

## CAM EDILIZIA ED EPD: IL NUOVO APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE ECOCOMPATIBILE DELL'EDIFICIO

### Premessa

Negli ultimi anni molti studi hanno approfondito la questione ambientale nel settore dell'edilizia fornendo al progettista utili criteri progettuali applicabili al fine di ridurre l'impatto ambientale. Anche il legislatore ha fornito un'importante indicazione in merito introducendo i Criteri Ambientali Minimi (CAM) Edilizia. Tali criteri secondo il legislatore, introdotti con Decreto del Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n.16 del 21 gennaio 2016 e successivamente modificato con Decreto del 11 gennaio 2017, consentono alla stazione appaltante di ridurre gli impatti ambientali degli interventi di nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione degli edifici, considerati in un'ottica di ciclo di vita.

Il Decreto Legislativo n. 50 del 18 aprile 2016 ed in particolare gli artt. 34 e 95 prescrivono alle stazioni appaltanti l'inserimento nei documenti di gara, per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici e per la gestione dei cantieri, tutte le specifiche tecniche e le clausole contrattuali definite dai Criteri Ambientali Minimi Edilizia per il 100% del valore a base d'asta.

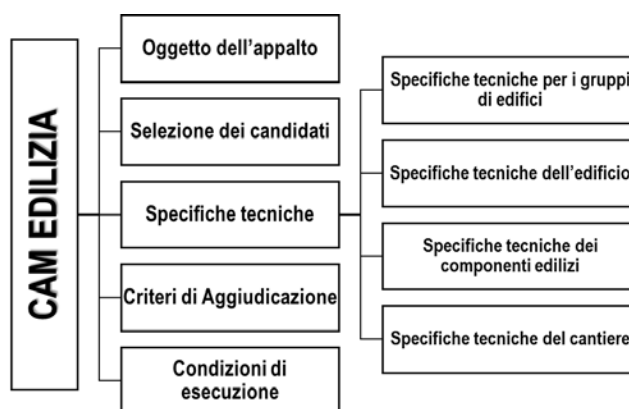


Figura 1 - Struttura del documento "Criteri Ambientali Minimi Edilizia" Decreto ministeriale 11 gennaio 2017 – Allegato 2

Il documento CAM Edilizia riporta alcune indicazioni di carattere generale che consistono in richiami alla normativa di riferimento e in ulteriori indicazioni proposte alle stazioni appaltanti in relazione all'espletamento della relativa gara d'appalto e all'esecuzione del contratto. L'obiettivo principale dunque è quello di fornire a tutti gli attori del processo edilizio delle indicazioni guida per ridurre l'impatto ambientale, dal progetto alla costruzione, facilitando le attività di monitoraggio e agevolando le potenziali imprese offerenti, in quanto si rendono immediatamente evidenti le caratteristiche ambientali richieste dalla stazione appaltante.

Trascurando in questa sede le importanti indicazioni fornite dal legislatore alle stazioni appaltanti e alle imprese esecutrici, ci si soffermerà sul ruolo del progettista alla luce dei CAM Edilizia. I criteri di sostenibilità contenuti nel documento, relativi alla progettazione, si riferiscono a tutti i pertinenti livelli di progettazione, da quella preliminare a quella definitiva ed esecutiva e a tutte le scale (dai gruppi di edifici fino al componente edilizio). In particolare si forniscono specifiche tecniche utili a garantire la conservazione degli habitat presenti nell'area di intervento garantendone l'interconnessione fisica ad habitat esterni all'area di intervento, indicazioni utili ad incrementare l'efficienza energetica per la riduzione dei consumi di energia (sulle nuove costruzioni l'indice di prestazione energetica globale  $EP_{gl,n,ren}$  deve corrispondere almeno alla classe A3). Particolare attenzione è stata posta nella definizione delle indicazioni progettuali per una migliore qualità ambientale interna e nello specifico si pone una maggiore attenzione al comfort termoigrometrico indoor, all'illuminazione naturale, al controllo dell'immissione nell'ambiente interno di radiazione solare diretta, ad interventi atti a ridurre il più possibile l'esposizione indoor a campi magnetici a bassa frequenza, all'utilizzo di materiali locali, eco-compatibili e riciclabili privilegiando materiali con contenuti sempre maggiori di materie prime seconde.

Dunque il progettista deve compiere scelte tecniche di progetto, specificare le informazioni ambientali dei prodotti scelti e fornire la documentazione tecnica che consenta di soddisfare tali criteri. Tra la documentazione probante, utile per la verifica del rispetto del criterio, il progettista deve fornire l'elenco dei componenti edilizi costituenti l'edificio dotati di certificazioni verificate da un organismo di valutazione della conformità come ad esempio una dichiarazione ambientale di Tipo III, conforme alla norma UNI EN 15804 e alla norma ISO 14025.

**Il limite oggettivo di questi orientamenti è sicuramente legato alla possibilità di incorrere nel rischio di orientare la progettazione verso soluzioni tecniche in teoria "environment-friendly", ma che in realtà non consentono di controllare e confrontare il parametro "impatto ambientale" da un punto di vista scientifico.**

L'unico strumento oggettivo e scientifico di cui il progettista dispone per superare tale limite è la metodologia Life Cycle Assessment – LCA, che attraverso indicatori quantitativi d'impatto ambientale, codificati e definiti a livello internazionale, consente la valutazione della compatibilità ambientale dell'edificio.

## **INTRODUZIONE**

La metodologia di studio proposta, a supporto della progettazione ecocompatibile, consente attraverso un'analisi LCA di valutare l'impatto ambientale sia alla scala dell'elemento tecnico che alla scala dell'edificio, nonché di comparare i profili ambientali di più soluzioni tecniche alternative al fine di individuarne quella più premiante.

A fronte della complessità che l'analisi LCA di un edificio comporta, un esteso uso di materiali dotati di dichiarazione ambientale di tipo III (EPD) consente di condurre un'analisi delle prestazioni ambientali semplificata. Dunque a partire dalle EPD raccolte per dimostrare i profili ambientali dei componenti edilizi nelle verifiche dei CAM Edilizia (documentazione probante per il rispetto dei criteri), ed in particolare per le specifiche tecniche dei componenti edilizi, è possibile arrivare, attraverso un'opportuna aggregazione, alla determinazione degli impatti ambientali.

L'EPD è uno strumento dichiarativo e non valutativo che definisce la carta di identità ambientale di un prodotto da costruzione.

Sulla base di queste premesse, essendo ciascun prodotto dotato di una propria dichiarazione ambientale di prodotto EPD, è possibile giungere alla dichiarazione ambientale complessiva di un edificio attraverso la somma delle singole EPD, considerando perciò l'edificio come il risultato di un processo sofisticato di assemblaggio e posa in opera di prodotti. Analogamente è possibile determinare l'EPD di un elemento tecnico attraverso la sommatoria delle EPD dei prodotti che la costituiscono e sarà possibile effettuare delle scelte in un'ottica di eco design.

Nel seguito verrà affrontato un esempio numerico di verifica dei criteri ambientali comuni e specifici applicato a tutti i componenti edilizi, un esempio di comparazione tra tre differenti soluzioni tecnologiche relative ad un medesimo elemento tecnico appartenente all'involucro edilizio (superficie verticale opaca) fino a giungere alla valutazione dell'impatto ambientale dell'interno edificio destinato ad ufficio con riferimento alle norme UNI EN 15804 e EN 15978. Lo studio prevede l'analisi di tutte le fasi del ciclo di vita della struttura e dunque dalla fase di produzione dei componenti edilizi passando per la costruzione dell'edificio, la fase di utilizzo fino ad arrivare alla dismissione della struttura (eventuale fine vita).

## **DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO ANALIZZATO**

L'oggetto dello studio è un edificio destinato ad ufficio, in fase di progettazione<sup>1</sup>, situato in Melfi (PZ). L'edificio ha una superficie di circa 100mq su due livelli ed è costituito da una struttura portante in cemento armato con solaio intermedio in struttura mista legno-calcestruzzo e tetto in legno. A questo edificio è annessa un'area attrezzata a verde urbano.

---

<sup>1</sup> Progettazione Architettonica, Strutturale, Energetica ed Ambientale condotta dalla società Eco Design srl



Figura 2 – Rendering dell'edificio

I criteri di progettazione applicati sono quelli previsti dai CAM Edilizia con il supporto della metodologia LCA<sup>2</sup> per la scelta delle soluzioni meno impattanti (confronto tra sub-sistemi tecnologici) e per la determinazione dell'impatto ambientale finale (scala di edificio).

Nello specifico l'edificio è stato progettato con un indice di prestazione energetica globale EP<sub>gl,n,ren</sub><sup>3</sup> corrispondente alla classe A3 ed una capacità termica areica interna periodica (Cip) pari a 40 kJ/m<sup>2</sup>K.

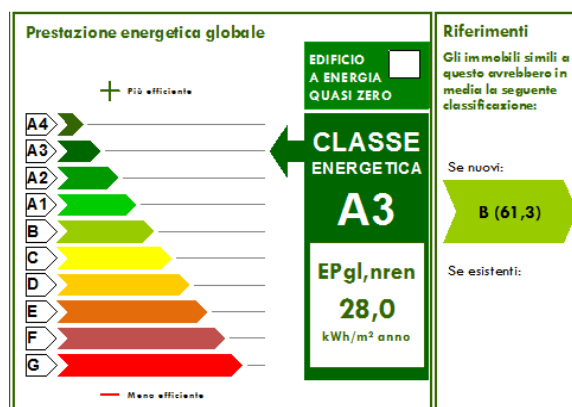


Figura 3 – Stralcio dell'APE con indicazione della prestazione energetica globale

L'edificio è coperto, dal punto di vista dell'approvvigionamento energetico, da un impianto fotovoltaico opportunamente dimensionato sulla base dell'autoconsumo. La raccolta delle acque piovane per uso irriguo e per gli scarichi sanitari, è attuata con impianti realizzati secondo le norme UNI/TS 11445 ed UNI EN 805. Sono previsti inoltre sistemi di riduzione di flusso, di controllo di portata, di controllo della temperatura dell'acqua, sistema di monitoraggio dei consumi idrici e l'impiego di apparecchi sanitari con cassette a doppio scarico aventi scarico completo di massimo 6 litri e scarico ridotto di massimo 3 litri.

## STRUTTURA DELLO STUDIO

Il primo passo fondamentale è quello di effettuare una scomposizione dell'unità edilizia in componenti strutturali e tecnologiche. La classificazione del sistema tecnologico utilizzata è quella proposta dalla norma UNI 8290 che scompone l'organismo edilizio in parti funzionali e le raggruppa in:

- Classi di unità tecnologiche
- Unità tecnologiche
- Classi di elementi tecnici.

Successivamente si passa a costruire l'inventario di tutti i componenti che costituiscono le stratificazioni degli elementi di involucro. Dei singoli materiali è necessario ricostruire la storia produttiva specifica, cioè analizzare il profilo ambientale attraverso la raccolta delle dichiarazioni EPD fornite dal produttore. I contenuti della dichiarazione vengono analizzati e verificati da un ente terzo indipendente che ne attesta la veridicità

<sup>2</sup> Il calcolo degli impatti ambientali dell'edificio (EN 15978) è stata eseguita con il software Namirial EPD Building

<sup>3</sup> Calcolo eseguito mediante il software Namirial Termo 4.0

e vengono quindi resi pubblici sul sito di un Program Operator<sup>4</sup> che contiene una banca dati con migliaia di prodotti già certificati. I contenuti dell'EPD dei prodotti da costruzione compilati secondo la norma UNI EN 15804 sono espressi in una forma che ne consente l'aggregazione (addizione), in modo da fornire un'informazione completa alla scala di edificio.

Terminata la fase di inventario occorre effettuare le verifiche richieste dai CAM Edilizia relativamente alle specifiche tecniche dei componenti edilizi ed in particolare le verifiche di disassemblabilità e di contenuto di materia recuperata o riciclata nei materiali utilizzati nell'edificio.

Il passo successivo è quello individuare l'elemento tecnico maggiormente impattante dal punto di vista ambientale al fine di proporre una soluzione tecnologica alternativa con migliori prestazioni. A partire dalle EPD definite nella precedente fase si conduce uno studio LCA dell'elemento tecnico individuando l'unità funzionale (prestazione quantificata di un sistema di prodotto da utilizzare come unità di riferimento [EN ISO 14040:2006]). I confini del sistema (cfr. figura n.4) includono le fasi di produzione (moduli A1-A3) e la fase di costruzione (solo trasporto dal sito di produzione al sito di intervento, modulo A4). Un'analisi di questo tipo è definita "dalla culla al cancello con opzioni (from cradle to gate with option)". Individuato l'elemento tecnico su cui intervenire si procede alla definizione delle alternative progettuali aventi le stesse prestazioni (ad esempio termiche) e dunque alla scelta della soluzione tecnologica meno impattante.

L'ultimo step dell'iter procedurale è l'analisi LCA dell'intero edificio individuando la durata di vita utile dello stesso, in relazione alla sua funzione. I confini del sistema includono le fasi di produzione (moduli A1-A3), la fase di costruzione (moduli A4-A5), la fase di utilizzo (moduli B1-B7) e la fase di fine vita (moduli C1-C4). Un'analisi di questo tipo è definita "dalla culla alla tomba (from cradle to grave)". In particolare si definiscono i flussi ambientali in entrata e in uscita in tutte le fasi del ciclo di vita di un edificio.

La complessità della metodologia proposta, legata all'iterattività delle fasi descritte precedentemente, può essere semplificata attraverso l'impiego di un opportuno strumento di calcolo<sup>5</sup>.

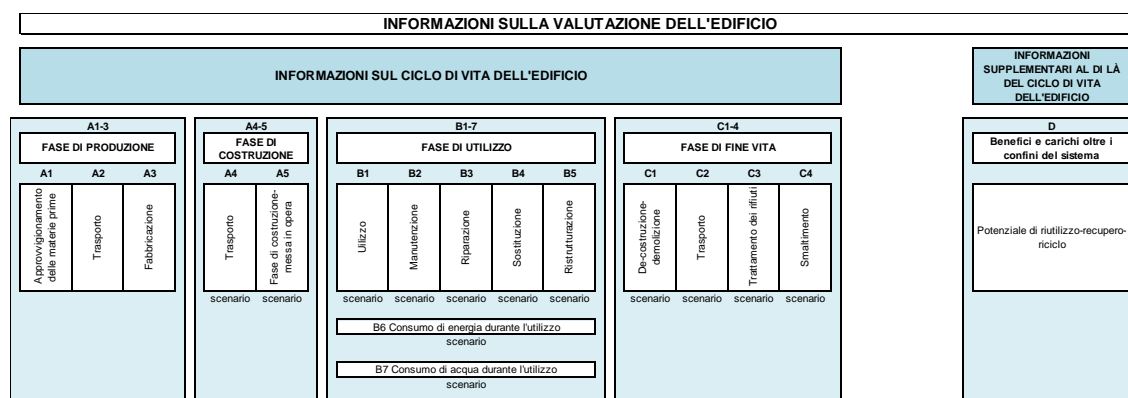


Figura 4 - Fasi del ciclo di vita e moduli informativi per la valutazione a scala di edificio

## FASE 1 – VERIFICA SPECIFICHE TECNICHE COMPONENTI EDILIZI - CAM EDILIZIA

Di seguito si riportano le verifiche condotte sui componenti edilizi selezionati per il progetto in esame. Il processo progettuale è iterativo e dunque il non soddisfacimento di una verifica comporterebbe la sostituzione di un componente o di una tecnologia e il ricontrollo delle verifiche.

Gli elementi componenti della struttura sono stati individuati in base alla classificazione del sistema tecnologico proposta dalla norma UNI 8290.

<sup>4</sup> Ad esempio il Program Operator italiano riconosciuto e autorizzato a pubblicare le EPD è EPDIItaly istituito per iniziativa di ICMQ, (EPD pubblicati sul sito ufficiale [www.epditaly.com](http://www.epditaly.com)). EPDIItaly ha siglato un accordo di mutuo riconoscimento con i program operator tedesco IBU (Institut Bauen und Umwelt), spagnolo Global EPD e infine francese PEP Ecopassport.

<sup>5</sup> Il calcolo degli impatti ambientali è stato eseguito con il software Namirial EPD Building

UNI 8290-1:1981 +A122:1983 - CLASSIFICAZIONE DEL SISTEMA TECNOLOGICO

Classi di unità tecnologiche	Unità tecnologiche	Classi di elementi tecnici	Sub-sistemi	Componenti	Componenti edilizi	Quantità	U.di M.				
Struttura portante	Struttura di fondazione	Strutture di fondazione dirette	Platea di fondazione		Calcestruzzo strutturale	62,75	mc				
					Calcestruzzo non strutturale	12,55	mc				
					Acciaio in barre B450C	3139,92	kg				
	Strutture di elevazione	Strutture di elevazione verticali		Pilastr		Calcestruzzo strutturale	8,46	mc			
						Acciaio in barre B450C	1356,66	kg			
		Strutture di elevazione orizzontali ed inclinate		Travi		Calcestruzzo strutturale	11,78	mc			
					Acciaio in barre B450C	2343,51	kg				
Chiusura	Chiusura verticale	Pareti perimetrali verticali	Tamponamenti verticali	Strato di irrigidimento	Mattoni forati 25x25x30	179,94	mq				
					Malta di cemento	2999,00	kg				
					Cartongesso	179,94	mq				
								Strato di isolamento termico e acustico	Isolanti di origine sintetica	179,94	mq
				Strato di finitura interna	Intonaco	179,94	mq				
					Rivestimenti ceramici collante	50,00	mq				
					Pitture	200,00	kg				
						179,94	mq				
				Strato di finitura esterna	Intonaco	179,94	mq				
					Rivestimenti ceramici collante	53,98	mq				
		215,93	kg								
		Infissi esterni verticali			Finestra	Finestra	24,84	mq			
	Chiusura	Chiusura orizzontali inferiori	Solai a terra	Pavimento		Rivestimenti ceramici	69,45	mq			
						collante	277,82	kg			
						massetto autolivellante	63,14	mq			
		Chiusura orizzontali superiori	Solai intermedio		Solaio		Travi in legno 10x20 GL24H	1,55	mc		
							Perlinato sp.3cm	1,39	mc		
							Calcestruzzo strutturale	2,78	mc		
							Acciaio in barre B450C	552,54	kg		
			Solai copertura	Copertura				Rivestimenti ceramici collante	50,92	mq	
massetto autolivellante								203,68	kg		
								46,29	mq		
					Travi in legno 10x20 GL24H	3,80	mc				
					Perlinato sp.3cm	3,45	mc				
					Isolanti di origine sintetica	115,00	mq				
					copertura in laterizio	115,00	mq				
Partizioni interne	Partizioni interne verticali	Pareti interne verticali	Divisori interni		Cartongesso	100,00	mq				
Partizioni esterne	Partizioni esterne orizzontali	Balconi e logge	Balcone		Calcestruzzo strutturale	2,83	mc				
					Acciaio in barre B450C	562,20	kg				

Figura 5 – Classificazione del sistema tecnologico analizzato

### Verifica Criteri comuni a tutti i componenti edilizi

Nella tabella seguente sono riportati tutti i componenti edilizi e tutte le quantità ad essi associati (estratti dai computi metrici). Per ogni componente è riportata l'indicazione del contenuto di materia prima seconda (desunta dall'EPD), l'indicazione di tutti i componenti edilizi e dei materiali che possono essere riciclati o riutilizzati, specificando il relativo peso rispetto al peso totale dei materiali utilizzati per l'edificio e la funzione del componente.

Componenti edilizi	quantità	peso [kg]	% materia prima seconda	peso materia prima seconda [kg]	riciclabili o riutilizzabili	funzione componente
Calcestruzzo strutturale	88,59 mc	212.624,16	15%	31.893,62	si	strutturale
Calcestruzzo non strutturale	12,55 mc	30.120,00	15%	4.518,00	si	non strutturale
Acciaio in barre B450C	7.954,83 kg	7.954,83	70%	5.568,38	si	strutturale
Mattoni forati 25x25x30	179,94 mq	46.424,52	10%	4.642,45	si	non strutturale
Malta di cemento	2.999,00 kg	2.999,00	54%	1.619,46	si	non strutturale
Cartongesso	279,94 mq	2.765,81	5%	138,29	si	non strutturale
Isolanti di origine sintetica	294,94 mq	884,82	10%	88,48	si	non strutturale
Intonaco	359,88 mq	11.876,04	15%	1.781,41	si	non strutturale
massetto autolivellante	109,43 mq	4.596,06	54%	2.481,87	si	non strutturale
copertura in laterizio	115,00 mq	8.280,00	15%	1.242,00	si	non strutturale
Travi in legno 10x20 GL24H	5,35 mc	2.300,50	0%	-	si	strutturale
Perlinato sp.3cm	4,84 mc	2.080,64	0%	-	si	strutturale
Rivestimenti ceramici	224,36 mq	4.150,57	15%	622,59	no	non strutturale
collante	897,42 kg	897,42	10%	89,74	no	non strutturale
Pitture	179,94 mq	499,69	0%	-	no	non strutturale
Finestra	24,84 mq	770,04	30%	231,01	si	non strutturale
	<b>totale</b>	<b>339.224,10</b>		<b>totale</b>	<b>54.917,31</b>	

Figura 6

La prima verifica richiesta riguarda la disassemblabilità dei componenti:

*“almeno il 50% peso/peso dei componenti edilizi e degli elementi prefabbricati, escludendo gli impianti, deve essere sottoponibile, a fine vita, a demolizione selettiva ed essere riciclabile o riutilizzabile. Di tale percentuale, almeno il 15% deve essere costituito da materiali non strutturali”;*

a. % peso totale materiali riciclabili o riutilizzabili	307.304,38 kg
b. % peso totale materiali non strutturali riciclabili o riutilizzabili	82.344,25 kg
c. % peso totale dei componenti edilizi	339.224,10 kg

Verifica 1: a/c >50%	90,59% ✓
Verifica 2: b/c >15%	24,27% ✓

La seconda verifica riguarda il contenuto di materia recuperata o riciclata nei materiali utilizzati per l'edificio:

*“il contenuto di materia recuperata o riciclata nei materiali utilizzati per l'edificio, anche considerando diverse percentuali per ogni materiale, deve essere pari ad almeno il 15% in peso valutato sul totale di tutti i materiali utilizzati. Di tale percentuale, almeno il 5% deve essere costituita da materiali non strutturali”.*

a. % peso totale materiali con contenuto di materia recuperata o riciclata	54.917,31 kg
b. % peso totale materiali non strutturali con contenuto di materia recuperata o riciclata	17.224,29 kg
c. % peso totale dei componenti edilizi	339.224,10 kg

Verifica 1: a/c >15%	16,19% ✓
Verifica 2: b/c >5%	5,08% ✓

### Verifica Criteri specifici per i componenti edilizi

Di seguito si riporta l'elenco dei componenti edilizi utilizzati per il progetto con indicazione del contenuto minimo di materiale riciclato richiesto ed effettivamente previsto.

Le informazioni sul profilo ambientale dei prodotti selezionati e il contenuto di materia prima seconda dei vari componenti edilizi sono desunte dalle dichiarazioni ambientali di prodotto (EPD).

Componenti edilizi	riferimento decreto 11 gennaio 2017	% materia prima seconda minima richiesta [%M <sub>psr</sub> ]	% materia prima seconda prevista [%M <sub>psp</sub> ]	%M <sub>psr</sub> > %M <sub>ppr</sub>
Calcestruzzo strutturale	p.to 2.4.2.1	5%	15%	✓
Calcestruzzo non strutturale	p.to 2.4.2.1	5%	15%	✓
Acciaio in barre B450C	p.to 2.4.2.4	70%	70%	✓
Mattoni forati 25x25x30	p.to 2.4.2.2	10%	10%	✓
Malta di cemento	p.to 2.4.2.1	5%	54%	✓
Cartongesso	p.to 2.4.2.7	5%	5%	✓
Isolanti di origine sintetica	p.to 2.4.2.8	dal 10% al 60%	10%	✓
Intonaci	p.to 2.4.2.1	5%	15%	✓
massetto autolivellante	p.to 2.4.2.1	5%	54%	✓
copertura in laterizio	p.to 2.4.2.2	5%	15%	✓
Travi in legno 10x20 GL24H	p.to 2.4.2.3	-	-	N/A*
Perlinato sp.3cm	p.to 2.4.2.3	-	-	N/A*
Rivestimenti ceramici	p.to 2.4.2.9	-	15%	N/A*
collante	p.to 2.4.2.9	-	10%	N/A*
Pitture	p.to 2.4.2.10	-	-	N/A*
Finestra	p.to 2.4.2.5	30%	30%	✓

Figura 7

N/A\* Verifica non applicabile. Il progettista deve solo prescrivere che in fase di approvvigionamento l'appaltatore dovrà accertarsi che tali materiali siano dotati e conformi ai criteri ecologici e prestazionali previsti dalla Decisione UE relative all'assegnazione del marchio comunitario di qualità ecologica (ad esempio rivolti ai rivestimenti del suolo in legno, ai rivestimenti del suolo di materie tessili, ai prodotti vernicianti per esterni e per interni etc.).

## FASE 2 – APPLICAZIONE DELL'ANALISI LCA ALLA SCALA DELL'ELEMENTO TECNICO

Dall'analisi degli impatti ambientali di tutti gli elementi tecnici costituenti l'edificio si è individuato come maggiormente impattante l'unità tecnologica "chiusura verticale" - classe di elementi tecnici "pareti perimetrali verticali". Si riportano di seguito le soluzioni tecnologiche alternative effettuando una comparazione tra gli impatti ambientali generati al fine di selezionare la soluzione più performante.

### Proposta di soluzione per la riduzione dell'impatto ambientale delle chiusure verticali

Si esegue un'analisi comparativa tra 1 mq di parete realizzata introducendo nella stratificazione funzionale diversi materiali isolanti, con l'obiettivo di dedurre quale sia il meno impattante da impiegare in un'eventuale revisione del progetto. Il confronto viene svolto considerando la medesima prestazione termica (circa 0,255W/m<sup>2</sup>K±0,005), ottenuta variando gli spessori dei materiali isolanti compatibilmente con il proprio coefficiente di trasmissione, e considerando nell'analisi l'incidenza ambientale del trasporto al cantiere (distanza tra il sito di intervento e quello di produzione del componente edilizio). Di seguito si riportano i calcoli della trasmittanza complessiva degli elementi tecnici analizzati aventi come isolamento nel primo caso l'EPS, nel secondo la lana di roccia e nel terzo fibre di vetro. Il calcolo della trasmittanza e l'analisi comparativa degli indicatori di impatto delle tre soluzioni tecniche sono state effettuate mediante l'ausilio di opportuni software di calcolo<sup>6</sup>.

### Definizione dell'obiettivo dello studio

L'obiettivo dell'analisi è la scelta dell'isolante termico, avente pari prestazione termica, a minor impatto ambientale.

### Campo di applicazione dello studio

Viene assunta come unità funzionale 1mq di parete perimetrale (stratigrafia corrente) con un valore di trasmittanza termica equivalente a 0,255W/m<sup>2</sup>K±0,005 (tale valore corrisponde alla prestazione attesa).

<sup>6</sup> Il calcolo della trasmittanza eseguito mediante il software Namirial Termo 4.0 mentre il calcolo degli impatti ambientali è stato eseguito con il software Namirial EPD Building

I confini del sistema sono dalla culla al cancello con opzioni in quanto comprendono oltre alla fase di produzione anche il trasporto al sito di intervento (fase di costruzione).

Per quanto concerne la qualità dei dati sono stati utilizzati, per i processi relativi alle energie e ai trasporti i dati derivanti dal database ELCD v.3.2 (European Life Cycle Database – Joint Research Centre).

### Analisi di Inventario – LCI

Per quanto riguarda la fase di produzione i dati dell'inventario sono stati ottenuti dal computo metrico per ogni componente successivamente assemblato.

Per la fase di costruzione ed in particolare per la sotto fase di trasporto (modulo A4) in cantiere sono state determinate tutte le informazioni sullo scenario di trasporto impiegato utili alla definizione dello scenario a scala dell'elemento tecnico.

### Valutazione di Impatto Ambientale (LCIA)

La valutazione d'impatto è stata condotta per le categorie di impatto seguenti, utilizzando, in conformità alle norme UNI EN 15804 e EN 15978, fattori di caratterizzazione definiti dall'European Reference Life Cycle database (ELCD) ed elaborati dalla Commissione Europea - DG Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability (CML-IA ottobre 2012):

- GWP: Potenziale di riscaldamento globale (kg CO<sub>2</sub>eq);
- ODP: Potenziale di riduzione dello strato di ozono (kg CFC-11 eq);
- AP: Potenziale di acidificazione del suolo e dell'acqua (kg SO<sub>2</sub> eq);
- EP: Potenziale di eutrofizzazione (kg PO<sub>4</sub>--- eq);
- POCP: Potenziale formazione di ozono fotochimico (kg ethylene eq);
- ADP-elements: Potenziale esaurimento delle risorse abiotiche elementi (kg antimony eq);
- ADP-fossil fuels: Potenziale esaurimento delle risorse abiotiche fossili (MJ).

In questa analisi non vengono riportati i parametri di consumo di risorse e le altre informazioni ambientali descrittive delle diverse categorie di rifiuto e dei flussi in uscita previste dalla UNI EN 15804.

### LCIA - Soluzione Tecnologica A

Tale soluzione prevede l'adozione dell'isolamento esterno con pannelli di polistirene espanso sinterizzato (EPS) di spessore 10cm.

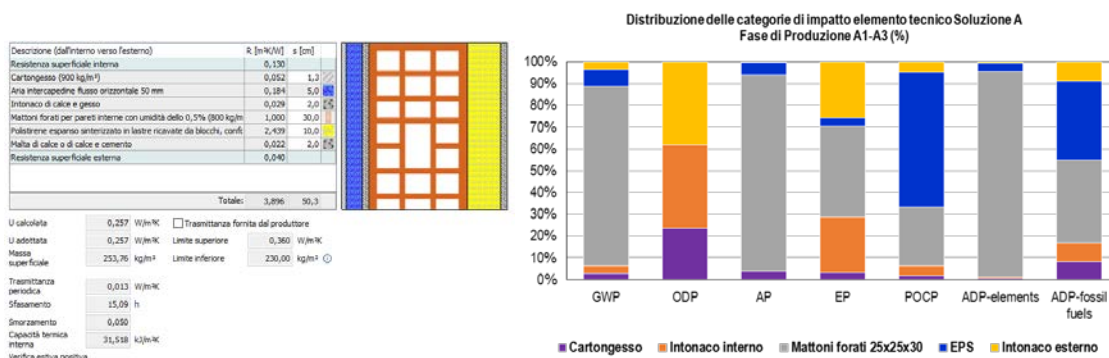


Figura 8 – Performance ambientali relativamente alla soluzione A

### LCIA - Soluzione Tecnologica B

Tale soluzione prevede l'adozione dell'isolamento esterno con pannelli di lana di roccia di spessore 10cm.

Di seguito si riporta la valutazione d'impatto dell'elemento tecnico condotta per le seguenti categorie di impatto



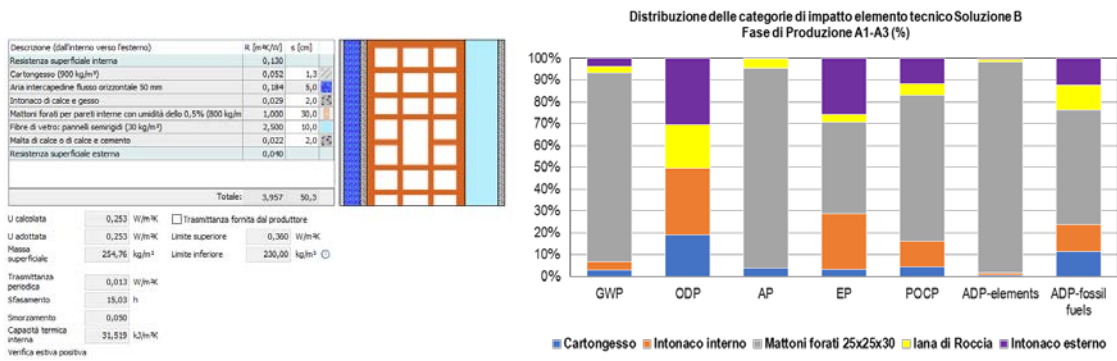


Figura 9 – Performance ambientali relativamente alla soluzione B

### LCIA - Soluzione Tecnologica C

Tale soluzione prevede l'adozione dell'isolamento esterno con pannelli di lana di vetro di spessore 11cm.

Di seguito si riporta la valutazione d'impatto dell'elemento tecnico condotta per le seguenti categorie di impatto

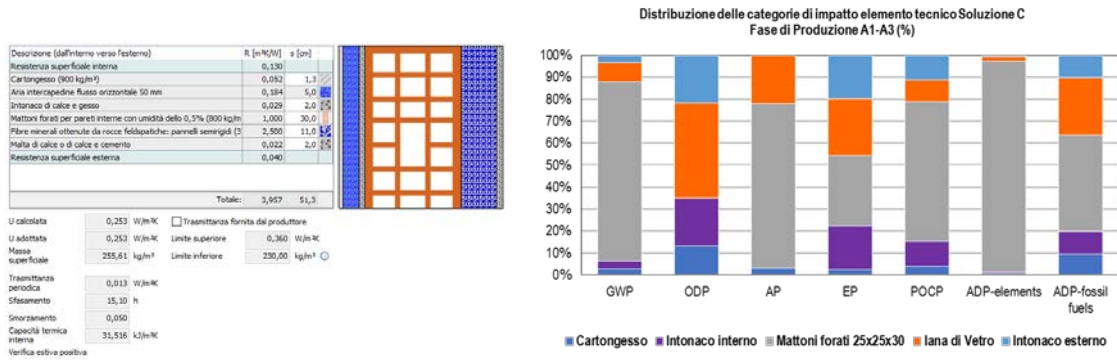


Figura 10 – Performance ambientali relativamente alla soluzione C

### Valutazione Ambientale e interpretazione dei risultati

Analizzando i profili ambientali delle tre soluzioni forniti dal software di calcolo, elaborati a partire dalle dichiarazioni ambientali di prodotto presenti sul mercato, si evince che per la sola fase di produzione la soluzione B risulti essere, per la maggior parte degli indicatori, quella che minimizza l'impatto ambientale.

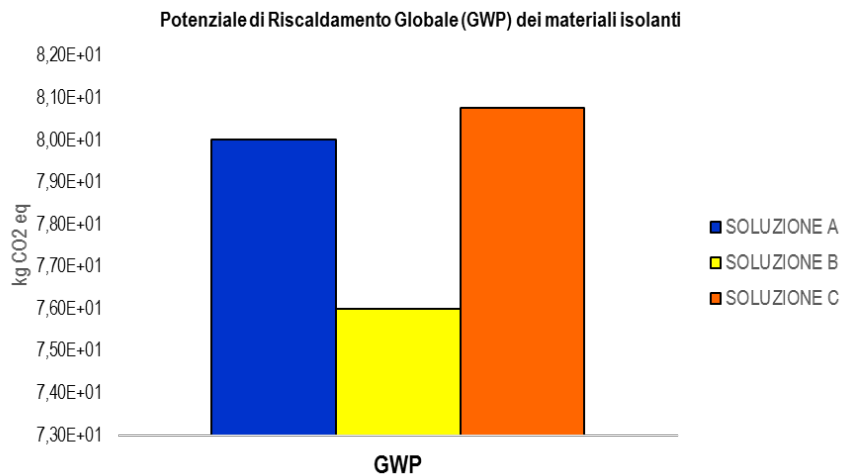


Figura 11 –Potenziale di riscaldamento globale (GWP) relativamente alle tre soluzioni

Considerando la fase di costruzione dei soli materiali isolanti l'impatto ambientale generato è riportato nella tabella di seguito:

indicatori di impatto ambientale	unità di misura	Fase di Produzione A1-A3			Fase di Costruzione A4		
		soluzione			soluzione		
		A	B	C	A	B	C
GWP	kg CO2 eq.	8,00E+01	7,60E+01	8,08E+01	1,32E+01	2,08E+01	4,50E+01
ODP	kg CFC-11 eq.	5,94E-07	7,41E-07	1,05E-06	2,67E-08	4,20E-08	9,10E-08
AP	kg SO2 eq.	2,54E-01	2,50E-01	3,06E-01	5,25E-02	8,26E-02	1,79E-01
EP	kg PO4--- eq.	3,58E-02	3,57E-02	4,62E-02	1,38E-02	2,17E-02	4,70E-02
POCP	kg ethylene eq.	5,17E-02	2,07E-02	2,18E-02	4,01E-03	6,31E-03	1,37E-02
ADP (elementi)	kg antimony eq.	8,00E-05	7,77E-05	7,84E-05	1,31E-03	2,06E-03	4,47E-03
ADP (fossili)	MJ	4,79E+02	3,43E+02	4,10E+02	9,31E+00	1,15E+02	1,32E+02

Figura 12 – Riepilogo degli indicatori di impatto per i moduli A1-A2-A3 e B4

A questo punto è possibile attraverso il diagramma di valutazione delle performance ambientali in percentuale sulla somma dei singoli impatti comparare le tre soluzioni.

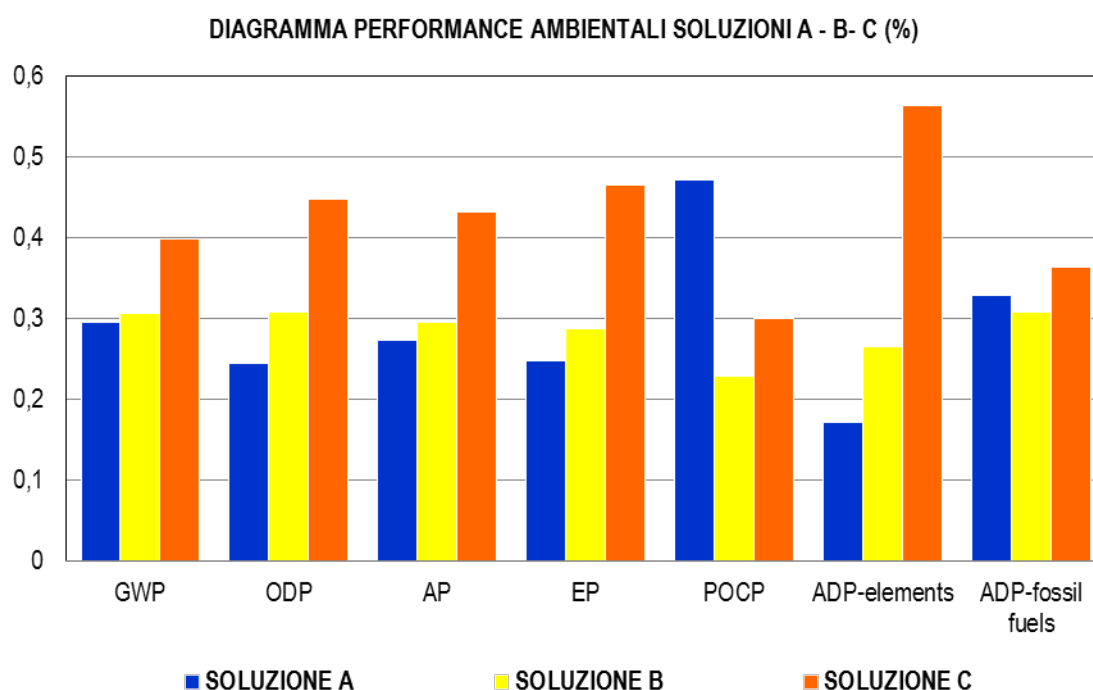


Figura 13 – Diagramma di confronto delle performance ambientali relativo alle tre soluzioni

Dall'analisi dei risultati della valutazione è possibile affermare che la soluzione A (EPS) risulta essere la più ecocompatibile, sulla base dei prodotti disponibili sul mercato dotati di EPD e per le caratteristiche del sito di intervento (distanza dal sito di produzione del pannello al sito di intervento circa 100km), il meno impattante dal punto di vista ambientale (possiede 5 indicatori su 7 con minor valore).

Nella valutazione ha avuto notevole incidenza la fase di costruzione e nello specifico l'approvvigionamento dei pannelli nelle soluzioni B e C (rispettivamente 375 e 590km dal sito di intervento). Essendo la soluzione selezionata quella prevista nel progetto iniziale le verifiche relative ai CAM Edilizia risultano soddisfatte.

Occorre sottolineare che nel confine del sistema la fase di messa in opera (modulo A5) è stata omessa in quanto l'applicazione del pannello è la stessa per le tre soluzioni individuate.

### FASE 3 – APPLICAZIONE DELL'ANALISI LCA ALLA SCALA DELL' EDIFICIO

In questa fase verranno determinati gli impatti ambientali complessivi dell'intera vita dell'edificio.

#### Definizione dell'obiettivo dello studio

L'obiettivo dell'analisi è la valutazione dell'impatto ambientale generato dall'edificio durante il suo intero ciclo di vita. Il campo di indagine è esteso anche all'analisi dei consumi energetici e dei componenti edilizi impiegati per la manutenzione. Lo scopo è quello di individuare le criticità ambientali legate alle varie fasi del ciclo di vita.

### **Campo di applicazione dello studio**

L'unità funzionale considerata è l'intero edificio descritto in precedenza e valutato durante la sua vita utile ipotizzata di 50 anni.

Il sistema analizzato è l'intero edificio e viene a sua volta approfondito in sottosistemi.

I confini del sistema comprendono le fasi di produzione, costruzione, di utilizzo e di fine vita. Non sono considerate le apparecchiature costituenti gli impianti elettrico, idrico e termico.

### **Analisi di Inventario – LCI**

Per la fase di produzione è stata già definita nella fase precedente.

Per la fase di costruzione ed in particolare per la sotto fase di trasporto (modulo A4) in cantiere sono state determinate tutte le informazioni sullo scenario di trasporto impiegato utili alla definizione dello scenario a scala di edificio, come specificato nel prospetto 7 della norma UNI EN 15804.

Mentre per la sotto fase di messa in opera (modulo A5), sono state fornite informazioni sulla installazione del prodotto e lavorazioni propedeutiche (scavi e preparazione cantiere) utili alla definizione dello scenario di messa in opera a scala di valutazione dell'edificio, come specificato nel prospetto 8 della norma UNI EN 15804.

Nella fase di utilizzo (modulo B1-B7) si sono determinati i cicli manutentivi dei componenti edilizi e si è determinato il consumo di energia<sup>7</sup> e di acqua (stima in funzione delle attività svolte) coerentemente con quanto definito nel prospetto 9 e 11 della norma UNI EN 15804.

Infine per la fase di fine vita si sono considerati i consumi legati alla fase di demolizione/disassemblaggio, al trasporto a discarico e al processo di recupero coerentemente con quanto definito nel prospetto 12 della norma UNI EN 15804.

Per quanto concerne la qualità dei dati per i processi legati all'energia e ai trasporti è stata utilizzata la banca dati ELCD v. 3.2 implementata all'interno del software<sup>8</sup> usato per il calcolo.

### **Valutazione di Impatto Ambientale (LCIA)**

La valutazione d'impatto è stata condotta per le categorie di impatto seguenti, utilizzando, in conformità alle norme UNI EN 15804 e EN 15978, fattori di caratterizzazione definiti dall'European Reference Life Cycle database (ELCD) ed elaborati dalla Commissione Europea - DG Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability (CML-IA ottobre 2012):

GWP: Potenziale di riscaldamento globale (kg CO<sub>2</sub>eq);  
ODP: Potenziale di riduzione dello strato di ozono (kg CFC-11 eq);  
AP: Potenziale di acidificazione del suolo e dell'acqua (kg SO<sub>2</sub> eq);  
EP: Potenziale di eutrofizzazione (kg PO<sub>4</sub>--- eq);  
POCP: Potenziale formazione di ozono fotochimico (kg ethylene eq);  
ADP-elements: Potenziale esaurimento delle risorse abiotiche elementi (kg antimony eq);  
ADP-fossil fuels: Potenziale esaurimento delle risorse abiotiche fossili (MJ).

In questa analisi non vengono riportati i parametri di consumo di risorse e le altre informazioni ambientali descrittive delle diverse categorie di rifiuto e dei flussi in uscita previste dalla UNI EN 15804.

---

<sup>7</sup> Prestazione energetica calcolata con il software Namirial Termo 4.0

<sup>8</sup> Software Namirial EPD Building

## LCIA - Fase di produzione

Di seguito si riportano i profili ambientali dei componenti edilizi (fornite dai produttori) impiegati per il caso in esame. Tali profili ambientali sono estratti dalle dichiarazioni ambientali di prodotto di Tipo III (EPD) conformi alla norma UNI EN 15804 e alla norma ISO 14025 e sono relativi alla sola fase di produzione (cradle to gate) moduli informativi da A1 a A3. I contenuti della EPD, così come previsto dalla norma UNI EN 15804, sono espressi in una forma che ne consente la aggregazione (addizione) in modo da fornire una informazione completa per l'utilizzo nell'edificio.

Componenti edilizi	unità dichiarata	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADP-elements	ADP-fossil fuels
Calcestruzzo strutturale	1,00 mc	1,94E+02	1,35E-05	5,66E-01	1,05E-01	3,30E-02	1,20E-04	1,38E+03
Calcestruzzo non strutturale	1,00 mc	2,41E+01	1,68E-06	7,02E-02	1,30E-02	4,09E-03	1,49E-05	1,71E+02
Acciaio in barre B450C	1.000,00 kg	5,72E+02	1,22E-05	2,10E+00	2,20E+00	3,10E+00	1,19E-04	7,16E+03
Mattoni forati 25x25x30	1.000,00 kg	2,56E+02	3,41E-09	8,88E-01	5,78E-02	5,37E-02	2,92E-04	6,98E+02
Malta di cemento	1.000,00 kg	7,21E+02	5,70E-05	2,02E+00	5,00E-01	1,44E-01	3,77E-04	7,03E+03
Cartongesso	1,00 mq	2,20E+00	1,40E-07	9,10E-03	1,10E-03	8,70E-04	4,40E-07	3,90E+01
Isolanti di origine sintetica	1,00 mq	1,07E+01	6,29E-03	3,78E-03	3,37E-02	3,06E-02	1,23E-06	2,20E+02
Intonaci	1,00 kg	8,60E-02	6,86E-09	1,45E-05	2,78E-04	7,38E-05	1,80E-08	1,29E+00
massetto autolivellante	1,00 mq	7,30E+00	1,90E-06	4,00E-02	3,10E-03	2,50E-03	1,10E-06	7,70E+01
copertura in laterizio	1.000,00 kg	2,37E+02	0,00E+00	5,10E-01	1,30E-01	2,10E-01	8,00E-09	1,55E+02
Travi in legno 10x20 GL24H	1,00 mc	-6,02E+02	3,28E-05	6,72E-01	1,33E-01	1,35E-01	6,16E-04	2,28E+03
Perlinato sp.3cm	1,00 mc	-6,02E+02	3,28E-05	6,72E-01	1,33E-01	1,35E-01	6,16E-04	2,28E+03
Rivestimenti ceramici	1,00 mq	1,05E+01	6,10E-10	2,47E-02	2,75E-03	2,37E-03	9,19E-05	1,57E+02
collante	1,00 kg	4,81E-01	1,39E-07	4,18E-04	1,48E-04	2,32E-04	1,81E-08	5,72E+00
Pitture	1,00 kg	4,40E-01	3,00E-02	1,19E+00	3,90E-01	9,40E-01	4,58E-07	4,47E+01
Finestra	1,00 kg	7,66E+00	5,60E-01	3,12E+01	1,86E+00	1,88E+00	5,02E+00	8,50E+01

Figura 14 – Indicatori di impatto ambientale dei prodotti da costruzione utilizzati e riferiti all'unità dichiarata ricavati dalle dichiarazioni ambientali di prodotto EPD del produttore

A partire dall'analisi di inventario e dunque dalla quantità effettivamente computate è possibile giungere alla determinazione degli indicatori di impatto complessivi relativi a questa fase:

Componenti edilizi	quantità	unità dichiarata	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADP-elements	ADP-fossil fuels
Calcestruzzo strutturale	101,14 mc	1,00 mc	1,96E+04	1,37E-03	5,72E+01	1,06E+01	3,34E+00	1,21E-02	1,40E+05
Calcestruzzo non strutturale	12,55 mc	1,00 mc	3,02E+02	2,10E-05	8,81E-01	1,64E-01	5,14E-02	1,87E-04	2,15E+03
Acciaio in barre B450C	7.954,83 kg	1.000,00 kg	4,55E+03	9,70E-05	1,67E+01	1,75E+01	2,47E+01	9,44E-04	5,70E+04
Mattoni forati 25x25x30	179,94 mq	1.000,00 kg	1,19E+04	1,58E-07	4,12E+01	2,68E+00	2,49E+00	1,36E-02	3,24E+04
Malta di cemento	2.999,00 kg	1.000,00 kg	2,16E+03	1,71E-04	6,06E+00	1,50E+00	4,32E-01	1,13E-03	2,11E+04
Cartongesso	279,94 mq	1,00 mq	6,16E+02	3,92E-05	2,55E+00	3,08E-01	2,44E-01	1,23E-04	1,09E+04
Isolanti di origine sintetica	294,94 mq	1,00 mq	1,83E+03	1,16E-07	4,42E+00	4,19E-01	9,47E+00	8,85E-04	5,14E+04
Intonaco	359,88 mq	1,00 kg	1,02E+03	8,15E-05	1,72E-01	3,30E+00	8,76E-01	2,14E-04	1,53E+04
massetto autolivellante	109,43 mq	1,00 mq	7,99E+02	2,08E-04	4,38E+00	3,39E-01	2,74E-01	1,20E-04	8,43E+03
copertura in laterizio	115,00 mq	1.000,00 kg	1,97E+03	0,00E+00	4,22E+00	1,08E+00	1,74E+00	6,62E-08	1,28E+03
Travi in legno 10x20 GL24H	5,35 mc	1,00 mc	-3,22E+03	1,75E-04	3,60E+00	7,11E-01	7,23E-01	3,30E-03	1,22E+04
Perlinato sp.3cm	4,84 mc	1,00 mc	-2,91E+03	1,59E-04	3,25E+00	6,43E-01	6,54E-01	2,98E-03	1,10E+04
Rivestimenti ceramici	224,36 mq	1,00 mq	2,36E+03	1,37E-07	5,54E+00	6,17E-01	5,32E-01	2,06E-02	3,52E+04
collante	897,42 kg	1,00 kg	4,32E+02	1,25E-04	3,75E-01	1,33E-01	2,08E-01	1,62E-05	5,13E+03
Pitture	179,94 mq	1,00 kg	6,00E+02	2,15E-07	6,25E+00	2,02E-01	4,00E-01	9,39E-04	1,12E+04
Finestra	24,84 mq	1,00 kg	1,06E+03	1,90E-05	5,10E+00	1,17E+00	3,25E-01	6,00E-03	1,35E+04

Figura 15 – Indicatori di impatto ambientale dei prodotti da costruzione utilizzati e riferiti all'unità funzionale (edificio)

Di seguito si riporta di diagramma delle distribuzioni delle categorie di impatto relativamente alla fase di produzione.

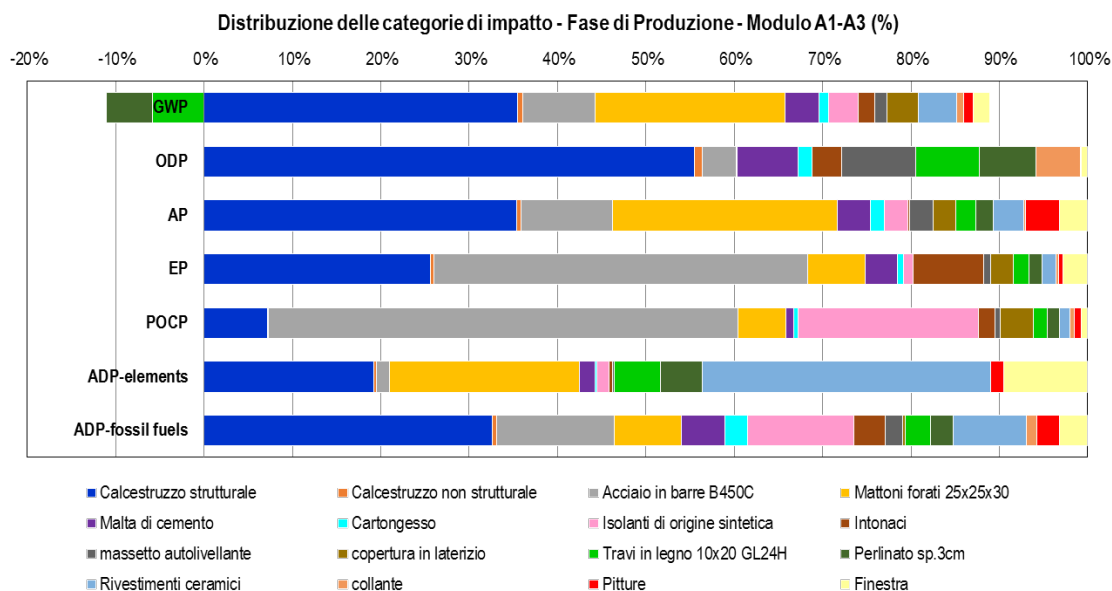


Figura 16 - Diagramma delle distribuzioni degli indicatori di impatto ambientale relativamente ai prodotti da costruzione impiegati (fase di produzione)

### Fase di costruzione

Di seguito si riportano gli indicatori di impatto (Modulo A4) relativo alla fase di approvvigionamento in cantiere dei materiali:

Componenti edilizi	quantità	distanza dal sito di intervento al sito di produzione del componente edilizio	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADP-elements	ADP-fossil fuels
Calcestruzzo strutturale	101,14 mc	10 km	6,45E+03	5,68E-04	1,65E+01	4,40E+00	2,16E+00	2,77E+01	5,47E+01
Calcestruzzo non strutturale	12,55 mc	10 km	8,00E+02	7,05E-05	2,05E+00	5,46E-01	2,68E-01	3,44E+00	6,79E+00
Acciaio in barre B450C	7.954,83 kg	60km	2,43E+00	1,87E-05	6,69E-01	1,78E-01	8,03E-02	9,11E-01	2,74E+01
Mattoni forati 25x25x30	179,94 mq	75km	1,46E+03	1,09E-04	4,09E+00	1,09E+00	4,83E-01	5,32E+00	5,19E+01
Malta di cemento	2.999,00 kg	10km	4,06E+00	8,24E-09	1,62E-02	4,27E-03	1,24E-03	4,04E-04	2,44E+01
Cartongesso	279,94 mq	60km	2,25E+01	4,56E-08	8,95E-02	2,36E-02	6,84E-03	2,24E-03	2,72E+01
Isolanti di origine sintetica	294,94 mq	110km	1,32E+01	2,67E-08	5,25E-02	1,38E-02	4,01E-03	1,31E-03	9,31E+00
Intonaco	359,88 mq	10km	1,61E+01	3,26E-08	6,41E-02	1,69E-02	4,90E-03	1,60E-03	1,16E+01
massetto autolivellante	109,43 mq	10km	6,22E+00	1,26E-08	2,48E-02	6,54E-03	1,90E-03	6,19E-04	9,62E+00
copertura in laterizio	115,00 mq	75km	8,40E+01	1,71E-07	3,35E-01	8,83E-02	2,56E-02	8,37E-03	6,24E+01
Travi in legno 10x20 GL24H	5,35 mc	955km	4,14E+03	1,15E-04	1,51E+01	4,00E+00	1,31E+00	5,59E+00	3,26E+01
Perlinato sp.3cm	4,84 mc	955km	3,74E+03	1,04E-04	1,37E+01	3,62E+00	1,18E+00	5,06E+00	2,95E+01
Rivestimenti ceramici	224,36 mq	670km	3,76E+02	7,64E-07	1,50E+00	3,96E-01	1,15E-01	3,75E-02	4,45E+01
collante	897,42 kg	10km	1,21E+00	2,47E-09	4,84E-03	1,28E-03	3,70E-04	1,21E-04	4,12E+00
Pitture	179,94 mq	760km	1,48E+02	3,01E-07	5,90E-01	1,56E-01	4,51E-02	1,47E-02	4,57E+01
Finestra	24,84 mq	30km	2,03E+00	4,12E-09	8,09E-03	2,13E-03	6,19E-04	2,02E-04	2,20E+00

Figura 17 - Profili ambientali dei prodotti da costruzione relativamente alla sola fase di approvvigionamento

Si riporta di seguito il diagramma con la distribuzione degli impatti relativamente alla fase di trasporto e di messa in opera (moduli A4 e A5).

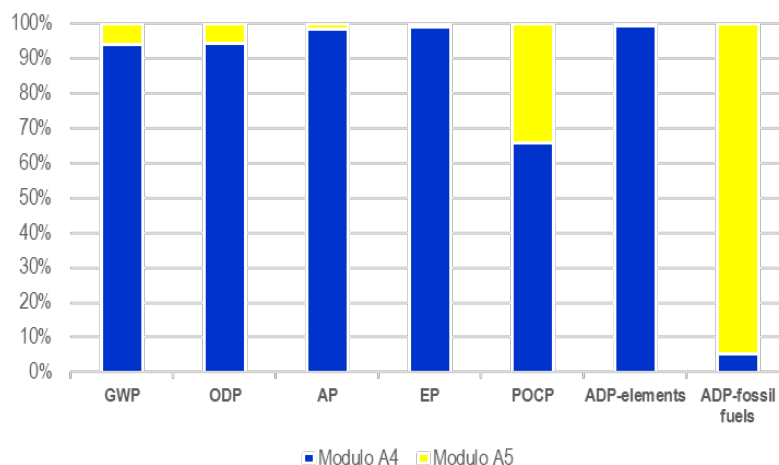


Figura 18 - Diagramma di confronto degli indicatori di impatto ambientale relativamente alla fase di costruzione

## Fase di utilizzo

Di seguito si riportano gli indicatori di impatto (Modulo B2) relativo alla fase di manutenzione dei materiali. In questa fase è prevista oltre all'approvvigionamento dei nuovi materiali anche la demolizione o il disassemblaggio dell'esistente con il relativo fine vita.

Componenti edilizi	Periodicità di manutenzione	numero sostituzioni	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADP-elements	ADP-fossil fuels
Calcestruzzo strutturale	50 anni	1,0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Calcestruzzo non strutturale	50 anni	1,0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Acciaio in barre B450C	50 anni	1,0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Mattoni forati 25x25x30	50 anni	1,0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Malta di cemento	50 anni	1,0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cartongesso	10 anni	5,0	2,46E+03	1,57E-04	1,02E+01	1,23E+00	9,74E-01	4,93E-04	4,37E+04
Isolanti di origine sintetica	25 anni	2,0	1,83E+03	1,16E-07	4,42E+00	4,19E-01	9,47E+00	8,85E-04	5,14E+04
Infonaco	25 anni	2,0	1,02E+03	8,15E-05	1,72E-01	3,30E+00	8,76E-01	2,14E-04	1,53E+04
massetto autolivellante	25 anni	2,0	7,99E+02	2,08E-04	4,38E+00	3,39E-01	2,74E-01	1,20E-04	8,43E+03
copertura in laterizio	25 anni	2,0	1,97E+03	0,00E+00	4,22E+00	1,08E+00	1,74E+00	6,62E-08	1,28E+03
Travi in legno 10x20 GL24H	50 anni	1,0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Perlinato sp.3cm	50 anni	1,0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rivestimenti ceramici	25 anni	2,0	2,36E+03	1,37E-07	5,54E+00	6,17E-01	5,32E-01	2,06E-02	3,52E+04
collante	25 anni	2,0	4,32E+02	1,25E-04	3,75E-01	1,33E-01	2,08E-01	1,62E-05	5,13E+03
Pitture	10 anni	5,0	7,33E+03	4,62E-07	1,77E+01	1,68E+00	3,79E+01	3,54E-03	2,06E+05
Finestra	25 anni	2,0	1,06E+03	1,90E-05	5,10E+00	1,17E+00	3,25E-01	6,00E-03	1,35E+04

Figura 19 – Indicatori di impatto ambientale relativi ai prodotti da mantenere nel corso della vita utile (50 anni)

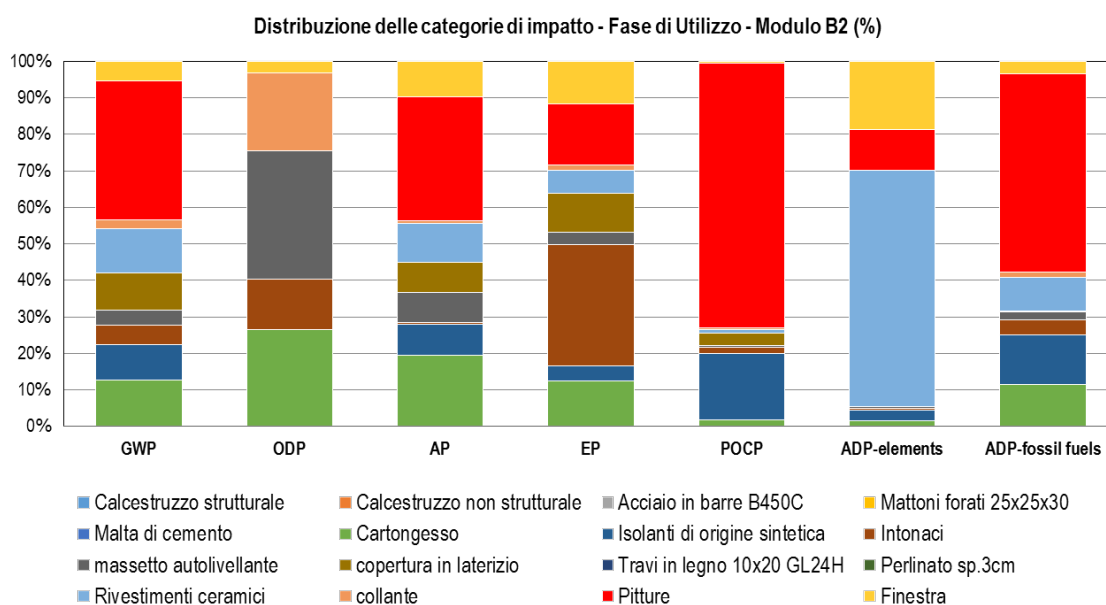


Figura 20 - Diagramma di confronto degli indicatori di impatto relativamente ai prodotti da costruzione impiegati (fase di utilizzo - Modulo B2)

Infine il fabbisogno annuale globale di energia primaria (EP<sub>gl,tot</sub>) desunto dal software di calcolo è pari 2.951 kWh. Nel calcolo dei consumi è stato determinato anche il consumo per il fabbisogno annuo di energia per l'illuminazione per edifici ad uso ufficio ed il fabbisogno di acqua annuale (Modulo B6).

## Fase di fine vita

Di seguito si riporta il riepilogo degli indicatori relativamente ai moduli che compongono tale fase.

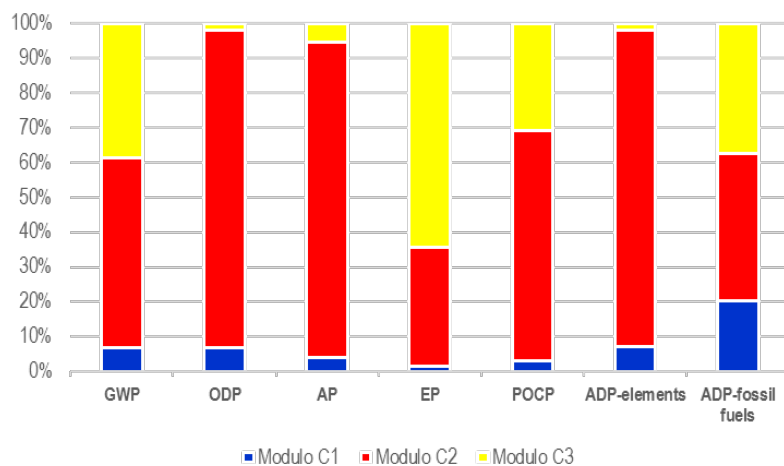


Figura 21 - Diagramma di confronto degli indicatori di impatto relativamente alla fase di fine vita

Infine gli indicatori dichiarati dei singoli moduli informativi del ciclo di vita dell'intero edificio da A1 a A5, da B1 a B7, da C1 a C4, conformemente alla norma UNI EN 15804 non sono stati sommati in alcuna combinazione. Vale una sola eccezione per i moduli informativi A1, A2, A3 che possono essere aggregati.

indicatori di impatto ambientale	unità	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4
<b>GWP</b>	kg CO2 eq.	4,30E+04	1,73E+04	1,11E+03	0	1,93E+04	0	0	0	2,13E+05	3,38E+00	1,15E+03	9,24E+03	6,54E+03	1,31E+03
<b>ODP</b>	kg CFC-11 eq.	2,46E-03	9,87E-04	5,96E-05	0	5,91E-04	0	0	0	1,17E-02	4,27E-08	6,05E-05	7,94E-04	1,59E-05	1,91E-06
<b>AP</b>	kg PO4--- eq.	1,62E+02	5,47E+01	9,69E-01	0	5,21E+01	0	0	0	1,84E+02	3,34E-03	1,02E+00	2,40E+01	1,47E+00	2,21E-01
<b>EP</b>	kg SO2 eq.	4,14E+01	1,45E+01	1,29E-01	0	9,96E+00	0	0	0	5,09E+01	1,17E-03	2,91E-01	6,39E+00	1,20E+01	3,00E+00
<b>POCP</b>	kg ethylene eq.	4,64E+01	5,69E+00	2,95E+00	0	5,23E+01	0	0	0	2,28E+01	2,44E-07	1,47E-01	3,08E+00	1,44E+00	3,46E-01
<b>ADP-elements</b>	kg antimony eq.	6,31E-02	4,81E+01	2,71E-01	0	3,19E-02	0	0	0	5,83E+02	2,10E-03	2,99E+00	3,88E+01	7,74E-01	1,78E-01
<b>ADP-fossil fuels</b>	MJ	4,28E+05	4,44E+02	7,90E+03	0	3,80E+05	0	0	0	1,11E+06	4,22E+01	7,85E+03	1,64E+04	1,44E+04	3,17E+03

Figura 22 - Riepilogo degli indicatori di impatto ambientale relativi a tutte le fasi del ciclo di vita

Per comprendere meglio la distribuzione degli impatti si riporta di seguito un grafico con l'incidenza in percentuale di ogni modulo rispetto alla categoria di impatto.

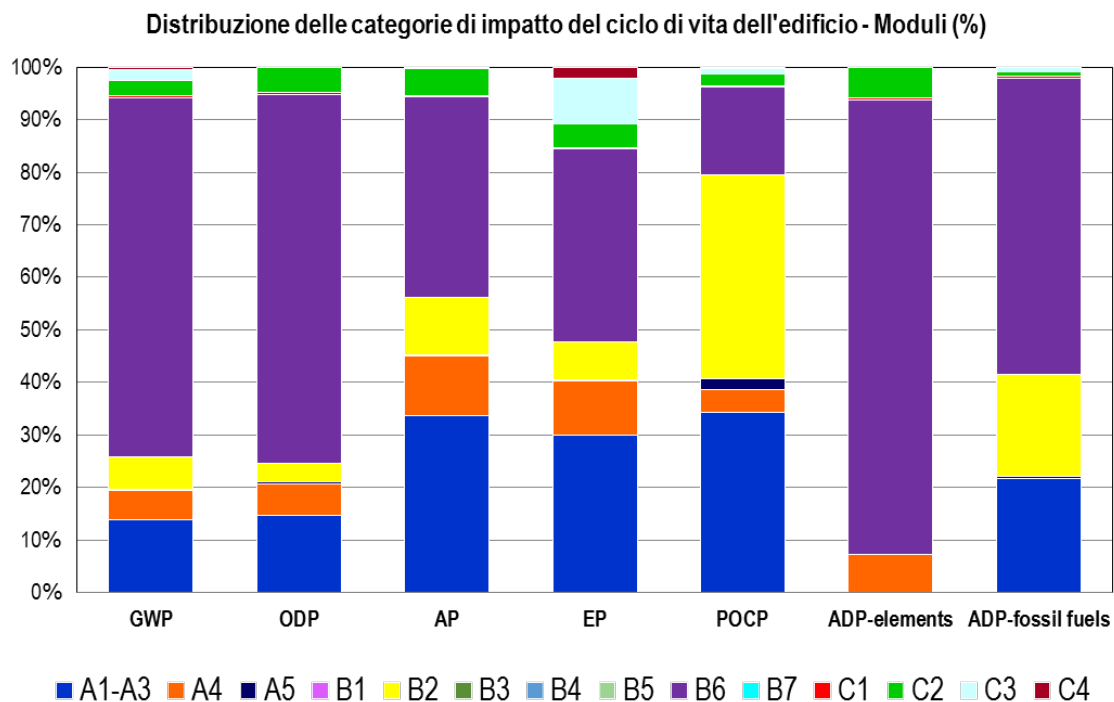


Figura 23 - Diagramma di confronto degli indicatori di impatto ambientale relativi all'intero edificio durante l'intero ciclo di vita

In sintesi dall'analisi LCA dell'edificio è emerso con evidenza che complessivamente la fase di produzione incide, per la maggior parte degli indicatori, circa un 25-30%. Ad incidere maggiormente nella produzione degli impatti ambientali sono i consumi energetici nella fase di utilizzo (modulo B6) con circa il 65-70%.

A valle della determinazione degli impatti per ogni singolo modulo costituenti le fasi definite precedentemente è possibile intraprendere delle azioni mirate correttive allo scopo di migliorare le performance complessive.

## CONCLUSIONI

I CAM Edilizia, adottati con Decreto del MATTM e resi obbligatori dall'entrata in vigore del Decreto Legislativo n.50 del 2016 (Codice degli appalti pubblici), riportano delle indicazioni generali volte ad indirizzare gli enti pubblici verso una razionalizzazione dei consumi e degli acquisti. Forniscono, dunque, delle "indicazioni ambientali" collegate alle diverse fasi delle procedure di gara (oggetto dell'appalto, specifiche tecniche, caratteristiche tecniche premianti collegate alla modalità di aggiudicazione dell'offerta economicamente più vantaggiosa, condizioni di esecuzione dell'appalto) volte a qualificare sia le forniture, sia gli affidamenti lungo l'intero ciclo di vita del processo edilizio dal punto di vista della riduzione dell'impatto ambientale.

I CAM sono un utile strumento di indirizzo per il progettista verso una progettazione ecocompatibile, tuttavia non consentono di controllare e confrontare il parametro "impatto ambientale" da un punto di vista scientifico.

Tale criticità può essere superata dal progettista attraverso l'utilizzo di strumenti basati sulla metodologia Life Cycle Assessment (LCA) applicata alla scala di edificio, al fine di quantificare e di conseguenza mitigare il danno ambientale.

La quantificazione del danno e quindi delle performance ambientali avviene attraverso la definizione di indicatori di impatto (GWP, ODP, AP, EP, POCP, ADP-elements, ADP-fossil fuels) di ogni singolo prodotto e di ogni fase lavorativa nell'intero ciclo di vita dell'edificio. Combinando opportunamente tali indicatori è possibile giungere alla determinazione delle performance ambientali dell'intero edificio.

Le informazioni ambientali di ogni prodotto sono desunte dalle dichiarazioni ambientali conformi alle norme UNI EN 15804 e ISO 14025, fornite dal produttore e verificate da un ente terzo. Ad oggi esistono diversi program operator che verificano e raccolgono all'interno di opportuni database le dichiarazioni ambientali.

Dunque la progettazione ecocompatibile deve essere fondata sicuramente su un approccio LCA condotto attraverso l'uso di informazioni ambientali di prodotto veicolate dall'EPD.

Il progettista perciò deve recepire questa metodologia ed introdurre nella propria prassi progettuale questa procedura valutativa, che consente di realizzare organismi edilizi con un basso impatto ambientale complessivo, rendendo minima la somma dei danni ambientali dovuti ai consumi energetici prodotti nella fase d'uso dell'edificio e dei danni dovuti alle fasi di produzione dei componenti edilizi utilizzati per la realizzazione del sistema edificio-impianto.

Pertanto una progettazione a minore impatto ambientale dovrebbe proporsi strategicamente come un processo iterativo tra analisi energetica ed analisi ambientale: solo interagendo con indici di prestazione energetica, suggeriti dalla normativa vigente, ed indici di valutazione ambientale si potranno compiere scelte favorevoli dal punto di vista ambientale.



## BIBLIOGRAFIA

### Pubblicazioni scientifiche

FILIBERTO LEMBO, FRANCESCO P.R. MARINO, DANIELA IOANNI, "Software for Environmental Assessment of Building Materials - Product Module (EABM-P)", in BSA 2012 - Proceedings of the 1st International Conference on Building Sustainability Assessment, a cura di ROGÉRIO AMOÉDA, RICARDO MATEUS, LUÍS BRAGANÇA and CRISTINA PINHEIRO, Porto, Green Lines Institute for Sustainable Development, 2012.

FILIBERTO LEMBO, FRANCESCO P.R. MARINO, DANIELA IOANNI, "Software for Environmental Assessment of Building Materials - Technical Element Module (EABM- TE)", in BSA 2012 - Proceedings of the 1st International Conference on Building Sustainability Assessment, a cura di ROGÉRIO AMOÉDA, RICARDO MATEUS, LUÍS BRAGANÇA and CRISTINA PINHEIRO, Porto, Green Lines Institute for Sustainable Development, 2012.

### Libri

BALDO, GIAN LUCA, Life Cycle Assessment. Uno strumento di analisi energetica e ambientale, Milano, Ipaservizi Editore, 2000.

BALDO, GIAN LUCA, MARINO, MASSIMO, ROSSI STEFANO, Analisi del Ciclo di Vita LCA. Materiali, prodotti, processi, Milano, Edizioni Ambiente, 2005.

GIORDANO, ROBERTO, I prodotti per l'edilizia sostenibile. La compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio, Napoli, Sistemi editoriali, 2010.

LAVAGNA, MONICA, Life Cycle Assessment in edilizia. Progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale, Milano, Hoepli, 2008.

MONTACCHINI, ELENA, TEDESCO, SILVIA, Edilizia sostenibile: requisiti, indicatori e scelte progettuali, Dogana, Maggioli Editore, 2009.

NERI, PAOLO, Verso la valutazione ambientale degli edifici. Life Cycle Assessment a supporto della progettazione eco-sostenibile, Firenze, Alinea Editrice, 2007.