

# L'analisi del ciclo di vita applicata agli edifici residenziali il caso studio di un edificio mono-familiare

I consumi energetici imputabili alla gestione complessiva degli edifici rappresentano circa il 42% dei consumi di energia primaria nell'UE. Oltre all'energia consumata durante la fase d'uso, questa quota include anche i contributi di ciclo di vita relativi alla produzione di materie prime, costruzione, manutenzione e smaltimento finale. Nel presente studio, la metodologia della Life Cycle Assessment (LCA) è stata applicata ad un edificio residenziale mono-familiare rappresentativo del contesto edilizio dell'Italia meridionale, con l'obiettivo di individuare fasi e componenti responsabili degli impatti maggiori. L'analisi ha confermato il ruolo dominante della fase d'uso (responsabile, ad esempio, del 72% dei consumi globali di energia primaria) nel bilancio ambientale dell'edificio, ma ha anche evidenziato il contributo significativo della costruzione dell'edificio e della produzione delle materie prime (incidenti per circa il 20%), ed un contributo marginale della manutenzione (6%) e dello smaltimento (2%).

Gli attuali modelli di produzione e consumo possono rappresentare per il futuro una seria minaccia sia per l'ambiente che per il benessere economico e sociale. L'uso eccessivo di materie prime ed energia, la degradazione del suolo e degli habitat naturali, le emissioni di sostanze inquinanti, stanno alterando gli ecosistemi e superando l'attuale capacità di carico del nostro Pianeta. Per fronteggiare queste concrete minacce, occorre che le politiche future siano orientate a realizzare dei modelli di produzione e consumo sostenibili, in cui la crescita economica sia armonizzata con le esigenze ambientali e sociali [1]. Questa transizione richiederà l'introduzione di innovazioni sociali, culturali, tecnologiche ed organizzative che dovranno coinvolgere tutti i principali soggetti, pubblici e privati.

Uno dei sistemi economici particolarmente significativi nell'economia dell'Unione Europea è quello delle costruzioni: si stima che circa il 10% del PIL (1.305 bilioni di euro) e circa il 7,3% della forza lavoro (13,2 milioni di persone) siano legati ad esso [2]. La produzione di materiali edili, la costruzione, l'uso, la manutenzione e lo smaltimento a fine vita degli edifici, costituiscono una delle principali fonti degli impatti ambientali europei. Nell'UE il settore delle costruzioni è infatti responsabile di circa il 42% dei consumi finali di energia e del 50% delle materie prime, produce circa il 35% delle emissioni di gas climalteranti e il 50% dei rifiuti [2], [3]. Tali impatti sono attribuibili principalmente al comparto residenziale (che rappresenta circa il 46% del patrimonio edilizio complessivo), ed in misura minore al settore non residenziale (31%) ed all'ingegneria civile (23%) [4]. Di conseguenza, il settore delle costruzioni riveste un ruolo chiave per le future strategie di sostenibilità, e dovrà essere oggetto di iniziative di miglioramento quali l'ottimizzazione energetica del sistema edificio-impianto e la minimizzazione degli impatti ambientali connessi alla produzione, impiego e smaltimento dei materiali edili [5].

**TABELLA 1 - ANALISI DEL CICLO DI VITA DEGLI EDIFICI: CASI-STUDIO EUROPEI**

Caratteristiche degli edifici	Indicatori	Note	Biblio
Edifici bi-familiari con differenti soluzioni di progettaz. ad alta efficienza, con superficie compresa tra 176 m <sup>2</sup> e 200 m <sup>2</sup> , vita utile: 80 anni	Consumo specifico medio* di energia primaria riferito al ciclo di vita compreso tra 0,39 e 0,79 GJ/(m <sup>2</sup> anno)	Studio finanziato dalla Commissione Europea, eseguito in Germania	[11]
Edificio "a basso consumo" con soluzioni progettuali ad alta efficienza: confronto dei consumi in fase d'uso e nelle altre fasi del ciclo di vita.	Consumo specifico globale di energia in fase d'uso: 8,2 GJ/m <sup>2</sup> ; Consumo specifico globale di energia nelle altre fasi (manifattura materiali, manutenzione edificio, trasporti): 7 GJ/m <sup>2</sup>	Studio realizzato nel nord Europa	[12]
1) Residenze mono-familiari 2) Residenze multi-familiari 3) Uffici	1) Consumo specifico medio**: 1,5 GJ/(m <sup>2</sup> anno); 2) Consumo specifico medio**: 1,15 GJ/(m <sup>2</sup> anno); 3) Consumo specifico medio**: 0,82 GJ/(m <sup>2</sup> anno)	Studio realizzato in Svizzera per valutare la distribuzione dei consumi energetici nel settore delle costruzioni	[13]
Edifici residenziali a basso consumo (superficie di circa 120 m <sup>2</sup> )	Consumo specifico medio di energia in fase d'uso: 0,22 GJ/(m <sup>2</sup> anno), di cui 0,04 GJ/(m <sup>2</sup> anno) per il riscaldamento	Studio realizzato in Svezia	[14]

\* Il consumo specifico medio di energia primaria riferito al ciclo di vita di un edificio di riferimento realizzato secondo gli standard costruttivi e i requisiti legislativi tedeschi è di 0,73 GJ/(m<sup>2</sup>anno). - \*\* Consumo specifico medio di energia primaria riferito al ciclo di vita

### Analisi del ciclo di vita di un edificio

L'analisi energetico-ambientale di un edificio è spesso limitata alla stima degli impatti relativi alla fase d'uso, attraverso la computazione dei consumi diretti di materiali e di energia. Sebbene tali impatti siano generalmente dominanti, tale approccio si dimostra riduttivo poiché tende a sottovalutare taluni contributi dovuti alle fasi di costruzione, manutenzione, demolizione e smaltimento degli edifici [6]. Una valutazione più precisa e completa delle prestazioni energetiche ed ambientali può essere condotta mediante la metodologia dell'Analisi del Ciclo di Vita (LCA) [7]. La metodologia LCA è inoltre riconosciuta dalla norma ISO 14020 come la base scientifica per l'elaborazione ed il conferimento delle certificazioni ambientali di prodotto. A tal proposito, la Commissione Europea ha di recente attivato il processo per la definizione dei criteri per l'estensione agli edifici del marchio europeo di qualità ambientale "Ecolabel". A supporto di tale attività di normazione e regolamentazione, la stessa UE ha auspicato l'analisi di un numero sempre crescente di casi studio. Un interessante spunto alla definizione dei criteri Ecolabel è rappresentato dalle esperienze maturate in altri sistemi di certificazione ambientale europei. Tali sistemi però sono configurati per realtà territoriali specifiche, e dunque non facilmente estendibili a tutto il territorio dell'Unione. Ad esempio, i criteri relativi al sistema di certificazione "Nordic Swan"<sup>1</sup> si incentrano soprattutto sulla minimizzazione dei consumi energetici per il riscaldamento invernale, mentre trascurano del tutto la fase di climatizzazione estiva.

#### Lo sviluppo di una LCA

Lo studio LCA di un edificio dovrebbe essere svolto secondo il seguente schema:

1. *Analisi qualitativa e quantitativa dei componenti dell'edificio;*

2. *Analisi della fase di costruzione;*
3. *Analisi dei riferimenti bibliografici* per raccogliere informazioni riguardanti gli eco-profilo dei materiali da costruzione e degli impianti;
4. *Analisi dettagliata della fase d'uso*, in cui siano computati tutti i principali consumi di materie prime ed energia;
5. *Analisi degli interventi di manutenzione e restauro*. Questa fase dovrebbe includere l'analisi qualitativa e quantitativa dei materiali impiegati e degli impatti ambientali originati durante le operazioni di manutenzione;
6. *Analisi del "fine vita" dell'edificio*. Tale fase dovrebbe includere i consumi energetici e gli impatti ambientali addebitabili alla demolizione e allo smaltimento e/o recupero dei materiali di risulta. Poiché è difficile prevedere le modalità di smaltimento già all'atto della progettazione, è auspicabile il ricorso ad un'analisi degli scenari [8], [9], nella quale siano contemplate e valutate diverse ipotesi e tecnologie di trattamento dei rifiuti;
7. *Elaborazione dei dati* finalizzata all'ottenimento di indici ambientali, che consentano di aggregare le informazioni relative alle prestazioni ambientali dell'edificio;
8. *Individuazione dei "punti chiave" dello studio*, che devono essere approfonditi allo scopo di migliorare l'affidabilità scientifica dell'analisi. Tale fase deve includere un'analisi di sensibilità ed incertezza per la valutazione degli effetti che le ipotesi ed assunzioni iniziali hanno sui risultati finali [10].

#### Stato dell'arte

Nell'UE sono state svolte numerose ricerche LCA su edifici, e ciò al fine di valutare le prestazioni energetiche ed ambientali di varie tipologie di costruzioni presenti in differenti aree geografiche. La tabella 1 sintetizza i valori di alcuni indici energetici relativi ai differenti casi studio esaminati. In generale, tali ricerche hanno stimato che:

<sup>1</sup> Nordic Ecolabeling, Swan labeling of Small houses, version 1.4, 15 March 2005-31 March 2009.

- l'adozione di soluzioni progettuali ad alta efficienza (migliore isolamento termico, impianti a maggiore efficienza, impiego di materiali a basso contenuto di energia incorporata, ecc.) consente di ridurre sensibilmente i consumi energetici complessivi;
- un basso livello di isolamento termico o l'utilizzo di energia elettrica per il riscaldamento incidono negativamente sulle prestazioni energetico-ambientali degli edifici;
- i consumi relativi alla fase d'uso risultano sempre dominanti rispetto a quelli relativi alle altre fasi del ciclo di vita;
- i maggiori consumi durante la fase d'uso sono imputabili al riscaldamento degli ambienti ed alla produzione di acqua calda sanitaria;
- negli edifici caratterizzati da elevate prestazioni ambientali, la fase di costruzione riveste un ruolo sempre più importante, fino a rappresentare anche il 50% degli impatti complessivi.

Occorre però sottolineare che questi studi sono relativi solo a contesti dell'Europa centrale e settentrionale. Il presente studio si inquadra dunque in tale attività di ricerca, con lo scopo di analizzare alcune delle peculiarità del comparto edilizio italiano, ed in particolare del mezzogiorno d'Italia.

### Applicazione della metodologia lca ad una villetta monofamiliare: un caso studio italiano

Il presente lavoro consiste in un'applicazione della metodologia LCA ad un'abitazione tipica dell'area mediterranea. L'obiettivo della ricerca è quello di individuare i componenti e le fasi del ciclo di vita dell'edificio che causano i maggiori impatti, con particolare attenzione a quelle fasi che generalmente non sono esaminate in dettaglio (produzione dei materiali da costruzione, fase di manutenzione dell'edificio, smaltimento a fine vita ecc.).

I risultati ottenuti possono rappresentare un supporto scientifico per il processo di definizione dei criteri per la certificazione energetica ed ambientale degli edifici. Lo studio è stato sviluppato in accordo alle fasi indicate nelle norme della serie ISO 14040.

#### Campo di applicazione dello studio LCA

L'unità funzionale selezionata è una villetta mono-familiare ad un'elevazione, con una superficie complessiva di 108 m<sup>2</sup>, localizzata nella periferia della città di Palermo. L'edificio è abitato da tre persone.

L'abitazione ha una struttura portante in cemento armato, con muri esterni ed interni costituiti da laterizi forati e il tetto da tavolame di abete e tegole curve. La caldaia per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria è alimentata a GPL. La climatizzazione estiva è realizzata mediante pompe di calore. La vita media utile dell'edificio è stata stimata in 50 anni.

**TABELLA 2 - PRINCIPALI MATERIALI DA COSTRUZIONE, COMPONENTI E CONSUMI MEDI ANNUI**

Materiali		Quantità
Cemento	[10 <sup>3</sup> kg]	276,2
Mattoni	[10 <sup>3</sup> kg]	33,2
Tegole	[10 <sup>3</sup> kg]	13,6
Piastrelle	[10 <sup>3</sup> kg]	6,5
Intonaci	[10 <sup>3</sup> kg]	4,7
Legno	[10 <sup>3</sup> kg]	4,6
Acciaio	[10 <sup>3</sup> kg]	4
Membrana composita	[10 <sup>3</sup> kg]	1
Acciaio zincato	[10 kg]	221
Sanitari	[10 kg]	151
Vetro	[10 kg]	115
Tubazioni in PVC	[10 kg]	23
Tubazioni in rame	[10 kg]	10
Elettricità	[kWh/anno]	3964
GPL	[GJ/anno]	22,4
Acqua	[m <sup>3</sup> /anno]	318

#### Analisi di inventario

Nella fase di inventario sono stati stimati, con riferimento all'unità funzionale, tutti i consumi di materie prime ed energia, le emissioni in aria e acqua e la produzione di rifiuti solidi. La raccolta dati è stata eseguita come segue:

- *Analisi del computo metrico estimativo e degli elaborati grafici:* raccolta delle informazioni riguardanti la struttura e calcolo delle quantità e tipologie di materiali da costruzione utilizzati;
- *Analisi dei componenti dell'edificio* (finestre, tubazioni, impianti ecc.) al fine di raccogliere informazioni dettagliate sulla loro costituzione e le loro prestazioni;
- *Ricerca bibliografica:* per acquisire informazioni riguardanti l'eco-profilo dei materiali da costruzione, i componenti e gli impianti. I dati sono stati tratti da database specialistici per la LCA [16] [17] [18];
- *Analisi della fase d'uso:* i dati riguardanti i consumi idrici, di energia elettrica e GPL sono stati reperiti attraverso un'attività di monitoraggio della durata di due anni;
- *Analisi della fase di manutenzione:* i consumi relativi alla manutenzione o sostituzione di componenti ed impianti sono stati stimati sulla base delle operazioni svolte dai proprietari dell'abitazione. Ulteriori informazioni sono state richieste alla ditta di costruzione che ha costruito l'immobile;
- *Fase di demolizione e smaltimento:* l'attività di demolizione e gli scenari di fine vita sono stati valutati in collaborazione con la ditta di costruzione. Si è ipotizzato che i materiali inerti e l'acciaio saranno avviati ad un impianto di selezione e recupero, i componenti in legno ed in plastica ad un termovalorizzatore, mentre gli altri rifiuti saranno smaltiti in discarica.

**TABELLA 3 - IMPATTI AMBIENTALI DEL CICLO DI VITA**

Categorie di impatto	U.M.	Totale
Effetto serra potenziale (GWP)	[kg CO <sub>2</sub> eq.]	327.387
Distruzione dello strato di ozono stratosferico (ODP)	[kg CFC <sub>11</sub> eq.]	0,04
Formazione di smog fotochimico (POCP)	[kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]	60
Acidificazione potenziale (AP)	[kg SO <sub>2</sub> eq.]	1.338
Eutrofizzazione potenziale (NP)	[kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq.]	137

La Tabella 2 mostra i principali materiali e i componenti utilizzati per la costruzione e manutenzione dell'edificio ed i consumi medi misurati durante la fase d'uso.

*Valutazione degli impatti*

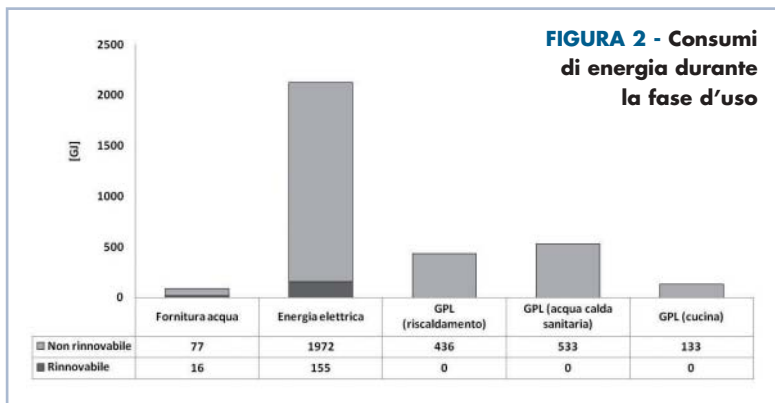
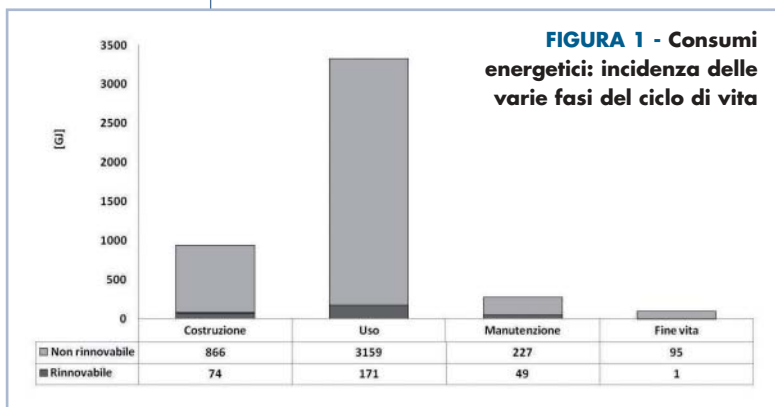
Gli impatti ambientali e i consumi energetici sono stati stimati utilizzando gli indicatori e i fattori di caratterizzazione relativi allo schema di Dichiarazione Ambientale di Prodotto (*Environmental Product Declaration - EPD*) [19]. Dall'analisi dei risultati ottenuti è possibile osservare che (Tabella 3):

- La fase d'uso è dominante in tutti gli indici ambientali, comportando dal 45% al 70% degli impatti complessivi;
- L'incidenza della fase di costruzione sugli impatti complessivi è rilevante, variando dal 23% (per l'indice di GWP) al 30% (per gli indici di NP e POCP);
- Le altre fasi (manutenzione e fine vita dell'edificio) hanno un'incidenza complessiva sugli impatti variabile tra

- il 6% (per l'indice di GWP) e il 20% (per il NP);
  - L'impatto globale relativo alla categoria ODP risulta trascurabile.
- Analizzando in dettaglio i consumi energetici, si è osservato che (Figura 1):
- Il consumo globale di energia primaria (*Global Energy Requirement-GER*) ammonta a circa 4,64·10<sup>3</sup> GJ, cui corrisponde un consumo specifico di 0,86 GJ/m<sup>2</sup> anno;
  - I maggiori consumi sono causati dalla fase d'uso (circa il 72% del totale) e dalla fase di costruzione dell'edificio (circa il 20% del totale), mentre le fasi di manutenzione e fine vita incidono rispettivamente per il 6% e il 2%.
  - Il consumo specifico annuo durante la fase d'uso ammonta a 0,62 GJ/m<sup>2</sup>;
  - L'energia consumata è costituita principalmente da risorse energetiche non rinnovabili (circa il 93,5%). La restante parte di consumo di risorse rinnovabili è imputabile principalmente alla loro presenza nel mix energetico italiano per la produzione dell'elettricità ed all'utilizzo di materiali rinnovabili (biomasse) nei componenti dell'edificio;
  - Da un dettaglio della fase d'uso (Figura 2) è emerso che la maggior parte dei consumi (2.127 GJ pari al 64%) è relativa all'utilizzo di energia elettrica. Tali consumi ed i relativi impatti potrebbero essere ridotti sensibilmente attraverso l'attuazione di buone pratiche gestionali e l'utilizzo di impianti ed elettrodomestici ad alta efficienza energetica. Inoltre si è stimato che i consumi per il riscaldamento degli ambienti incidono solamente per il 13% (grazie anche alla presenza di condizioni meteorologiche favorevoli), mentre quelli per la produzione di acqua calda sanitaria per circa il 16%. Infine le attività di cottura dei cibi e di approvvigionamento di acqua incidono rispettivamente per il 4% e il 2,4% del totale.

**Conclusioni**

Nel presente lavoro è stata presentata l'Analisi del Ciclo di Vita di un'abitazione mono-familiare rappresentativa delle tipologie costruttive presenti nell'Italia meridionale. Lo studio è stato eseguito nell'ambito del progetto di ricerca "Genius Loci - Ruolo del settore edilizio sul cambiamento climatico" finanziato dal Fondo Integrativo Speciale per la Ricerca (FISR). L'analisi è stata effettuata sulla base di dati di campo e stime relativi all'intero ciclo di vita dell'edificio, includendo la valutazione delle fasi di: progettazione, produzione dei materiali da costruzione e componenti, costruzione ed installazione degli impianti, uso, manutenzione e fine vita. Gli eco-profili dei materiali da costruzione, degli impianti installati e delle risorse energetiche utilizzate sono stati tratti da database internazionali per la LCA. I risultati dell'analisi hanno mostrato l'incidenza dominante della fase d'uso relativamente ai vari indici ambientali ed energetici considerati. In particolare, per quanto riguarda il consumo di energia primaria e l'emissione di gas climalteranti, la fase d'uso



è responsabile per circa il 72%. Un'analisi dettagliata della fase d'uso ha evidenziato che i maggiori impatti sono imputabili all'utilizzo di elettricità e, in misura minore all'utilizzo di GPL per il riscaldamento, la produzione di acqua calda sanitaria e la cottura dei cibi. Del consumo di elettricità, la maggior aliquota è imputabile all'uso degli elettrodomestici, la cui regolamentazione assume dunque un ruolo determinante per le future strategie comunitarie per la sostenibilità. Ingenti benefici energetico-ambientali potrebbero essere ottenuti attraverso l'attuazione di buone pratiche gestionali dell'abitazione e mediante l'utilizzo di elettrodomestici ed impianti ad alta efficienza energetica.

Le stime degli indici ambientali sono risultate molto differenti rispetto ai valori riportati nella letteratura scientifica. In particolare, rispetto alle analisi condotte per edifici del Centro e del Nord Europa, l'edificio in studio ha mostrato un valore inferiore del consumo energetico per il riscaldamento invernale; ciò è imputabile anche al clima invernale mite ed alle pratiche di risparmio energetico attuate dagli abitanti dell'edificio. Si è invece constatato un elevato consumo di energia elettrica per le apparecchiature, ed in particolare per le pompe di calore impiegate nel periodo estivo. Gli edifici dell'area mediterranea possiedono dunque delle specificità connesse alle condizioni meteo-climatiche ed alle modalità di costruzione e gestione. I risultati ottenuti possono essere utilizzati come riferimento per la valutazione della sostenibilità nel settore dell'edilizia residenziale e, in particolare possono rappresentare un supporto scientifico per il processo di definizione dei criteri per la certificazione energetica ed ambientale degli edifici.

## Bibliografia

- [1] Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - DSA Documento preliminare per la strategia italiana per il consumo e produzione sostenibile, Bozza per la consultazione - 7 marzo 2008.
- [2] Commission of the European Communities, COM (2007) 860 final, *A lead market initiative for Europe*.
- [3] European Commission, Sustainable construction final report, <http://ec.europa.eu/enterprise/construction/suscon/sustcon.htm>.
- [4] Commission of the European Communities, SEC (2007) 1730, *A lead market initiative for Europe Explanatory Paper on the European Lead Market Approach: Methodology and Rationale*.
- [5] Wienke U., *Manuale di bioedilizia*, DEI, 2004.
- [6] M. Asif, T. Muneer, R. Kelley, *Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland*, Building and Environment 42 (2007) 1391-1394.
- [7] UNI EN ISO 14040, *Environmental management, Life cycle assessment, Principles and framework*, July 2006.
- [8] R. Heijungs, M. A.J. Huijbregts, *A Review of Approaches to Treat Uncertainty in LCA*, p. 332-339, in C. Pahl-Wostl, S. Schmidt, A.E. Rizzoli, & A.J. Jakeman (Eds), *Complexity and Integrated Resources Management*, Transactions of the 2nd Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society, Volume 1. IEMSS (ISBN 88-900787-1-5), Osnabrück. 2004.
- [9] A. E. Björklund, *Survey of approaches to improve reliability in LCA*, International Journal LCA 7 (2) 64-72 (2002).
- [10] F. Ardente, G. Beccali, M. Cellura, S. Longo, A. Marvuglia, *Requisiti di qualità dei dati negli studi di life cycle assessment (LCA) e nelle dichiarazioni ambientali di prodotto (DAP)*, Atti dell'8° Congresso Nazionale Ciriaf, Perugia, 4-5 aprile 2008.
- [11] European Commission-Directorate General Environment, *Study on external environmental effects related to the life cycle of Product and Services - Appendix 2, Case Studies*, February 2003.
- [12] Thormark, *A low energy building in life cycle - its embodied energy, energy need for operation and recycling potential*, Building and Environment, 37, pp. 429-435, 2002.
- [13] M. Zimmermann, H.J. Althaus, A. Haas, *Benchmarks for sustainable construction. A contribution to develop a standard*, Energy and Building, 37 (2005) pp.1147-1157.
- [14] J.F. Karlsson, Bahram Moshfegh, *A comprehensive investigation of a low-energy building in Sweden*, Renewable Energy, 32 (2007) pp. 1830-1841.
- [15] C. Scheuer, G.A. Keoleian, P. Reppe, *Life cycle energy and environment performance of a new university building: modeling challenges and design implications*, Energy and Building, 35 (2003) pp. 049-1064.
- [16] Boustead Consulting Ltd. Black Cottage, West Sussex, UK, Environmental database, ver. 4.4., 2001.
- [17] PE international GmbH, GaBi LCA databases, Version 4, 2006.
- [18] Prè-Product Ecology Consultants, Sima-Pro 7, environmental LCA database, 2006.
- [19] Swedish Environmental Management Council, Requirements for Environmental Product Declarations, EPD an application of ISO TR 14025 TYPE III Environmental Declarations, MSR 1999:2, 2000-03-27

## abstract

ENGLISH

**The Life-cycle Assessment of Residential Buildings: a Case Study of a Mono-familiar House.** The energy consumptions related to the building sector throughout their entire life cycle represent a meaningful share (around 42%) of the primary energy consumptions in UE. This rate includes the consumptions due to life cycle steps often neglected or not deeply investigated, as the energy for the manufacture of building materials, for the construction, maintenance and the waste management. The paper discusses a LCA applied to a mono-familiar house representative of the building context of southern Italy. The study aims to locate and assess the phases and components responsible of the greater impacts. The analysis showed the key role of the use phase (responsible of around 72% of the global primary energy consumptions) but also the meaningful contributions of other phases, as production of the raw materials (around 20%), maintenance (6%) and final disposal (2%).