



CIRIAF

Centro Interuniversitario
di Ricerca sull'Inquinamento
da Agenti Fisici - "Mauro Fell"

Università
degli Studi di Perugia
Facoltà di Ingegneria



10° Congresso Nazionale Ciriaf

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Atti



Perugia 9/10 aprile 2010

ANALISI DEL CICLO DI VITA: APPLICAZIONE AD UN EDIFICIO RESIDENZIALE AD ELEVATE PRESTAZIONI DI RISPARMIO ENERGETICO

Cinzia Buratti¹, Michele Goretti¹, Maria Cleofe Merico¹

¹CRB, Centro di Ricerca sulle Biomasse, Str. S. Lucia Canetola, 06125 Perugia

SOMMARIO

Nel bilancio di materie prime e risorse del “prodotto edificio” gli strumenti dell’analisi del ciclo di vita (LCA) e della dichiarazione ambientale di prodotto (DAP) possono orientare le scelte dei progettisti in relazione al conseguimento degli obiettivi di sviluppo eco-sostenibile ed efficienza energetica.

Nel presente studio, individuati i metodi di valutazione applicabili per le finalità prefissate, l’analisi si è concentrata sui materiali usati nel campo delle costruzioni, ed in particolare sulle proprietà di isolamento termoacustico degli stessi, fondamentali ai fini della loro classificazione e selezione.

L’analisi del ciclo di vita è stata applicata ad una unità immobiliare di un edificio plurifamiliare costruito per offrire elevati standard di risparmio energetico e comfort abitativo. Il metodo LCA ha consentito di valutare le fasi di vita dell’immobile sotto l’aspetto del consumo energetico e delle risorse. Si è effettuato un confronto tra un’unità abitativa assunta come caso studio e un’altra virtualmente identica (stesse dimensioni, sito ed orientamento) ma differente per stratigrafia delle partizioni (simulazione di edificio esistente, realizzato secondo tecniche di costruzione e materiali tradizionali, nel rispetto dei limiti di trasmittanza imposti per il 2006 dal D.Lgs. 311/06). L’analisi ed il confronto hanno consentito di stimare le possibilità di risparmio energetico e di riduzione degli impatti ambientali, individuando in quali fasi del ciclo di vita esse possono essere localizzate.

1. INTRODUZIONE

I consumi di energia in edilizia sono aumentati sia in valore assoluto sia in percentuale e rappresentano, oggi, circa il 40% della domanda di energia. In parallelo crescono anche le emissioni di anidride carbonica: al fine di rispettare gli impegni assunti con la firma del Protocollo di Kyoto, il settore edilizio appare pertanto uno fra quelli prioritari su cui intervenire.

La Direttiva Energy Performance of Building (EPBD) 2002/91/CE del 16/12/2002 rappresenta il più importante documento comunitario sull’*efficienza energetica* degli edifici. Essa fissa una serie di linee-guida cui i diversi Paesi membri avrebbero dovuto adeguarsi entro il 2006, promulgando un’apposita legislazione o adeguando quella esistente, dovendo obbligatoriamente procedere alla certificazione energetica degli edifici. L’obiettivo della direttiva è promuovere il miglioramento del rendimento energetico degli edifici, tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne, delle prescrizioni per il microclima degli ambienti interni e dell’efficacia sotto il profilo dei costi. Viene introdotto, inoltre, il concetto di *attestato di certificazione energetica*, che ha l’obiettivo di dare informazioni sulle prestazioni dell’edificio, comprendenti i valori vigenti a norma di legge e i valori di riferimento.

L’Italia ha provveduto ad armonizzare il proprio quadro normativo con quello europeo in materia di rendimento energetico in edilizia. Con il D.Lgs. 192/05, *Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell’edilizia*, sono stabiliti i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l’integrazione delle fonti rinnovabili; inoltre sono chiariti caratteristiche, regole

guida e obiettivi riguardo alla certificazione energetica degli edifici. Il D.Lgs. 311/06 reca *Disposizioni correttive ed integrative* al D.Lgs. 192/05 ed impone scadenze specifiche. Il DPR 59/09 di attuazione del D.Lgs. 192/05 introduce il nuovo quadro di disposizioni obbligatorie in sostituzione di quelle transitorie di cui al D.Lgs. 311/06. Infine il DM del 26/06/2009 contiene le *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*.

2. ANALISI DEL CICLO DI VITA (LCA)

Il consumo di energia nel settore industriale dei materiali da costruzione è circa il 10% di quello complessivo del settore civile: questo spiega il crescente interesse verso la bioedilizia.

La politica integrata di prodotto (*Integrated Product Policy IPP*) prevede una maggiore attenzione alle varie fasi del ciclo di vita, in quanto gli impatti ambientali derivanti dalle filiere produttive sono diversificati a più livelli: l’idea di fondo è ottenere il controllo dell’intero ciclo di vita di un prodotto attraverso l’individuazione degli impatti che i processi produttivi generano in ogni fase.

La strategia denominata *Life Cycle Thinking (LCT)* ha il suo sviluppo applicativo nella metodologia dell’analisi del ciclo di vita (*Life Cycle Assessment, LCA*). Nella visione LCT rientrano le *etichette ecologiche*, che hanno il compito specifico di veicolare ai consumatori l’informazione sull’entità del carico ambientale del ciclo di vita di un prodotto. Tra queste si segnalano le etichette ambientali di *tipo III* (UNI ISO 14025:2006), basate sulle procedure di LCA codificate dalle norme ISO 14040, che richiedono la verifica di un organismo indipendente: appartengono a questa categoria le *Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (DAP o EPD)* [1].

L'applicazione della metodologia LCA permette di prevedere ogni conseguenza che il processo di trasformazione avrà sull'ambiente. La norma UNI EN ISO 14040:2006 descrive i principi ed il quadro di riferimento per la valutazione del ciclo di vita (LCA), comprendendo:

- a) la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dell'LCA;
- b) la fase di inventario del ciclo di vita (LCI Life Cycle Inventory): si compila un inventario di ingressi (materiali, energia, risorse naturali) ed uscite del sistema (emissioni in aria, acqua, suolo, emissioni non materiali);
- c) la fase di valutazione dell'impatto del ciclo di vita (LCIA): lo scopo è di fornire informazioni aggiuntive per contribuire a valutare i risultati dell'LCI;
- d) la fase di interpretazione del ciclo di vita: i risultati di LCI e/o di LCIA vengono riepilogati e discussi;
- e) la rendicontazione e la revisione critica dell'LCA;
- f) le limitazioni dell'LCA;
- g) le correlazioni tra le fasi dell'LCA;
- h) le condizioni per l'uso dei valori e di elementi facoltativi.

2.1 LCA di un Prodotto/Edificio

L'LCA applicata al settore edilizio può essere uno strumento in grado di offrire, fin dalla fase di progettazione, la possibilità di monitorare le scelte effettuate, proiettandole nell'intero ciclo di vita dell'edificio, in termini di impatto ambientale, energetico ed economico.

Il metodo LCA valuta l'effetto prodotto dai consumi energetici durante la vita dell'edificio, di solito considerata di almeno 50 anni, e permette di confrontare soluzioni tecnologiche atte ad una progettazione a basso consumo energetico. Gli impatti indotti dai cicli produttivi sono strettamente legati alle scelte effettuate durante la progettazione: l'obiettivo da perseguire è quello di generare il minore impatto possibile.

Un edificio riassume in sé tante forme di energia [2]: energia incorporata (processi connessi con la *produzione* di un edificio), energia grigia (trasporto dei materiali), energia indotta (edificazione), energia operativa (esercizio) ed energia di demolizione e riciclo (processi a fine vita).

L'applicazione dell'LCA ad un prodotto/edificio, dando la dovuta importanza all'aspetto inquinante associato alla produzione dei materiali (consumo di energia e produzione di CO₂ e rifiuti), consente di comprendere quanto possa risultare strategica dal punto di vista ambientale la scelta di componenti e prodotti.

3. METODOLOGIA DI VALUTAZIONE DELL'LCA

Nella fase di analisi e valutazione dell'impatto ambientale di un processo, una volta creato l'inventario di tutti i flussi di materiali in ingresso e in uscita, è necessario dare ad ognuno un peso in base ai possibili danni che essi producono sull'ambiente, sulla salute umana e rispetto al consumo di risorse. Tutti i metodi di calcolo utilizzabili per la valutazione di questi parametri hanno una struttura di base comune, che consiste nella valutazione di quattro indici:

- 1) *caratterizzazione*: l'obiettivo è uniformare i parametri relativi ai bilanci di materiali ed energia, precedentemente assegnati ad una determinata categoria d'impatto, fino ad ottenere delle unità di misura comuni. La quantità in massa di ciascuna sostanza è moltiplicata

per un fattore di caratterizzazione. La CO₂ è la sostanza di riferimento: il suo coefficiente di peso è 1 e i valori dell'indicatore sono espressi in kgCO_{2eq};

- 2) *valutazione dei danni*: ha lo scopo di raggruppare una serie di indicatori di impatto in una categoria di danno;
- 3) *normalizzazione*: i valori ottenuti sono normalizzati e convertiti in un numero adimensionale. I valori normalizzati sono espressi in *punti*, che agevolano il confronto degli effetti del processo nelle diverse categorie di impatto;
- 4) *pesatura*: consiste nel moltiplicare gli indicatori delle categorie di impatto o danno per un fattore di peso. La somma fornisce un punteggio singolo, rappresentativo del processo e confrontabile con quello di altri processi.

3.1 Metodi di Valutazione degli Impatti e Codici di Calcolo

Eco-Indicator è un metodo di valutazione degli impatti ambientali che aggrega i risultati di LCA in grandezze o parametri facilmente comprensibili ed utilizzabili, chiamati *Eco-indicatori*. La metodologia raggruppa i risultati dei danni in tre categorie principali e calcola valori standard per i materiali considerati: *Human Health*, *Ecosystem Quality* e *Resources*.

Un altro metodo di valutazione dell'impatto del ciclo di vita è l'*IPCC 2007*. Il metodo quantifica le emissioni gassose in base al loro effetto sul riscaldamento globale, raggruppando le diverse tipologie di emissioni in categorie di impatto. Il tutto è governato dalla definizione dei potenziali di riscaldamento globale (GWP) per le diverse sostanze gassose, pubblicati dall'*IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)*.

Infine *CED 2001* valuta l'energia impiegata nel ciclo di vita di un prodotto grazie al procedimento della *Cumulative Energy Demand (CED)*. L'importanza nell'uso di tale metodo sta nel fatto che i risultati ottenuti consentono di individuare in quale fase del ciclo di vita è possibile evitare sprechi di energia. L'unità di misura adottata è il MJ_{eq}, che rappresenta l'energia impiegata suddivisa in cinque sub categorie o classi: fonti fossili, nucleare, biomasse, vento-sole-geotermia e acqua. Questo metodo non prevede operazioni di normalizzazione.

Il software scelto per sviluppare il lavoro è *SimaPro 7.0* e tra i 12 databases in esso inclusi è stato scelto *Ecoinvent Processes*. Il codice di calcolo include i metodi di valutazione sopra illustrati ed è organizzato in modo da seguire la fasi descritte nella norma UNI EN ISO 14040.

4. CASO DI STUDIO A CONFRONTO CON UNA COSTRUZIONE TRADIZIONALE

La finalità dello studio condotto è quella di valutare il ciclo di vita di un appartamento situato all'interno del primo edificio residenziale plurifamiliare in Umbria certificato CasaClima Classe A (Residenza Annamaria). Il passo successivo è il confronto con un appartamento virtualmente identico, avente stesse dimensioni e stessa ubicazione, ma differente stratigrafia dell'involucro edilizio.

Focalizzando l'attenzione sull'involucro (chiusure verticali, orizzontali, strutture opache ecc.) si è cercato di mettere in evidenza l'influenza in termini energetici ed economici di una scelta piuttosto che dell'altra e la possibilità, nella vita utile dell'edificio (50 anni), di compensare l'elevato gap di spesa energetica nella produzione di materiali ad alte prestazioni. Per l'applicazione della metodologia LCA sono state definiti (UNI EN ISO 14040):

- campo di applicazione: l'edificio si sviluppa su due piani, per un totale di superficie netta riscaldata di 500 m² e di volume netto riscaldata di 1450 m³;
- unità funzionale: è stato scelto il lotto stesso, in modo da uniformare ad esso tutti i dati in input ed in output utili per il confronto diretto con altre tipologie costruttive;
- confini del sistema: sono stati individuati gli elementi costitutivi dell'involucro dell'edificio oggetto di flussi di energia in ingresso e in uscita dal sistema;
- fase di inventario dell'LCA: il sistema è stato scomposto nei suoi componenti specifici (parete esterna, parete tra appartamenti, parete del vano scala, infissi, solaio interpiano, solaio su garage, impianto di fornitura servizi per climatizzazione) per compilare con il massimo dettaglio ingressi ed uscite di materiali, energia e risorse;
- fase di valutazione dell'impatto del ciclo di vita: sono state considerate le potenziali conseguenze ambientali, dirette ed indirette, associate ai suddetti input ed output;
- fase di interpretazione dell'LCA.

4.1 LCI Fase di Assemblaggio: Confronto dell'Edificio Oggetto di Studio con l'Edificio Virtuale

Seguendo lo schema di classificazione della norma UNI 8290-1:1981+A122:1983 all'interno della classe di unità tecnologiche *chiusura* (3.2) è possibile individuare quattro unità tecnologiche: *chiusura verticale*, *chiusura orizzontale inferiore*, *chiusura orizzontale su spazi esterni* e *chiusura superiore* [3].

Di queste è valutata la prima unità che, per le ipotesi fatte, può far risaltare le differenze prestazionali ed energetiche dei due involucri. All'interno dell'unità tecnologica *chiusura verticale* sono presenti tre diverse stratigrafie di involucro: *parete esterna*, *parete del vano scala* e *parete tra appartamenti*.

4.1.1 Edificio oggetto di studio - Fase di Assemblaggio. Di seguito (Tabelle 1, 2 e 3) sono riportate le stratigrafie relative alle tre tipologie di sub-sistema *tamponatura verticale* dell'edificio oggetto di studio, con spessori e caratteristiche termofisiche di ogni materiale impiegato.

Tabella 1: Stratigrafia e caratteristiche termoisolanti della parete esterna (caso di studio)

Descrizione materiale	D [kg/m ³]	s [cm]	M [kg]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Strato liminare interno					0,130
Intonaco-Roccia Gambassi (perlite esp.)	1.000	2,0	1.672	0,340	0,059
Bricks-Poroton Blok 30/700 TS	893	30,0	17.456	0,148	2,028
Caparol Dalmatiner (pannello EPS)	25	14,0	222	0,035	4,000
Rasante Caparol	1.800	1,0	1.542	0,900	0,011
Strato liminare esterno					0,040
S_{tot}		47,0			R_{tot} 6,268

da calcolo	limite 2010 D.Lgs. 311
Trasmittanza U [W/m²K] 0,160	0,34

Tabella 2: Stratigrafia e caratteristiche termoisolanti della parete tra appartamenti (caso di studio)

Descrizione materiale	D [kg/m ³]	s [cm]	M [kg]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Strato liminare interno					0,130
Malta di calce	1.800	1,5	1.467	0,900	0,017
Tavelle per divisori 6x15x30	594	6,0	1.876		0,130
Malta di cemento (rinzafo)	2.000	1,0	1.026	1,400	0,007
Lecablock Bioclima Fonoisol. 25x20x25	1.083	25,0	6.579		1,000
Malta di cemento (rinzafo)	2.000	1,0		1,400	0,007
Tavelle per divisori 6x15x30	594	6,0			0,130
Malta di calce	1.800	1,5		0,900	0,017
Strato liminare esterno (vs. altro appart.)					0,130
S_{tot}		42,0			R_{tot} 1,568

da calcolo	limite 2010 D.Lgs. 311
Trasmittanza U [W/m²K] 0,638	0,8

Tabella 3: Stratigrafia e caratteristiche termoisolanti della parete del vano scala (caso di studio)

Descrizione materiale	D [kg/m ³]	s [cm]	M [kg]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Strato liminare interno					0,130
Malta di calce	1.800	1,5	847	0,900	0,017
Tavelle per divisori 6x15x30	594	6,0	1.010		0,130
Malta di cemento (rinzafo)	2.000	1,0	1.080	1,400	0,007
Lecablock Bioclima Fonoisol. 25x20x25	1.083	25,0	7.456		1,000
Malta di cemento (rinzafo)	2.000	1,0		1,400	0,007
Rockwool Acoustic 225 (lana di roccia)	70	8,0	159	0,035	2,286
Aria		4,0			0,110
Pannello cartongesso	750	1,2	244		0,021
Strato liminare esterno					0,040
S_{tot}		47,7			R_{tot} 3,748

da calcolo	limite 2010 D.Lgs. 311
Trasmittanza U [W/m²K] 0,267	0,34

Altro sub-sistema considerato nell'unità tecnologica *chiusura verticale* è quello degli *infissi* (Tabella 4).

Tabella 4: Scheda tecnica degli infissi (caso di studio)

Infissi	N.	Gas	L [m]	H [m]	S _{vetro} [m ²]	S _{retale} [m ²]	S [m ²]	M [kg]
Vetrata angolo	2	Krypton	2,52	2,41	9,58	2,56	12,146	239,50
Soggiorno piccola	1	Argon	1,22	2,31	1,85	0,97	2,818	46,25
Soggiorno grande	1	Argon	1,57	2,31	2,59	1,04	3,627	64,75
Cucina	1	Argon	0,92	2,31	1,47	0,63	2,125	36,75
Studio	1	Argon	1,57	1,31	1,35	0,71	2,057	33,75
Finestrelle	2	Argon	0,72	0,56	0,34	0,46	0,806	58,50

4.1.2 Edificio Virtuale (Fase di Assemblaggio).

Nell'edificio virtuale sono state considerate stratigrafie differenti per la realizzazione delle tre tipologie di tamponature verticali, fermo restando il rispetto del D.Lgs. 311/06, ma considerando i limiti delle trasmittanze relativi all'anno 2006: si è infatti ipotizzato di simulare un edificio esistente realizzato mediante tecniche e componenti costruttivi tradizionali. Riguardo all'unità tecnologica *chiusura verticale* si riportano di seguito le stratigrafie virtuali realizzate, con relativo computo delle masse e delle proprietà termoisolanti (Tabelle 5, 6 e 7).

Tabella 5: Stratigrafia e caratteristiche termoisolanti della parete esterna virtuale

Descrizione materiale	D [kg/m ³]	s [cm]	M [kg]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Strato liminare interno					0,130
Intonaco-Roccia Gambassi (perlite esp.)	1.000	1,5	1.653	0,340	0,059
Forato 12x25x25	635	12,0	3.690	0,210	0,571
Rockwool pannello 211	40	4,0	1.042		1,100
Intonaco-Roccia Gambassi (perlite esp.)	1.000	1,5		0,340	0,059
Mattoni faccia a vista	1.589	12,0	14.724	0,490	0,245
Strato liminare esterno					0,040
S_{tot}		31,0			R_{tot} 2,204

da calcolo	limite 2006 D.Lgs. 311
Trasmittanza U [W/m²K] 0,454	0,46

Tabella 6: Stratigrafia e caratteristiche termoisolanti della parete tra appartamenti virtuale

Descrizione materiale	D [kg/m ³]	s [cm]	M [kg]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Strato liminare interno					0,130
Malta di calce	1.800	1,5	1.467	0,900	0,017
Tavelle per divisori 6x15x30	594	6,0	1.844		0,130
Malta di cemento (rinzafo)	2.000	1,0	1.026	1,400	0,007
Forato fonoisolante 15x25x25	635	15,0	2.572	0,194	0,773
Malta di cemento (rinzafo)	2.000	1,0		1,400	0,007
Tavelle per divisori 6x15x30	594	6,0			0,130
Malta di calce	1.800	1,5		0,900	0,017
Strato liminare esterno (vs. altro appart.)					0,130
S_{tot}		32,0			R_{tot} 1,341

da calcolo	limite 2006 D.Lgs. 311
Trasmittanza U [W/m²K] 0,746	0,8

Tabella 7: Stratigrafia e caratteristiche termoisolanti della parete del vano scala virtuale

Descrizione materiale	D [kg/m ³]	s [cm]	M [kg]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Strato liminare interno					0,130
Malta di calce	1.800	1,5	985	0,900	0,017
Tavelle per divisori 6x15x30	594	6,0	1.216		0,130
Malta di cemento (rinzafo)	2.000	1,0	1.242	1,400	0,007
Forato 10x25x25	600	10,0	1.871	0,285	1,000
Malta di cemento (rinzafo)	2.000	1,0		1,400	0,007
Rockwool Acoustic 225 (lana di roccia)	70	5,0	96	0,035	1,429
Aria		4,0			0,110
Pannello cartongesso	750	1,2	244		0,021
Strato liminare esterno					0,040
		s_{tot}			R_{tot}
		29,7			2,241

Trasmittanza U [W/m ² K]	da calcolo	limite 2006 D.Lgs. 311
	0,446	0,46

Gli infissi dell'edificio virtuale (Tabella 8) hanno le stesse dimensioni di quelli realmente esistenti, ma presentano una trasmittanza più alta (U residenza = 1,2 m²K/W; U virtuale = 2,7 m²K/W), sempre nel rispetto dei limiti di trasmittanza imposti dal D.Lgs. 311/06, pari a U = 2,8 m²K/W all'anno 2006 (U = 2,2 m²K/W nel 2010). Altra differenza è il tipo di vetro impiegato, con densità areale pari a 15 kg/m² anziché 25 kg/m² e decisamente meno prestante di quello basso emissivo.

Tabella 8: Scheda tecnica degli infissi virtuali

Infissi	N.	Gas	L [m]	H [m]	S _{vetro} [m ²]	S _{stallo} [m ²]	S [m ²]	M [kg]
Vetrata angolo	2	Aria	2,52	2,41	9,58	2,56	12,146	143,70
Soggiorno piccola	1	Aria	1,22	2,31	1,85	0,97	2,818	27,75
Soggiorno grande	1	Aria	1,57	2,31	2,59	1,04	3,627	38,85
Cucina	1	Aria	0,92	2,31	1,47	0,63	2,125	22,05
Studio	1	Aria	1,57	1,31	1,35	0,71	2,057	20,25
Finestrelle	2	Aria	0,72	0,56	0,34	0,46	0,806	35,10

4.2 LCA Fase Operativa

I consumi energetici dovuti alla fase operativa dipendono da vari fattori: tipologia di impianto di riscaldamento o raffrescamento, combustibile usato, qualità termoisolanti dell'involucro edilizio, ecc. Come fonte principale di riscaldamento è stata considerata una caldaia a condensazione da 30 kW, che usa come combustibile il metano, trascurando l'integrazione per il riscaldamento data dai pannelli solari installati sulla copertura della Residenza Annamaria. Confrontando i risultati del procedimento di valutazione del fabbisogno energetico per le due unità abitative, mediante foglio di calcolo *ProCasaClima*, la spesa annuale necessaria per riscaldamento per l'appartamento virtuale corrisponde al 326% di quella per il caso di studio (Tabella 9).

Tabella 9: Spese per il riscaldamento dell'involucro edilizio

Unità abitativa	Classe energetica	Fabbisogno specifico di energia	Consumo di energia	Fabbisogno per unità	Spesa per riscaldamento
Resid. Annamaria	A	19 kWh/m ² a	10.397 MJ/a	2.888 kWh/a	202 €/a
Abitazione virtuale	C	62 kWh/m ² a	33.926 MJ/a	9.424 kWh/a	659 €/a

4.3 LCA Fase di Dismissione

Il database *Ecoinvent* del software *SimaPro 7.0* prevede un inventario specifico per lo smaltimento dei materiali da costruzione: all'interno di questo inventario si è provveduto a rintracciare i materiali impiegati o altri simili, in grado di approssimare quelli usati nella fase di costruzione degli edifici, per valutare il tipo di processo a cui sottoporli in fase di dismissione. Il database prevede tre diverse modalità di smaltimento di questo tipo di rifiuti: riciclaggio diretto, riciclaggio parziale previa selezione e separazione dei materiali idonei oppure deposizione in discarica senza riciclaggio (Figura 1).

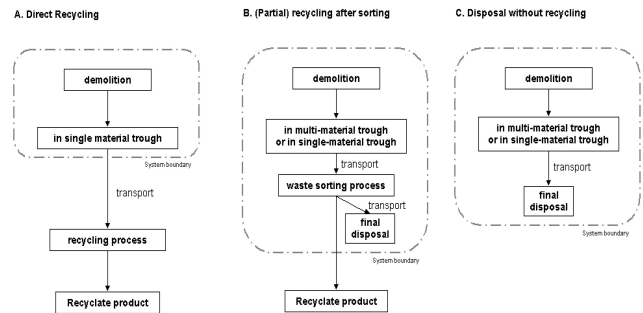


Figura 1: Possibili smaltimenti dei materiali

5. ANALISI DEI RISULTATI

Scopo dell'analisi effettuata è confrontare i risultati relativi alla valutazione del ciclo di vita dei due edifici per mezzo del software *SimaPro 7.0*, grazie all'uso dei tre metodi di calcolo *Eco-Indicator 99(H)*, *CED 2001* e *IPCC 2007*.

La valutazione è stata effettuata per le tre fasi della vita dell'edificio: assemblaggio, fase operativa e dismissione.

Gli impatti sono rappresentati con istogrammi adottando, come unità di misura il *Pt* (unità di punteggio): più alto è il valore, maggiore è il danno ambientale arrecato. Si identificano come unità A l'unità abitativa esaminata nella Residenza Annamaria e come unità B l'appartamento virtuale.

5.1 Fase di Assemblaggio

Eco-Indicator 99(H)

Sono stati valutati gli impatti su undici categorie di danno, poi raggruppate nelle tre categorie fondamentali (*Human Health*, *Ecosystem Quality* e *Resources*). Dagli istogrammi (Figura 2) è evidente che ciò che maggiormente influisce sulla valutazione globale risulta essere la categoria delle risorse (combustibili), seguita da quella della salute umana.

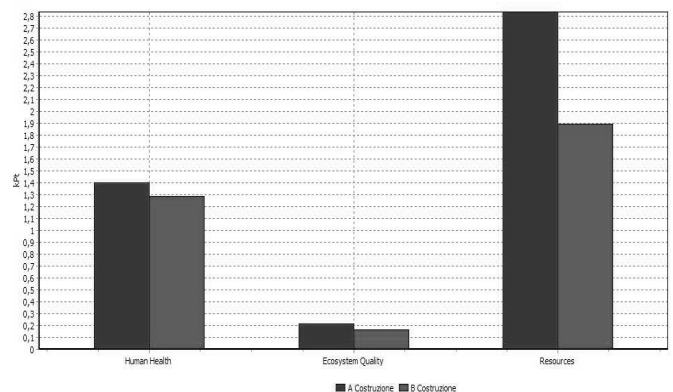


Figura 2: Eco-indicator: contributo delle due costruzioni alle categorie di danno

Nella categoria risorse, il contributo di danno generato nella fase di costruzione dell'unità A è superiore del 33,3% rispetto all'unità B, mentre per le altre categorie i punteggi sono paragonabili, anche se quelli della costruzione B sempre leggermente inferiori.

CED 2001

Dalla Figura 3 risulta chiaramente che i consumi di energia non rinnovabile da fonti fossili sono la massima parte in

entrambi i casi e ammontano rispettivamente all'84,6% (unità A) e all'80,1% (unità B) del totale.

MJ_{eq} pari proprio al 226%, come evidente in Figura 6.

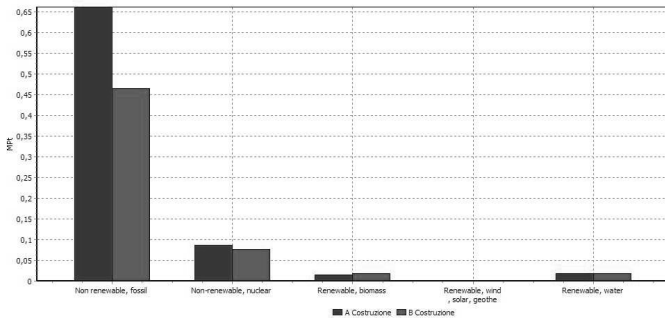


Figura 3: CED: fase costruttiva a confronto

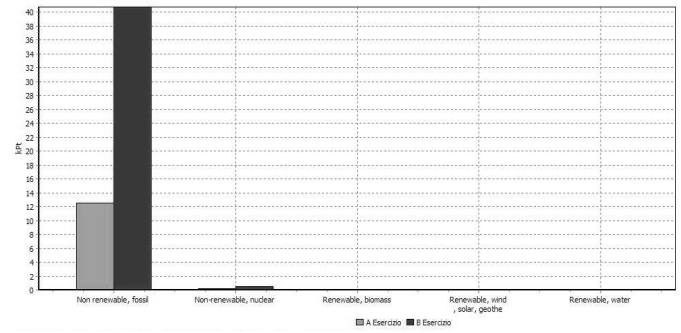


Figura 6: CED 2001: confronto della fase di esercizio

IPCC 2007

Il confronto relativo alla fase realizzativa delle due tipologie edilizie evidenzia per l'unità A una produzione di kgCO_{2eq} pari al 7,5% in più rispetto all'unità B (Figura 4).

IPCC 2007

Impostando l'orizzonte temporale di valutazione in un arco di 100 anni, si è cercato di capire in che modo la fase di esercizio potesse influenzare il bilancio di emissioni nocive rispetto alle altre. Anche in questo caso si può notare (Figura 7) come l'emissione di kgCO_{2eq} sia strettamente correlata con i risultati ottenuti applicando il metodo CED: le emissioni per l'unità B sono superiori del 226% rispetto all'unità A. La proporzionalità tra i risultati ottenuti è conseguenza del fatto che nella fase operativa i parametri esaminati dai tre metodi di valutazione sono funzione soltanto dei consumi annui di combustibile durante la vita utile delle unità abitative.

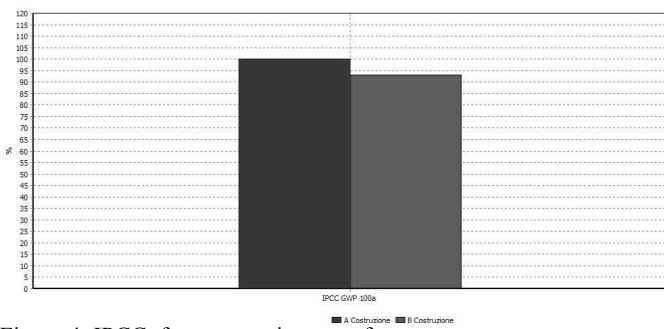


Figura 4: IPCC: fase costruttiva a confronto

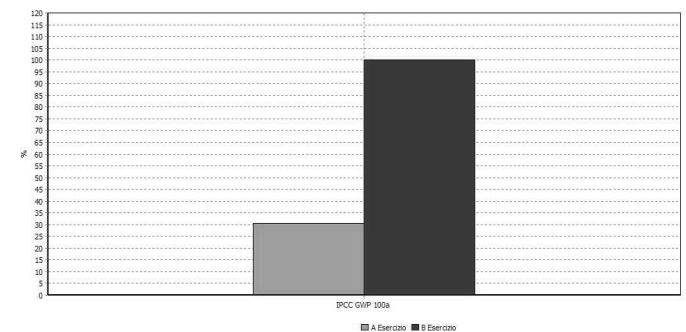


Figura 7: IPCC: confronto della fase di esercizio

5.2 Fase Operativa

Per tale fase sono stati considerati i valori dei consumi annui di gas calcolati in funzione del fabbisogno energetico.

Eco-Indicator 99(H)

Dagli istogrammi di Figura 5 è possibile notare come la concentrazione maggiore di danni causati appartenga alla categoria delle risorse. Il risultato evidenzia la netta prevalenza del danno sulle risorse naturali particolarmente nell'unità B, che supera l'unità A di circa 2,26 volte.

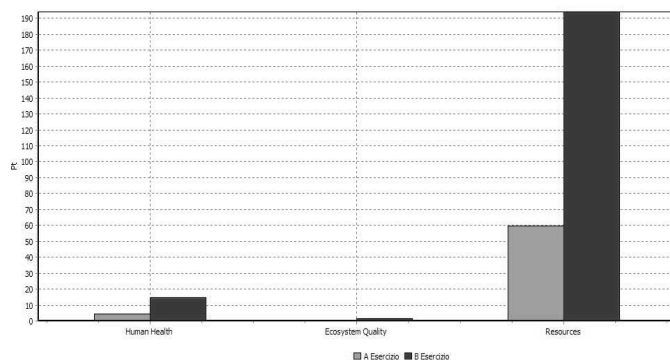


Figura 5: Eco-indicator: confronto della fase di esercizio

5.3 Fase di Dismissione

Relativamente a questa fase del ciclo di vita dell'edificio si è provveduto a valutare l'impatto ambientale causato dalla demolizione della costruzione e dalla rimozione dei componenti non strutturali. Come detto in precedenza, per i materiali si è previsto, a seconda dei casi, il riciclaggio oppure il riciclaggio dopo la separazione da componenti inutilizzabili o la deposizione in discarica.

Eco-Indicator 99(H)

Si nota un capovolgimento dei valori dei danni provocati tra le due unità a confronto, ma soprattutto un netto calo dei danni arrecati alle risorse a scapito della salute umana (Figura 8). In termini percentuali si è osservata una stima del danno causato nella fase di dismissione dall'unità B più elevata di quella dell'unità A rispettivamente dell'11,2% nella categoria della salute umana, del 13,3% nella categoria della qualità dell'ecosistema e del 13,6% nella categoria delle risorse.

CED 2001

Valutando i consumi energetici, il metodo conferma il dato relativo ad Eco-Indicator con una differenza di richiesta di

6. CONCLUSIONI

Il metodo *Eco-Indicator* ha rivelato che l'impatto di danno della Residenza Annamaria supera del 33,3% quello relativo all'edificio virtuale nella fase di costruzione. A fronte di tale maggiore impatto, la differenza di fabbisogno energetico tra i due involucri si traduce in un netto eccesso di consumo di energia dell'involucro virtuale. Partendo dal fabbisogno energetico per ogni unità abitativa espresso in MJ, risulta evidente come l'involucro virtuale sia nettamente svantaggiato rispetto a quello reale. I calcoli sono stati condotti prendendo come dato iniziale il fabbisogno energetico ottenuto tramite il foglio di calcolo ProCasaClima (kWh/m²anno). In seguito si è rapportato il fabbisogno annuo di energia dell'appartamento all'efficienza energetica del metano, pari a circa 10 kWh/m³, ottenendo il quantitativo di combustibile necessario per il riscaldamento dell'involucro (288 m³): la spesa richiesta per l'appartamento virtuale corrisponde al 326% di quella per la Residenza Annamaria.

Il metodo *IPCC* evidenzia come nella fase operativa (-1.691 kgCO_{2eq}/anno per l'unità A rispetto alla B) siano sufficienti soltanto 2,2 anni per recuperare il surplus di produzione di gas serra causato dalla costruzione dell'appartamento ad alte prestazioni (+3.752 kgCO_{2eq}) e 4 anni per ammortizzare il gap di emissioni dovuto ad entrambe le fasi di costruzione e dismissione (+6.761 kgCO_{2eq}). Facendo lo stesso tipo di confronto con il metodo *CED*, si evince che il tempo di recupero completo dell'eccesso di spesa energetica relativamente alla fase di assemblaggio dell'unità reale (+201.290 MJ_{eq} rispetto a quella virtuale) è di 7 anni di esercizio (-28.741 MJ_{eq}/anno per l'unità A rispetto alla B).

Considerando i kgCO_{2eq} il risultato dell'indagine condotta col metodo *IPCC* per la fase di esercizio dei due involucri edilizi evidenzia come nel caso dell'unità ad elevate prestazioni la quantità di CO₂ emessa nella fase utile di vita sia di 6,38 kgCO_{2eq}/m², contro i 20,8 kgCO_{2eq}/m² dell'unità virtuale ($\Delta = -14,4$ kgCO_{2eq}/m², pari al 69% in meno rispetto alla costruzione tradizionale simulata) [4].

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. ISO/TR 14025, Etichette e dichiarazioni ambientali di Tipo III, 2000;
2. G. Beccali, et al., La Termotecnica, *Analisi del ciclo di vita di un laterizio porizzato*, Gennaio/Febrero 2009;
3. UNI 8290-1, *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia*, 01/09/1981;
4. A. Gagliardi, *Analisi del ciclo di vita e dichiarazione ambientale di prodotto. Applicazione ad un edificio residenziale ad elevate prestazioni*, tesi di laurea, facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Perugia, 2009.

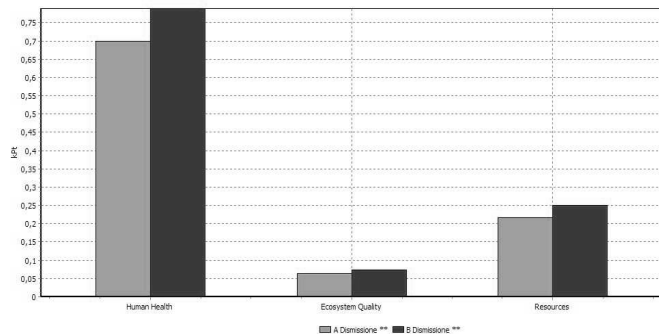


Figura 8: Eco-indicator: confronto della fase di dismissione

CED 2001

In Figura 9 è possibile notare come, nella fase finale della vita utile delle unità considerate, sia più dispendioso demolire o comunque dismettere un involucro tradizionale (B), meno prestazionale, rispetto ad un involucro all'avanguardia (A). Il dispendio di energia si concentra anche in questo caso nella categoria delle risorse fossili non rinnovabili, con una differenza percentuale del 7,3% in più per l'unità di tipo B.

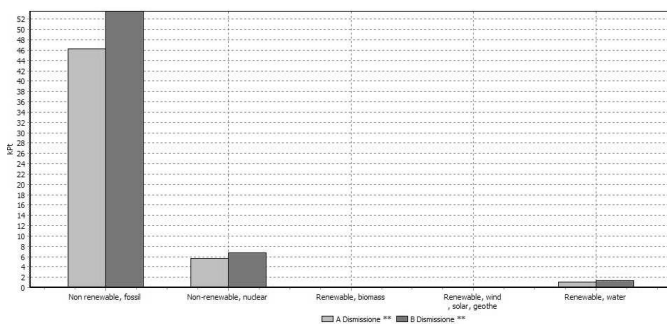


Figura 9. CED: confronto della fase di dismissione

IPCC 2007

Applicando anche al caso della dismissione il metodo di valutazione degli impatti in base ai kgCO_{2eq} nell'arco temporale di 100 anni, si ottiene un risultato importante (Figura 10): la valutazione mette in risalto il maggiore inquinamento causato proprio da questo processo per la dismissione dell'involucro di tipo A. Il tutto è probabilmente riconducibile alla presenza, nella prima tipologia di involucro, di materiali termo-fono isolanti con caratteristiche chimiche e di composizione tale da provocare un maggiore impatto a livello di immissione di CO₂ nell'aria.

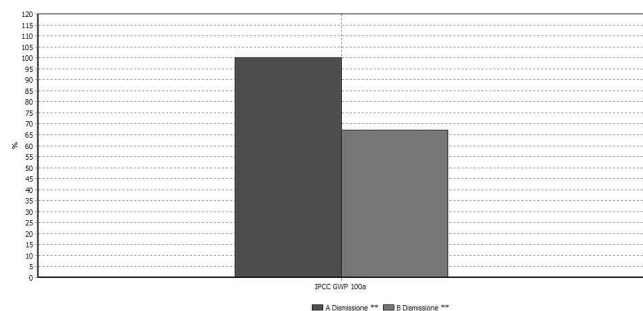


Figura 10. IPCC: confronto della fase di dismissione