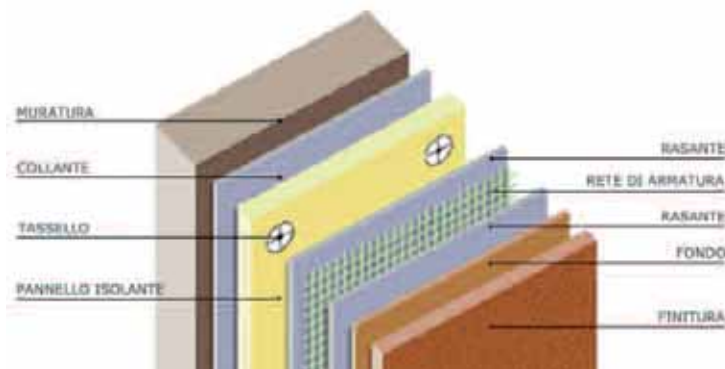


Il metodo LCA viene usato anche in edilizia con risultati positivi, soprattutto per l'analisi comparativa tra materiali o sistemi. In questo articolo si evidenziano le caratteristiche di diversi materiali per l'isolamento a cappotto.



Schema di una coibentazione a cappotto.

Coibenti per "cappotto" esterno

Valutazione con metodologia LCA

di Giuseppe Aiello ¹⁾, Carola Arrivas Bajardi ¹⁾, Mario Enea ¹⁾, Michele Fiore ²⁾, Paolo Neri ³⁾

¹⁾ Università degli Studi di Palermo, Facoltà di Ingegneria;

²⁾ Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Sicilia;

³⁾ LCA-lab SRL, spin-off di primo livello dell'ENEA di Bologna.

Negli ultimi anni la metodologia LCA (Life Cycle Assessment)[1], che trova il principale vantaggio in una visione sistemica e non settoriale degli impatti ambientali, viene applicata con esito positivo al settore dell'edilizia. Tale metodologia è stata recentemente adottata dalla CE per la definizione dei criteri per l'estensione del marchio europeo di qualità ambientale "Ecolabel" agli edifici.

La stessa Comunità Europea offre incentivi, stabilisce normative, segnala procedure e, con estrema chiarezza, indica la necessità di conseguire gli obiettivi del "20-20-20" nel più breve tempo possibile. Ciononostante, a causa degli standard sempre più elevati di vita e del conseguente aumento dei livelli di

comfort, il riscaldamento e il raffreddamento degli ambienti coprono più della metà del consumo domestico di energia nell'Ue.

Se si considera poi che le attività di costruzione consumano più materie prime, in peso, (fino al 50%) rispetto a qualsiasi altro settore industriale e che l'ambiente costruito rappresenta la quota maggiore di emissioni di gas serra (circa il 40%) in termini di utilizzo finale dell'energia [2], si comprende come il settore delle costruzioni rivesta un ruolo chiave per le future strategie di sostenibilità.

In generale i recenti studi LCA nel settore dell'edilizia suggeriscono l'adozione di un migliore isolamento termico e l'impiego di materiali a basso contenuto di energia incorpo-

rata per la riduzione dei consumi energetici complessivi, di cui quelli relativi alla fase d'uso risultano essere dominanti sull'intero ciclo di vita.

LCA per pareti in Sicilia

Con il presente studio si è voluta applicare la metodologia LCA alla scala dell'elemento tecnico (chiusura perimetrale opaca) con riferimento al contesto siciliano.

L'obiettivo dello studio è quello di migliorare l'eco-efficienza di una muratura di tamponamento esterno, non solo riducendo la trasmittanza termica entro il limite di $0,48 \text{ W/m}^2\text{K}$ per la zona climatica B (Agrigento, Catania, Palermo), in vigore dal 1° gennaio 2010 (d.lgs. 192/05, modificato dal d.lgs. 311/06), ma anche



Calcarenite



Sughero



Lana di roccia



Isolante in EPS



Polistirene vergine

trovando il coibente che, a parità di spessore, produce il minor impatto ambientale.

Il sistema considerato

I confini del sistema comprendono tutte le fasi del ciclo di vita del sistema di chiusura perimetrale, cui è stata attribuita una vita utile di 60 anni. Tali fasi sono: l'estrazione delle risorse, la produzione e il trasporto delle materie prime, la produzione e il trasporto dei materiali, la messa in opera del sistema, l'uso ed il fine vita.

In particolare sono stati studiati quattro sistemi: un sistema non coibentato e tre sistemi coibentati mediante "cappotto" esterno.

Il sistema non coibentato è costituito da una muratura esterna in blocchi di pietra arenaria calcarea, (calcarenite), utilizzata comunemente in Sicilia e avente buone caratteristiche di inerzia termica per il clima mediterraneo. Queste caratteristiche si traducono in un coefficiente di sfasamento dell'onda termica di circa 11h ed in un fattore di attenuazione di 0,12. Malgrado ciò tale struttura presenta una U di $2,13\text{W/m}^2\text{K}$, vale a dire molto al di sopra della soglia limite di $0,48\text{W/m}^2\text{K}$.

Al fine di ridurre la trasmittanza termica al di sotto di tale soglia, si è ipotizzato di applicare un sistema di coibentazione esterno a "cappotto", così da correggere i ponti termici e ridurre gli effetti indotti nelle strutture dalle variazioni della temperatura esterna, evitando fenomeni di condensa e migliorando il comfort interno.

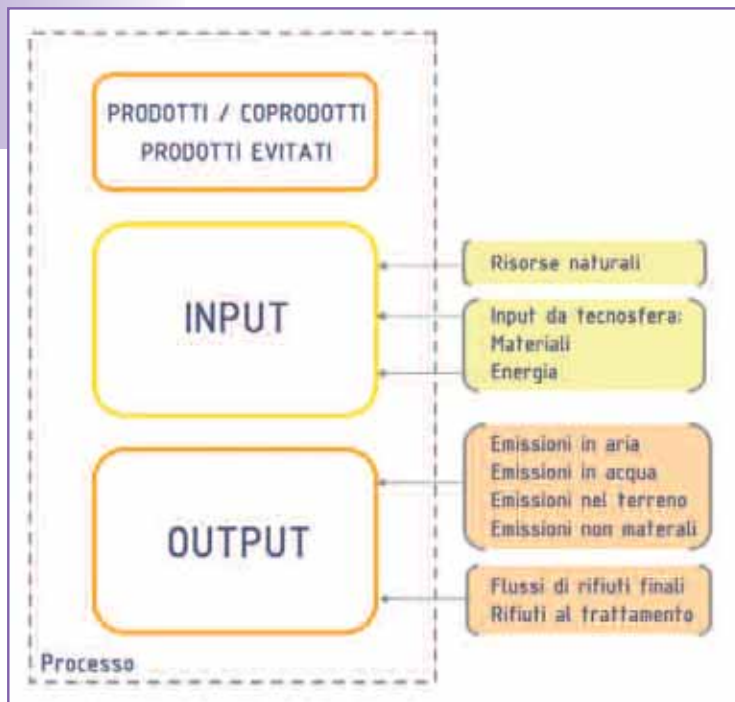
In particolare è stato scelto un sistema a "cappotto" del tipo incollato (collante-rasante di malta di calce idraulica e cemento) con rete di armatura in fibra di vetro e fissaggio meccanico supplementare (tasselli in PP). I tre sistemi studiati hanno le medesime caratteristiche tecniche, eccetto che per i materiali degli strati isolanti, che hanno uguale spessore (7cm) ma diversa origine, in particolare:

- pannello in sughero espanso bruno (autocollato con resine naturali) di origine vegetale;
- pannello in lana di roccia, di origine minerale;
- pannello in polistirene espanso sinterizzato (EPS), di origine sintetica.

Da un primo confronto è emerso che il sistema con sughero espanso possiede i parametri dinamici più vantaggiosi (fattore di attenuazione di 0,04, sfasamento di 13h 37') mentre il sistema con EPS risulta avere la maggiore resistenza termica ($2,5\text{ m}^2\text{K/W}$)

La struttura di un processo secondo il codice di calcolo Simapro.

Proprietà termofisiche dei sistemi a "cappotto"			
Caratteristiche	Cappotto con sughero espanso	Cappotto con lana di roccia	Cappotto con EPS
Spessore [m]	0,34	0,34	0,34
Massa superficiale [kg/m ²]	722,7	725,8	717,1
Resistenza [m ² K/W]	2,2	2,2	2,5
Trasmittanza [W/m ² K]	0,45	0,45	0,41
Fattore di attenuazione	0,04	0,05	0,05
Sfasamento	13h 37'	13h 12'	12h 44'



Analisi dell'inventario

Dopo aver definito l'obiettivo e il campo di applicazione dello studio si è proceduto con l'analisi di inventario mediante il codice di calcolo Simapro 7.1.8. Per la composizione dei processi sono stati utilizzati dati secondari tratti per la maggior parte da banche dati specialistiche per la LCA [3] [4] [5] che, ove necessario, sono state aggiornate e modificate con dati provenienti da studi di settore [6] [7] [8] [9] [10]. Al fine di garantire l'attendibilità dello studio si è prestata particolare attenzione alla qualità dei dati e in particolare ai processi di:

- produzione dei materiali - processi tratti principalmente dalla banca dati Ecoinvent v.2 [4], includono

dati relativi alle infrastrutture all'occupazione del suolo, oltre che dati integrativi aggiunti appositamente, riguardanti il trasporto e all'imballo del prodotto finito (film termoretraibile in LDPE, cartone, europallet);

- trasporto - processi tratti principalmente dalla banca dati Ecoinvent v.2 [4], includono dati relativi alle operazioni di trasporto, produzione, manutenzione e dismissione sia del veicolo che della quota parte di infrastruttura ad esso associata;
- produzione dell'energia elettrica - processi tratti dalla banca dati ETH-ESU 1996 [4], includono la produzione, la trasformazione, la fornitura di energia a basso e a medio voltaggio, le infrastrutture, le reti per la trasmissione e la distribuzione (incluse le perdite di energia).

Il processo "Electricity mix Italy, including imports from other countries", riferito al periodo 1990-1994 e relativo alla produzione ed alla trasmissione dell'energia elettrica proveniente dal mix energetico italiano, utilizzato nella fase di assemblaggio e nella fase d'uso, è stato aggiornato con dati del GSE

La metodologia LCA secondo le norme ISO.



Confronto tra pannelli coibenti con spessore di 7cm - Domanda di energia cumulativa.			
Caratteristiche tecniche	Pannello in EPS	Pannello in lana di roccia	Pannello in sughero espanso
Massa frontale [kg/m ²]	0,34	0,34	0,34
Densità [kg/m ³]	722,7	725,8	717,1
Conducibilità [W/mK]	2,2	2,2	2,5
Spessore [m]	0,45	0,45	0,41
Resistenza termica [m ² K/W]	0,04	0,05	0,05
Trasmittanza termica [W/m ² K]	13h 37'	13h 12'	12h 44'
Energia incorporata [MJeq/kg]	113	26,6 M	38,5
Energia incorporata [MJeq/m ²]	237	289 M	296

(Gestore Servizi Elettrici) risalenti al 2003, provenienti da uno studio effettuato con il CNR [6].

Per quanto riguarda il riscaldamento invernale e la climatizzazione estiva è stata calcolata l'energia teorica che è necessario fornire per garantire il comfort interno nei 60 anni di vita utile, considerando un impianto a pompa di calore elettrica aria-aria con un valore del COP pari a 3.

Ai fini dello studio non sono stati considerati i beni strumentali quali i macchinari per il riscaldamento invernale e il raffrescamento estivo, oltre che i macchinari da cantiere. Una volta completato l'inventario, i processi considerati sono stati messi in relazione per l'assemblaggio del sistema di involucro perimetrale opaco (U.F.:1 m²), come segue :

- processi di produzione dei materiali (malte, pannelli, reti di armatura in fibra di vetro, tasselli in PP, ecc.);
- processi di trasporto dei materiali;
- processi di montaggio del sistema (energie di cantiere).

Il ciclo di vita, riferito a 1m² di involucro esterno opaco per 60 anni di vita utile, è stato costruito secondo il seguente schema:

- Assemblaggio del sistema: materiali ed energie per l'assemblaggio;

- Processi della fase d'uso (energia invernale, energia estiva) e manutenzione (intonacatura delle pareti);

- Scenario di smaltimento: processi relativi al fine vita dei materiali che compongono il sistema.

Vista la complessità di alcuni scenari dalle caratteristiche estremamente variabili che dipendono dalle legislazioni locali, lo scenario di smaltimento dei materiali che compongono il sistema è stato ipotizzato di dati di letteratura [3] [6].

Valutazione degli impatti

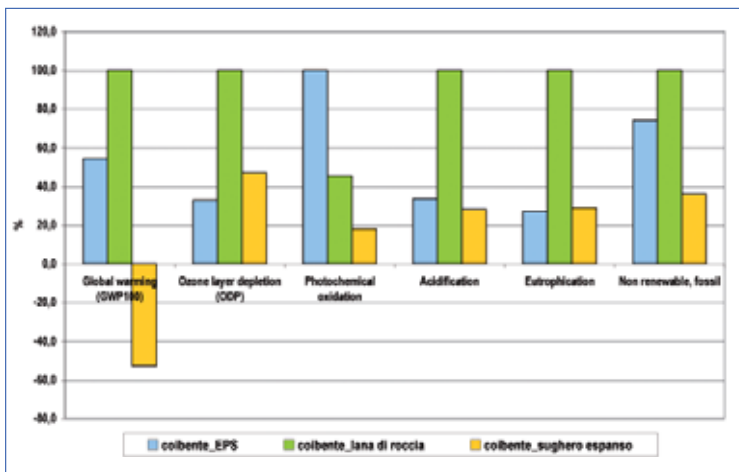
La prima fase della valutazione si basa sul confronto della domanda di energia cumulativa (Gross Energy Requirement -GER) o incorporata

[11] nei pannelli coibenti con riferimento a due unità funzionali: 1kg di coibente, 1m² di coibente avente lo spessore di 7cm.

I confini del sistema includono i processi esclusivamente legati alla manifattura ed al trasporto dei prodotti (incluso il trasporto del prodotto finito ai centri di distribuzione).

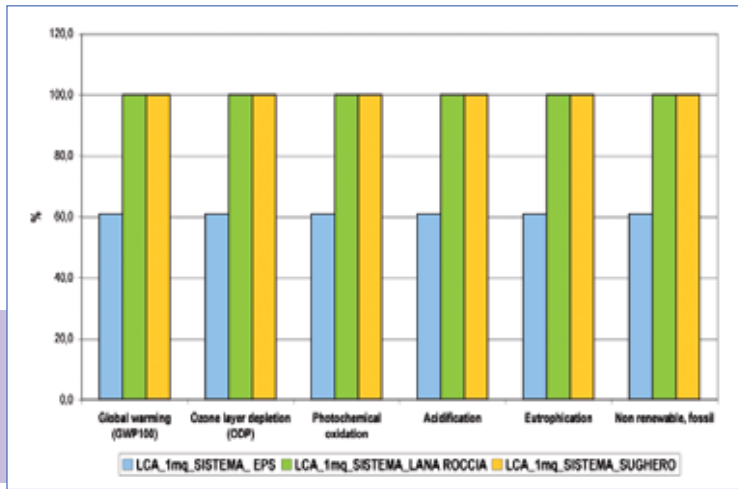
Per il confronto è stato utilizzato il "single issue method" Cumulative Energy Demand (CED) V1.05 [12]. Dall'analisi effettuata emerge che modificando l'unità funzionale di riferimento e quindi i confini del sistema, entrano in gioco quantità differenti che modificano il quadro degli impatti, in particolare si osserva che:

- dall'analisi dell'energia incorporata riferita a 1kg di coibente risulta che l'impatto maggiore è dato dall'EPS (113MJeq);
- dall'analisi della energia incorporata riferita ad 1m² (S=7cm) di coibente risulta che il sughero espanso possiede la maggiore energia incorporata con 296MJeq (di cui il 60% è da attribuire alla biomassa rinnovabile del sughero grezzo), mentre l'impatto minore è



Indicatori di caratterizzazione.
Metodo: EPD 2007
V1.02_Indicatore:
Caratterizzazione_UF: 1m².

Metodo: EPD 2007
V1.02_Indicatore:
Caratterizzazione_ confronto tra
LCA_ UF: 1m².



dato dal pannello in EPS con 237MJeq (di cui il 91% proviene principalmente dalle fonti fossili non rinnovabili presenti nel mix energetico italiano).

Tali risultati dipendono principalmente dalle caratteristiche dell'EPS che, in virtù di struttura cellulare chiusa e formata per il 98% di aria, ha una densità molto più bassa rispetto a quella degli altri coibenti (30kg/m³ contro i 110kg/m³ del sughero espanso e i 155kg/m³ della lana di roccia). Da ciò deriva una minor quantità di materiale da assemblare, produrre e trasportare (2,1kg/m² contro i 7,7kg/m² del sughero espanso e i 10,85kg/m² della lana di roccia) per l'unità di volume considerata.

Nella seconda fase della valutazione i tre coibenti sono stati confrontati

con riferimento all'unità funzionale di 1m² (S=7cm), tramite il "midpoint method" EPD 2007 V1.02 [12], che è stato creato dal Ministero dell'Ambiente svedese (Swedish Environmental Management Council o SEMC) e viene utilizzato per la creazione di EPD® (Environmental Product Declarations) [13].

Dai risultati ottenuti tramite gli indicatori di caratterizzazione è possibile osservare che:

- il coibente in lana di roccia risulta avere il maggior impatto in tutti gli indici ambientali, eccetto che per la categoria Photochemical oxidation, dove il maggiore impatto è dato dal coibente in EPS con 0,02 kg C2H4, generati principalmente dalle sostanze pentano (0,01 kg C2H4) ed NMVOC (non-methane volatile organic com-

- il sughero espanso produce un impatto negativo nella categoria GWP100, che si traduce in un vantaggio ambientale corrispondente a 9 kg di CO₂ eq evitate al m², tale vantaggio deriva dall'assorbimento della CO₂ da parte delle querce da sughero, che viene resa col fine vita delle stesse. Nella terza fase della valutazione stati confrontati gli impatti associati al ciclo di vita di 1m² di muratura coibentata a "cappotto", con ciascuno dei tre pannelli di spessore pari a 7cm, nei 60 anni di vita utile, mediante il metodo EPD 2007 V1.02.

Dal confronto è risultato che, a parità di spessore, i sistemi più impattanti sono il "cappotto" con lana di roccia e il "cappotto" con sughero, mentre il "cappotto" con EPS produce impatti nettamente più bassi secondo tutti gli indici ambientali. Infatti a parità di spessore il sistema con EPS possiede una maggiore resistenza termica (2,5m²k/W) rispetto agli altri due sistemi (2,2m²k/W), e quindi risulta essere più efficiente durante la fase d'uso. Come si può osservare dai risultati della caratterizzazione della LCA del sistema con EPS, la fase d'uso (climatizzazione estiva, riscaldamento invernale) risulta essere dominante rispetto alle altre fasi del ciclo di vita. Osservato che il sistema a "cappotto" con EPS produce il minor impatto a parità di spessore, è stata condotta un'analisi di sensibilità tramite il confronto degli impatti associati al ciclo di vita di quest'ultimo con quelli del sistema non coibentato. I risultati ottenuti tramite il metodo EPD 2007 V1.02, mostrano che l'impatto del sistema non coibentato è dominante secondo tutti gli indici ambientali, a causa di un maggior dispendio di

Metodo: EPD 2007 V1.02_Indicatore: Caratterizzazione_LCA del sistema coibentato con EPS – UF 1m ²						
Categoria d'impatto	Unità	Totale	Costruzione	Uso	Manutenzione	Fine vita
Global warming (GWP100)	%	100	0,017	99,976	0,005	0,002
Ozone layer depletion (ODP)	%	100	0,006	99,992	0,002	0,0001
Photochemical oxidation	%	100	0,03	99,965	0,004	0,001
Acidification	%	100	0,012	99,985	0,002	0,0005
Eutrophication	%	100	0,029	99,965	0,004	0,003
Non renewable, fossil	%	100	0,023	99,973	0,004	0,0005

energia in fase d'uso. In definitiva, migliorando l'eco-efficienza della muratura esterna, tramite un intervento di coibentazione a "cappotto" con EPS, è possibile evitare l'emissione di 16 t di CO₂ eq all'anno.

Considerazioni conclusive

I risultati ottenuti nel presente studio LCA confermano che l'adozione di un migliore isolamento termico contribuisce alla riduzione dei consumi energetici relativi alla fase d'uso e che questi risultano avere impatti dominanti sull'intero ciclo di vita. La coibentazione degli edifici risulta, dunque, necessaria al fine di migliorare l'eco-efficienza delle strutture ed evitare così l'emissione dei gas serra. Nel caso specifico l'applicazione di una coibentazione a "cappotto" con un pannello in EPS dello spessore di 7cm

Metodo: EPD 2007 V1.02_Indicatore: Caratterizzazione_ confronto tra LCA del sistema coibentato con EPS e non coibentato _ UF: 1m ²			
Categoria d'impatto	Unità	LCA 1m ² sistema calcarenite	LCA 1m ² sistema EPS
Global warming (GWP100)	kg CO ₂ eq	1.214.163,7	256.074,5
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0,35	0,09
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄	492,96	118,41
Acidification	kg SO ₂ eq	5.226,52	1.285,33
Eutrophication	kg PO ₄ eq	306,27	71,87
Non renewable, fossil	MJ eq	13.459.122,1	2.414.074,6

Confronto della eco-efficienza tra la struttura coibentata e non coibentata	
K struttura non coibentata	2,1 W/m ² K
K struttura coibentata con EPS	0,41 W/m ² K
Emissioni annue di CO ₂ evitate	16 t di CO ₂ eq
Emissioni di CO ₂ evitate in 60 anni	958 t di CO ₂ eq

a una muratura in calcarenite, si traduce in un abbassamento della trasmittanza termica entro la soglia limite di 0,48W/m²K e in conseguenti 958 t di CO₂eq evitate nei 60 anni di

vita utile. Nonostante i miglioramenti in termini di efficienza del sistema-edificio, oggi nei paesi dell'UE il consumo domestico totale di energia è in aumento a causa, in parte, dell'effetto "rebound" (cambiamento dei comportamenti in virtù della migliore efficienza tecnologica e dei prezzi più contenuti). Secondo studi recenti [14], l'effetto "rebound" può essere ridotto mantenendo relativamente costante il costo dei servizi energetici mentre migliora l'efficienza. Tuttavia, alla luce del presente studio, si può affermare la necessità che questa misura venga supportata dalla diffusione di materiali con ridotti impatti ambientali in fase di produzione, trasporto e fine vita e quindi con una minor energia incorporata proveniente da fonti fossili, oltre che dalla promozione e dall'utilizzo di fonti rinnovabili. Riguardo a queste ultime si fa presente che, una volta ridotto il fabbisogno energetico degli edifici tramite l'isolamento termico, le fonti rinnovabili possono sostituire completamente quelle tradizionali, nei limiti della convenienza economica. ♦

Riferimenti Bibliografici

- UNI EN ISO 14040, Environmental management, Life cycle assessment, Principles and framework, July 2006.
- European Commission, Sustainable construction final report, 05-09-2001 <http://ec.europa.eu/enterprise/construction/suscon/sustcon.htm>.
- Ecoinvent database, web site <http://www.ecoinvent.ch>, si veda anche D. Kellenberger, H.J. Althaus, T. Künniger EMPA, Life Cycle Inventories of Building Products, Ecoinvent report No. 7, 2004.
- ETH-ESU 96 database, web site <http://www.esu-services.ch>.
- Plastics Europe database, web site <http://www.plasticseurope.org>.
- A cura di Paolo Neri, Verso la valutazione ambientale degli edifici, ALINEA Editrice, Firenze, 2008.
- A cura di Sportello della Bio-edilizia Regione Piemonte, Environment park, Manuale per l'edilizia eco-compatibile, 2005.
- A cura di E. Oleotto, Guida agli isolanti naturali. Prodotti, caratteristiche, tipologie d'impiego, Edicom Edizioni, 2007.
- A cura di E. Oleotto, Recupero ecoefficiente del costruito. Confronto tra soluzioni migliorative per pareti coperture e solai, Edicom Edizioni, 2007.
- R. Alaimo, R. Giarrusso, G. Montana, I materiali lapidei dell'edilizia storica di Palermo, Ilion Books, 2008.
- RMIT, Embodied energy definition, Melbourne 2001, http://buildlca.rmit.edu.au/Embodied_energy_definition.html.
- PRé Consultants, SimaPro Database Manual. Methods library, Report v. 2.2, May 2008, web site <http://www.pre.nl>
- Swedish Environmental Management Council, web site <http://www.msr.se/en/>, Requirements for Environmental Product Declarations, EPD an application of ISO TR 14025 TYPE III Environmental Declarations, MSR 1999:2, 27-03-2000. International EPD@system, web site <http://www.environdec.com>.
- UK Energy Research Centre, The rebound effect: An assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency, 2007.