polveri;
- In caso di contatto con gli occhi, sciacquare immediatamente con abbondante acqua e consultare uno specialista medico;
- Indossare abbigliamento da lavoro e guanti adeguati;
- Tenere lontano dalla portata dei bambini.



Le informazioni e i dati riportati sono indicati in buona fede e ritenuti corretti. Tuttavia non viene assunta alcuna responsabilità per tali informazioni e dati, nè può essere presunta alcuna garanzia. Tecnosugheri srl a causa della politica di sviluppo e miglioramento dei suoi prodotti, si riserva il diritto di modificare senza preavviso modelli e caratteristiche dei prodotti descritti. Le immagini possono non corrispondere fedelmente alla reale colorazione dei prodotti presentati. I dati indicati in questa pubblicazione, frutto di prove di laboratorio o rilevazioni in cantiere, non garantiscono la ripetibilità dei risultati per sistemi equivalenti.



| Caratteristiche Tecniche   | Norma    |
|--|----------|
| <b>Colore:</b> Beige chiaro  | -        |
| <b>Granulometria max:</b> 1,25 mm                                    | -        |
| <b>Densità:</b> 1100 ± 50 kg/m <sup>3</sup>                          | EN 998-1 |
| <b>Adesione alla muratura:</b> 0,7 N/mm <sup>2</sup>                 | EN 998-1 |
| <b>Adesione al pannello CORKPAN:</b> ≥ 0,1 Mpa (C)                   | -        |
| <b>Capillarità:</b> Classe W2  | EN 998-1 |
| <b>Permeabilità al vapore acqueo μ:</b> <15                          | EN 998-1 |
| <b>Reazione al fuoco:</b> Euroclasse A1                              | EN 998-1 |
| <b>PH:</b> 10-11   | -        |
| <b>Conducibilità termica (λ<sub>10,dry</sub>):</b> 0,45 W/mK (P=50%) | EN 998-1 |

### Altre Informazioni

|   |                           |
|---|---------------------------|
| <b>Confezioni:</b> Sacchi da 25 kg  |                           |
| <b>Diluzione:</b> Impastare ogni sacco con 8 - 8,5 lt di acqua pulita                                     |                           |
| <b>Preparazione:</b> Impastare con un miscelatore a bassa rotazione                                       |                           |
| <b>Rendimento teorico:</b> Incollaggio  | 4,0 kg/m <sup>2</sup>     |
| Intonaco di fondo armato  | 6,0 kg/m <sup>2</sup>     |
| Rasatura  | 1,4 kg/m <sup>2</sup> /mm |
| <b>Spessore intonaco di fondo:</b> 4 - 5 mm   |                           |
| <b>Durata/Stoccaggio:</b> 12 mesi se conservato nella confezione originale e in luogo asciutto e riparato |                           |



# CELENIT AB

Scheda tecnica



Pannello isolante termico ed acustico, in lana di legno sottile di abete rosso mineralizzata e legata con cemento Portland bianco. Larghezza lana di legno: 2 mm. Pannelli di alta qualità per sistemi di design e assorbimento acustico.

Conforme alla norma UNI EN 13168 e UNI EN 13964.  
Certificato da ANAB-ICEA e natureplus per la ecocompatibilità dei materiali e del processo produttivo.  
CELENIT AB è certificato PEFC\*. Disponibile anche con certificazione FSC®.

Disponibile anche con cemento Portland grigio [CELENIT A].

**Dettaglio bordi**

D - S4 - RD  
DT - T - RDT - RST - PS - PM

**Colori**

naturale o verniciato

**Applicazioni**

controsoffitti, rivestimenti a parete, baffes e isole, soluzioni di design

## Dati tecnici

|  |  |      |      |      |           |
|--|--|------|------|------|-----------|
| Normativa  | UNI EN 13168 - UNI EN 13964              |      |      |      | <b>CE</b> |
| Codice di designazione CELENIT AB  | WW-EN13168-L3-W2-T2-S2-CS(10)200-CI3     |      |      |      |           |
| Codice di designazione CELENIT A   | WW-EN13168-L3-W2-T2-S2-CS(10)200-CI1     |      |      |      |           |
| Lunghezza x Larghezza [mm]   | 2400x600 - 2000x600 - 1200x600 - 600x600 |      |      |      |           |
| Spessore [mm]  | 15                                       | 25   | 35   | 50   |           |
| Massa superficiale [kg/m <sup>2</sup> ]                                  | 7,8                                      | 12,0 | 16,3 | 20,0 |           |
| Conducibilità termica dichiarata $\lambda_0$ [W/mK]                      | 0,070                                    |      |      |      |           |
| Resistenza termica dichiarata $R_0$ [m <sup>2</sup> K/W]                 | 0,20                                     | 0,35 | 0,50 | 0,70 |           |
| Sollecitazione a compressione al 10% di deformazione $\sigma_{10}$ [kPa] | ≥ 200                                    |      |      |      |           |
| Resistenza alla diffusione del vapore $\mu$                              | 5  |      |      |      |           |
| Calore specifico $c_p$ [kJ/kgK] <sup>1</sup>                             | 1,81                                     |      |      |      |           |
| Reazione al fuoco <sup>2</sup>   | Euroclasse B-s1, d0                      |      |      |      |           |
| Contenuto in cloruri CELENIT AB [%]                                      | ≤ 0,06                                   |      |      |      |           |
| Contenuto in cloruri CELENIT A [%]                                       | ≤ 0,35                                   |      |      |      |           |
| Assorbimento acustico  | $\alpha_w$ fino a 0,95 - NRC fino a 0,90 |      |      |      |           |
| Durabilità   | Classe C                                 |      |      |      |           |
| Riflessione luminosa CELENIT AB [%]                                      | 50,7 - 74,0 (colorato bianco 05/15)      |      |      |      |           |
| Riflessione luminosa CELENIT A [%]                                       | 31,2                                     |      |      |      |           |
| Rilascio di formaldeide  | Classe E1                                |      |      |      |           |
| Rilascio di amianto  | non contiene amianto                     |      |      |      |           |

<sup>1</sup> Certificato dall'Università di Bologna - LEBSO no. 809 | rev. 07.05.2009

<sup>2</sup> La reazione al fuoco non cambia per i prodotti verniciati

## Dati logistici

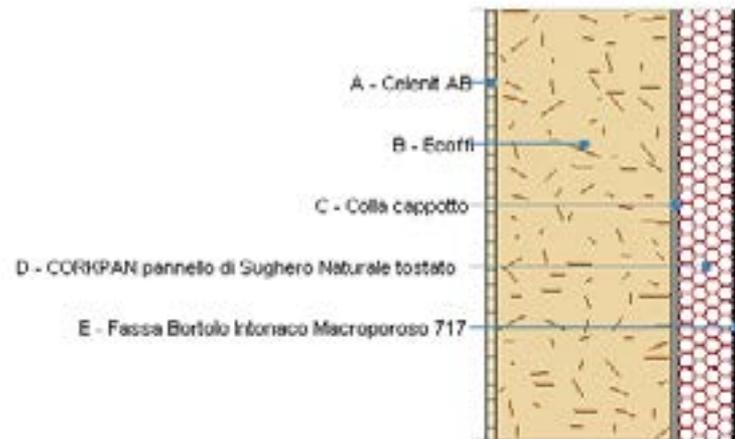
| Dimensioni [mm]    | Pallet                    | 15 mm  | 25 mm  | 35 mm | 50 mm |
|--------------------|---------------------------|--------|--------|-------|-------|
| pannelli: 2400x600 | pannelli per pallet       | 130    | 88     | 60    | 44    |
| pallet: 2400x1200  | m <sup>2</sup> per pallet | 187,20 | 126,72 | 86,40 | 63,36 |
| pannelli: 2000x600 | pannelli per pallet       | 130    | 88     | 60    | 44    |
| pallet: 2000x1200  | m <sup>2</sup> per pallet | 156,00 | 105,60 | 72,00 | 52,80 |
| pannelli: 1200x600 | pannelli per pallet       | 130    | 88     | 60    | 44    |
| pallet: 1200x1200  | m <sup>2</sup> per pallet | 93,60  | 63,36  | 43,20 | 31,68 |
| pannelli: 600x600  | pannelli per pallet       | 260    | 176    | 120   |       |
| pallet: 1200x1200  | m <sup>2</sup> per pallet | 93,60  | 63,36  | 43,20 |       |

## Certificazioni

ISO 9001:2015 no. 1351  
ANAB no. EDIL 2009\_004  
NATUREPLUS no. 1007-1511-134-1  
EPD® S-P-00477  
FSC® no. ICILA-COC-002789  
PEFC™ no. ICILA-PEFCOC-000117  
ICEA no. LEED 2015\_001  
ICEA no. REC 2015\_001



### S32-Modul 5 ext PROGETTO



Le proprietà termiche dell'elemento opaco sono valutate in base alla UNI EN ISO 6946.

#### DATI DELLA STRUTTURA OPACA

Nome: **S32-Modul 5 ext PROGETTO**

Note:

|                 |                            |               |                            |
|-----------------|----------------------------|---------------|----------------------------|
| Tipologia:      | <b>Parete</b>              | Disposizione: | <b>Verticale</b>           |
| Verso:          | <b>Esterno</b>             | Spessore:     | <b>450.0 mm</b>            |
| Trasmittanza U: | 0,152 W/(m <sup>2</sup> K) | Resistenza R: | 6,565 (m <sup>2</sup> K)/W |
| Massa superf.:  | 203 Kg/m <sup>2</sup>      | Colore:       | Chiaro                     |
| Area:           | - m <sup>2</sup>           |               |                            |

#### STRATIGRAFIA

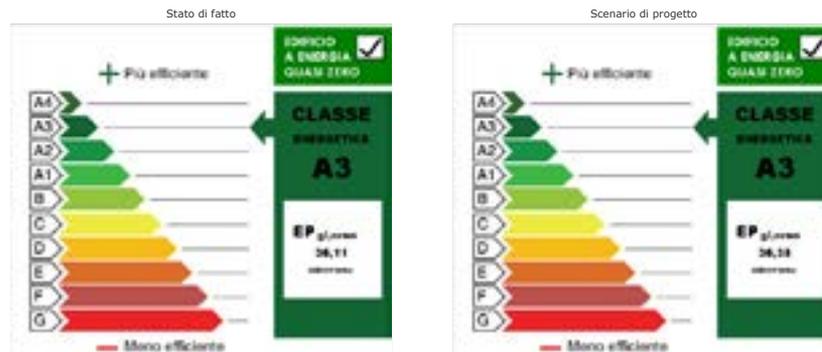
|   | Strato                                       | Spessore<br>s<br>[mm] | Conduttività<br>λ<br>[W/(mK)] | Resistenza<br>R<br>[(m <sup>2</sup> K)/W] | Densità<br>ρ<br>[Kg/m <sup>3</sup> ] | Capacità term.<br>C<br>[kJ/(kgK)] | Fattore<br>μ <sub>a</sub><br>[-] | Fattore<br>μ <sub>u</sub><br>[-] |
|---|--|-----------------------|-------------------------------|---|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|   | Adduttanza interna (flusso orizzontale)      | -                     | -                             | 0,130                                     | -                                    | -                                 | -                                | -                                |
| A | Celenit AB                                   | 15,0                  | 0,070                         | 0,214                                     | 520                                  | 1,81                              | 5,0                              | 5,0                              |
| B | Ecoffi                                       | 315,0                 | 0,088                         | 3,580                                     | 540                                  | 1,00                              | 10,0                             | 6,0                              |
| C | Colla cappotto                               | 10,0                  | 0,670                         | 0,015                                     | 1.300                                | 1,00                              | 35,0                             | 35,0                             |
| D | CORKPAN pannello di Sughero Naturale tostato | 100,0                 | 0,039                         | 2,564                                     | 120                                  | 1,90                              | 5,0                              | 30,0                             |
| E | Fassa Bortolo Intonaco Macroporoso 717       | 10,0                  | 0,450                         | 0,022                                     | 1.400                                | 1,00                              | 8,0                              | 8,0                              |
|   | Adduttanza esterna (flusso orizzontale)      | -                     | -                             | 0,040                                     | -                                    | -                                 | -                                | -                                |
|   | TOTALE                                       | 450,0                 |                               | 6,565                                     |                                      |                                   |                                  |                                  |

Conduttanza unitaria superficiale interna: 7,690 W/(m<sup>2</sup>K)  
 Conduttanza unitaria superficiale esterna: 25,000 W/(m<sup>2</sup>K)

Resistenza unitaria superficiale interna: 0,130 (m<sup>2</sup>K)/W  
 Resistenza unitaria superficiale esterna: 0,040 (m<sup>2</sup>K)/W

**RIASSUNTO DEI RISULTATI DEL CONFRONTO FRA LO 'STATO DI FATTO' E LO SCENARIO 'SCENARIO COLLETTIVO'**

calcolo effettuato il 06/01/2020 13:32:46

**Biocasa: Scenario collettivo**


| REN  | UM                           | Valore | Intervento   |
|------|------------------------------|--------|--|
| REN1 | m <sup>2</sup> di intervento | 180,4  | [S32-Modul 5_ext SDF] → [S32-Modul 5_ext PROGETTO] [colore chiaro]                   |
| REN1 | m <sup>2</sup> di intervento | 216,1  | [S09-Modul 5_int SDF] → [S09-Modul 5_int PROGETTO] [colore chiaro]                   |
| REN1 | m <sup>2</sup> di intervento | 129,0  | [S32-Modul 5_int SDF] → [S32-Modul 5_int PROGETTO] [colore chiaro]                   |
| REN1 | m <sup>2</sup> di intervento | 40,6   | [S32-Modul 5_Inr SDF] → [S32-Modul 5_Inr PROGETTO] [colore chiaro]                   |
| REN1 | m <sup>2</sup> di intervento | 129,1  | [Copertura_ext SDF] → [Copertura_ext PROGETTO] [colore chiaro]                       |
| REN1 | m <sup>2</sup> di intervento | 5,5    | [Soffitto interplano_cop SDF] → [Soffitto interplano_cop PROGETTO] [colore chiaro]   |
| REN1 | m <sup>2</sup> di intervento | 110,8  | [Pavimento_ter SDF] → [Pavimento_ter PROGETTO] [colore chiaro]                       |
| REN1 | m <sup>2</sup> di intervento | 49,9   | [Soffitto interplano_int SDF] → [Soffitto interplano_int PROGETTO] [colore chiaro]   |
| REN1 | m <sup>2</sup> di intervento | 1,4    | [Soffitto interplano_ext SDF] → [Soffitto interplano_ext PROGETTO] [colore chiaro]   |
| REN1 | m <sup>2</sup> di intervento | 53,5   | [Pavimento interplano_int SDF] → [Pavimento interplano_int PROGETTO] [colore chiaro] |

**Costi e consumi**
**Consumi per vettore energetico**

|                   | UM  | Stato di fatto | Scenario | Variazione | Var. % |
|-------------------|-----|----------------|----------|------------|--------|
| Energia elettrica | kWh | 2.324,1        | 2.341,4  | -17,3      | -0,7 % |

**Costi per vettore energetico**

|                   | UM | Stato di fatto | Scenario | Variazione | Var. % |
|-------------------|----|----------------|----------|------------|--------|
| Energia elettrica | €  | 464,8          | 468,3    | -3,5       | -0,8 % |
| Costo complessivo | €  | 464,8          | 468,3    | -3,5       | -0,8 % |

**Tempo di ritorno**

|                       | UM                | Valore |
|-----------------------|-------------------|--------|
| Costo dell'intervento | €                 | 0,0    |
| Risparmio annuo       | €                 | -3,4   |
| Tempo di ritorno      | anni              | 0,0    |
| Risparmio CO2         | Kg/m <sup>2</sup> | -0,1   |

Tempo di ritorno - da 0 a più di 30 anni


**Dettagli di calcolo - Involucro: fabbisogno di energia termica**
**Fabbisogni di energia termica per riscaldamento**

|         | UM  | Stato di fatto | Scenario | Variazione | Var. % | Legenda   |
|---------|-----|----------------|----------|------------|--------|---|
| QH,tr   | kWh | 9.648,6        | 9.716,5  | -67,9      | -0,7 % | Fabbisogno di energia termica per trasmissione              |
| QH,ve   | kWh | 1.538,1        | 1.538,1  | 0          | -      | Fabbisogno di energia termica per ventilazione              |
| Qsol,op | kWh | 250,2          | 262,6    | -12,4      | -5,0 % | Apporti solari sulle superfici opache in riscaldamento      |
| Qsol,w  | kWh | 4.989,1        | 4.989,1  | 0          | -      | Apporti solari sulle superfici trasparenti in riscaldamento |
| Qint    | kWh | 1.933,2        | 1.933,2  | 0          | -      | Apporti interni in riscaldamento                            |
| QH,nd   | kWh | 4.397,7        | 4.461,6  | -63,9      | -1,5 % | Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento          |

**Fabbisogni di energia termica per raffrescamento**

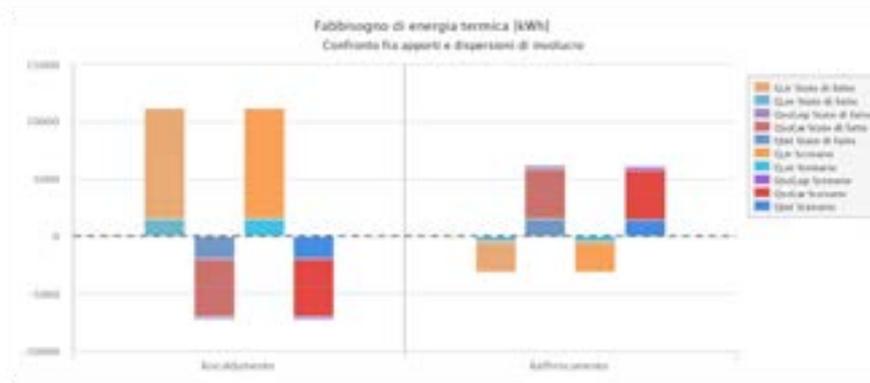
|                      | UM  | Stato di fatto | Scenario | Variazione | Var. % | Legenda  |
|----------------------|-----|----------------|----------|------------|--------|--|
| QC <sub>tr</sub>     | kWh | 2.647,1        | 2.631,9  | 15,1       | 0,5 %  | Fabbisogno di energia termica per trasmissione               |
| QC <sub>ve</sub>     | kWh | 635,8          | 624,2    | 11,6       | 2,7 %  | Fabbisogno di energia termica per ventilazione               |
| QC <sub>sol</sub>    | kWh | 318,8          | 329,4    | -10,6      | -3,4 % | Apporti solari sulle superfici opache in raffreddamento      |
| QC <sub>sol,ve</sub> | kWh | 4.381,0        | 4.339,6  | 41,4       | 1,4 %  | Apporti solari sulle superfici trasparenti in raffreddamento |
| QC <sub>int</sub>    | kWh | 1.490,4        | 1.468,8  | 21,6       | 1,4 %  | Apporti interni in raffreddamento                            |
| QC <sub>ref</sub>    | kWh | 2.779,9        | 2.762,5  | 17,4       | 0,6 %  | Fabbisogno di energia termica per il raffreddamento          |

#### Fabbisogno di energia termica per ACS

|                   | UM  | Stato di fatto | Scenario | Variazione | Var. % | Legenda                               |
|-------------------|-----|----------------|----------|------------|--------|---------------------------------------|
| QC <sub>ACS</sub> | kWh | 2.051,9        | 2.051,9  | 0          | -      | Fabbisogno di energia termica per ACS |

#### Fabbisogno di energia termica e dettagli di involucro

|                          | UM                 | Stato di fatto | Scenario | Variazione | Var. %  | Legenda   |
|--------------------------|--------------------|----------------|----------|------------|---------|---|
| EP <sub>tr,rd</sub>      | kWh/m <sup>2</sup> | 35,0           | 35,6     | -0,6       | -1,7 %  | Indice di prestazione termica utile di riscaldamento  |
| EP <sub>ve,rd</sub>      | kWh/m <sup>2</sup> | 32,2           | 32,0     | 0,2        | 0,9 %   | Indice di prestazione termica utile di raffreddamento |
| EP <sub>sol,rd</sub>     | kWh/m <sup>2</sup> | 16,0           | 16,0     | 0          | -       | Indice di prestazione termica utile di ACS            |
| Area solare attiva utile | -                  | 0,039          | 0,039    | 0          | -       | Area solare attiva equivalente                        |
| U <sub>TE</sub>          | W/m <sup>2</sup> K | 0,01           | 0,00     | 0,01       | 100,0 % | Trasmittanza termica perimetrale media                |



#### Dettagli di calcolo - Impianto: fabbisogno di energia primaria

##### Climatizzazione invernale

|                       | UM                 | Stato di fatto | Scenario | Variazione | Var. % | Legenda   |
|-----------------------|--------------------|----------------|----------|------------|--------|---|
| EP <sub>tr,inv</sub>  | kWh/m <sup>2</sup> | 11,2           | 11,4     | -0,1       | -0,9 % | Indice di prestazione rinnovabile per riscaldamento     |
| EP <sub>ve,inv</sub>  | kWh/m <sup>2</sup> | 23,2           | 23,5     | -0,2       | -0,9 % | Indice di prestazione non rinnovabile per riscaldamento |
| EP <sub>tot,inv</sub> | kWh/m <sup>2</sup> | 34,4           | 35,0     | -0,6       | -1,2 % | Indice di prestazione totale per riscaldamento          |
| η <sub>g,inv</sub>    | -                  | 1,505          | 1,511    | -0,006     | 0,4 %  | Efficienza globale stagionale di riscaldamento          |
| QC <sub>tr</sub>      | %                  | 30,7           | 30,7     | 0          | -      | Quota rinnovabile per riscaldamento                     |

##### Acqua calda sanitaria

|                       | UM                 | Stato di fatto | Scenario | Variazione | Var. % | Legenda                                       |
|-----------------------|--------------------|----------------|----------|------------|--------|---|
| EP <sub>tr,acs</sub>  | kWh/m <sup>2</sup> | 17,2           | 17,2     | 0          | -      | Indice di prestazione rinnovabile per ACS     |
| EP <sub>ve,acs</sub>  | kWh/m <sup>2</sup> | 3,3            | 3,3      | 0          | 0,0 %  | Indice di prestazione non rinnovabile per ACS |
| EP <sub>tot,acs</sub> | kWh/m <sup>2</sup> | 20,4           | 20,4     | 0          | -      | Indice di prestazione totale per ACS          |
| η <sub>g,acs</sub>    | -                  | 4,523          | 4,543    | -0,020     | 0,4 %  | Efficienza globale stagionale di ACS          |
| QC <sub>tr</sub>      | %                  | 84,3           | 84,3     | 0          | -      | Quota rinnovabile per ACS                     |

##### Ventilazione

|                        | UM                 | Stato di fatto | Scenario | Variazione | Var. % | Legenda  |
|------------------------|--------------------|----------------|----------|------------|--------|--|
| EP <sub>tr,vent</sub>  | kWh/m <sup>2</sup> | 14,8           | 14,8     | 0          | -      | Indice di prestazione rinnovabile per ventilazione     |
| EP <sub>ve,vent</sub>  | kWh/m <sup>2</sup> | 9,6            | 9,6      | 0          | -      | Indice di prestazione non rinnovabile per ventilazione |
| EP <sub>tot,vent</sub> | kWh/m <sup>2</sup> | 24,4           | 24,4     | 0          | -      | Indice di prestazione totale per ventilazione          |

##### Energia primaria globale

|  | UM | Stato di fatto | Scenario | Variazione | Var. % | Legenda |
|--|----|----------------|----------|------------|--------|---------|
|--|----|----------------|----------|------------|--------|---------|

|                  |                    |      |      |      |        |   |
|------------------|--------------------|------|------|------|--------|---|
| EPg,ren          | kWh/m <sup>2</sup> | 43,3 | 43,4 | 0,1  | 0,1 %  | Indice di prestazione globale rinnovabile     |
| EPg,non          | kWh/m <sup>2</sup> | 36,2 | 36,4 | 0,2  | 0,6 %  | Indice di prestazione globale non rinnovabile |
| EPg,tot          | kWh/m <sup>2</sup> | 79,5 | 79,8 | 0,3  | 0,4 %  | Indice di prestazione globale dell'edificio   |
| Q <sub>ren</sub> | %                  | 51,8 | 51,6 | -0,2 | -0,4 % | Quota rinnovabile per risc., aria e raff.     |

#### Indice di riferimento

|             | UPE                | Stato di fatto | Scenario | Variazione | Var. % | Legenda                               |
|-------------|--------------------|----------------|----------|------------|--------|---------------------------------------|
| EPg,non_ref | kWh/m <sup>2</sup> | 47,1           | 47,1     | 0          | -      | Indice di prestazione non rinnovabile |

