



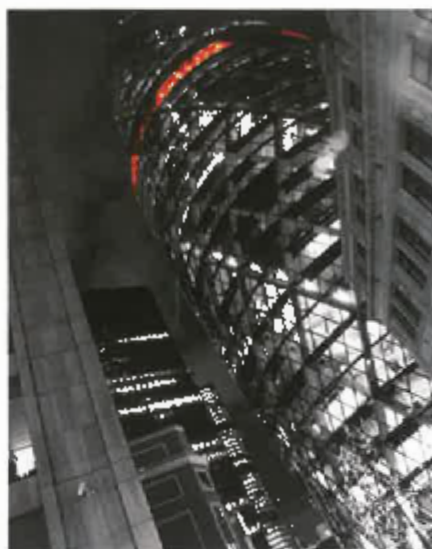
Quanta energia si usa, dall'inizio del processo, per produrre un materiale o un componente, anche “green” e risparmiosa? Complessa da calcolare,

l'**EMBODIED ENERGY** del costruito può fare la differenza tra l'immagine sostenibile e la **REALE SOSTENIBILITÀ** di un prodotto *Dario Trabucco*

## MODULO PAROLE CHIAVE

FABBISOGNO ENERGETICO • CONSUMO ENERGETICO  
• BOLLETTA ENERGETICA • EMBODIED ENERGY  
• ENERGIA NASCOSTA • ENERGIA INCORPORATA  
• ENERGIA INTRINSECA • ENERGIA PRIMARIA  
SOSTENIBILITÀ • LCA • METODO NET-OUTPUT  
METODO IBRIDO

Less is more (sustainable). Quasi sempre, meno si costruisce meglio è, almeno da punto di vista del fabbisogno energetico complessivo di un edificio. Spesso a un'edilizia vengono fatte delle "aggiunte" per migliorarne l'efficienza energetica (frangisole, tetti a doppia pelle, ecc.) ... ma queste "aggiunte" migliorano davvero il fabbisogno energetico dell'edificio durante il suo intero ciclo di vita?



Il problema del contenimento del fabbisogno energetico nel settore delle costruzioni, e quindi delle emissioni inquinanti a esso dovute, è sicuramente una delle più importanti sfide che il mondo dell'edilizia si è trovato ad affrontare negli ultimi decenni. La necessità di ridurre le emissioni inquinanti in atmosfera (l'obiettivo finale a cui tendere) è stata associata all'idea di una generale riduzione dei consumi energetici dei costruiti. Da questo punto si è assimilato il concetto di riduzione dei consumi con quello di riduzione della "bolletta" energetica di un immobile. Il ragionamento, che a prima vista potrebbe sembrare corretto, nasconde però un'insidia: le varie fonti di energia distribuite in un'abitazione, facilmente paragonabili da punto di vista tariffario, non sono però paragonabili dal punto di vista energetico. Inoltre, la semplificazione risparmio energetico = risparmio monetario può risultare fuorviante anche a causa delle differenti tariffe pagate dai vari utenti, a seconda delle rispettive fasce di consumo. Un risparmio monetario ottenuto dall'utente finale di un immobile può quindi non corrispondere a un risparmio energetico per la collettività se, per renderlo possibile, si è reso necessario un ingente consumo energetico da parte di un attore industriale la cui "spesa" energetica risulta notevolmente attenuata sul prezzo finale del bene.

Come si può quindi determinare il bilancio energetico di un bene, esteso al suo intero ciclo di vita? Per rispondere a questa domanda deve essere introdotto il concetto di embodied energy, alla quale ci si riferisce spesso anche con il termine "energia incorporata" o "energia intrinseca". L'embodied energy di un bene è il quantitativo di energia primaria impiegata per la sua produzione durante tutte le fasi che

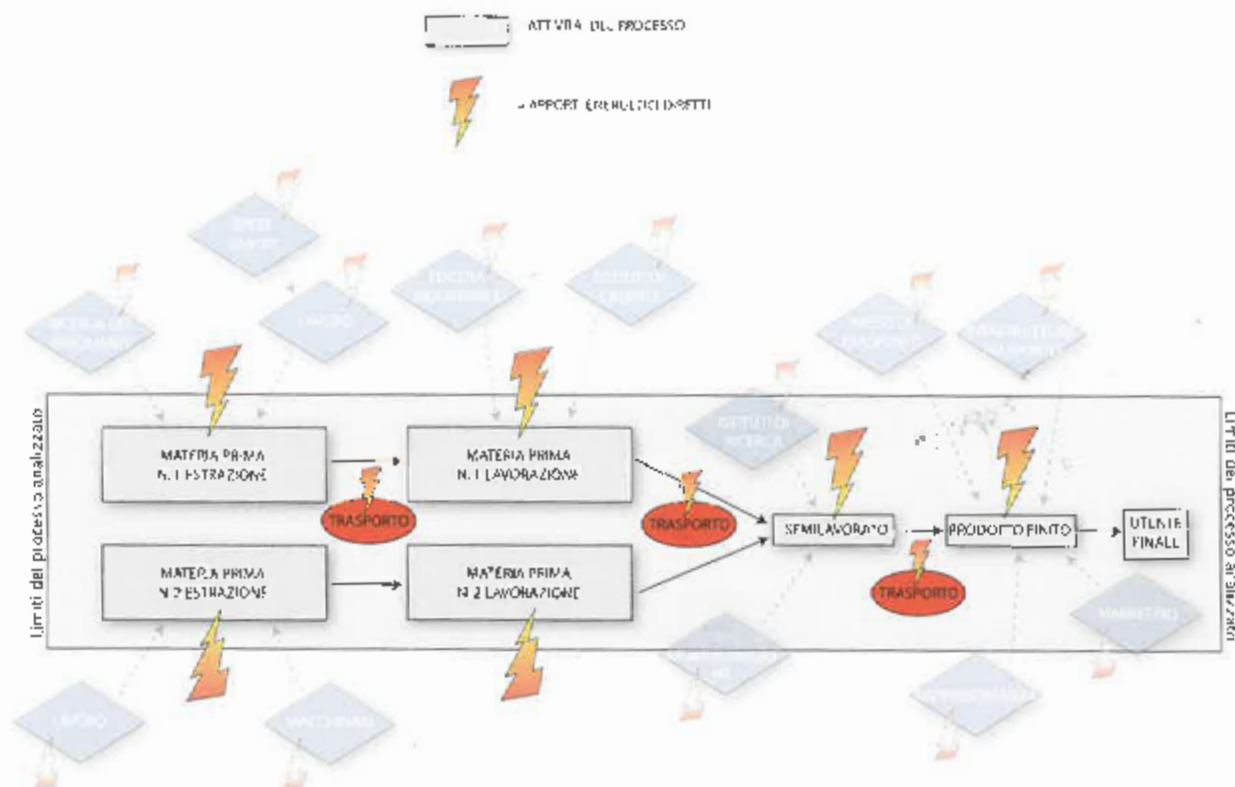


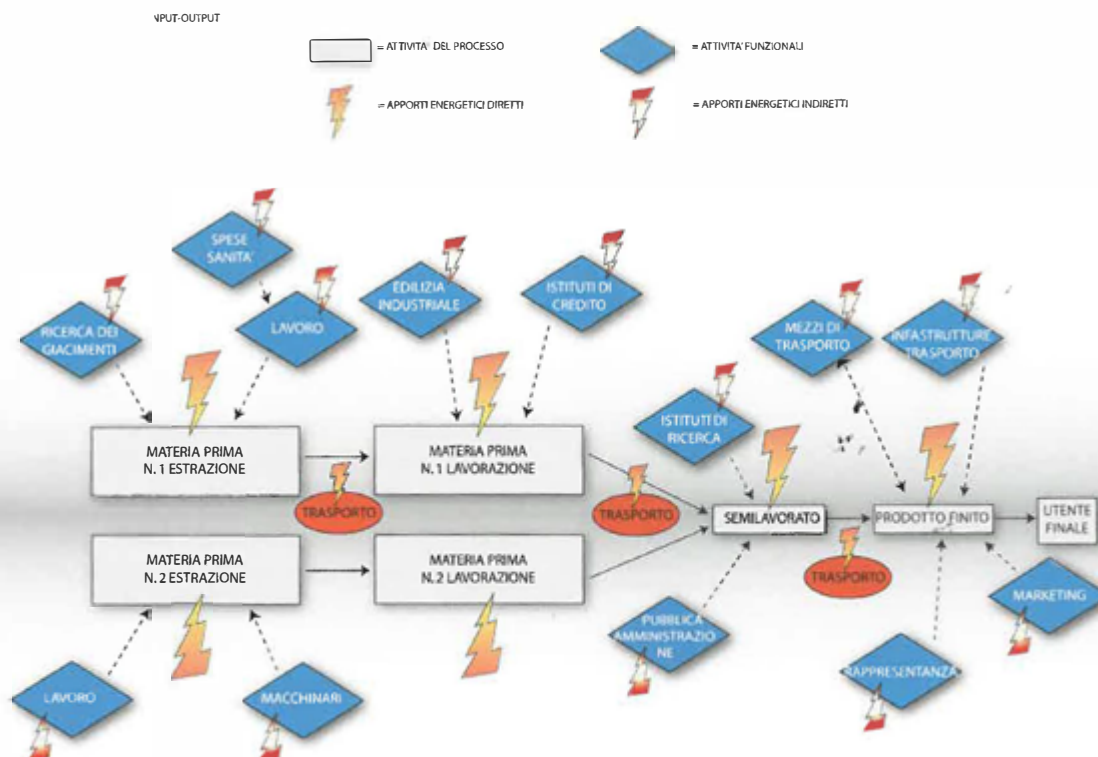
ne precedono l'utilizzo finale. Essa comprende: gli apporti diretti, ovvero i consumi energetici necessari all'estrazione e alla lavorazione delle materie prime, il loro trasporto, le fasi successive di lavorazione, il trasporto in cantiere e la posa in opera e gli apporti indiretti, ovvero i consumi energetici funzionali alle fasi dirette del processo produttivo. Questi comprendono, a loro volta, una catena virtualmente infinita di operazioni, quali per esempio i consumi necessari per produrre i macchinari impiegati nella lavorazione, per la costruzione dello stabilimento produttivo ecc. oltre ai consumi necessari ai servizi connessi alla produzione in senso stretto, includendo cioè tutti i consumi del settore terziario, amministrativo ecc. La quantificazione dell'*embodied energy* di un materia e non è un'operazione semplice. Intuitivamente, si può immaginare che sia abbastanza facile calcolare il quantitativo di energia che forma gli apporti diretti del processo produttivo di un bene semplicemente scomponendolo in tante azioni successive e andando a misurare l'input di energia necessario per compiere ognuna di queste azioni. Per prodotti complessi, o per quantificare anche gli apporti indiretti, si deve invece ricorrere a metodi statistici che indicano, sulla base di informazioni raccolte a livello nazionale o internazionale, quanta energia viene impiegata non solo dai vari processi produttivi coinvolti nella realizzazione di un prodotto, ma anche da quelli necessari a rendere possibili tali processi. Tale metodo di analisi si fonda sull'utilizzo delle tabelle 'Input-Output', elaborate per la prima volta da premio Nobel Wassily Leontief negli anni '40. Queste sono costituite da un insieme di dati statistici che descrivono tutti gli scambi di beni (e quindi anche di energia, una volta 'monetizzata') esistenti tra i settori produttivi dell'economia di un Paese. (Miller R. E., Blair P. D. (2009). *Input - Output Analysis: Foundations and Extensions*, Cambridge University Press, New York).

### Metodi di calcolo dell'*embodied energy*

Esistono due principali sistemi di quantificazione dell'*embodied energy*: l'analisi di processo e l'analisi di dati statistici, basata sull'utilizzo delle tabelle Input-Output (Treicar J. G. (1998), *A comprehensive embodied energy analysis framework*, PhD Thesis, Deakin University). Analisi di processo consiste nella scomposizione del processo produttivo di un bene nelle varie azioni che lo compongono e nella quantificazione dell'energia impiegata per ognuna di esse. Questa operazione, di facile esecuzione per un prodotto semplice (un elemento in legno, un materiale lapideo, ecc) diventa assai più macchinosa qualora l'elemento da analizzare richieda un maggior numero di lavorazioni (una trave in legno lamellare).

ANA IN IL PROCESSO





un lastra di vetro trattato e serigrafato, ecc). Nel caso di un prodotto formato da più materiali, come per esempio può essere un intero edificio, l'operazione di quantificazione dei soli apporti diretti può risultare notevolmente complessa. Con questo procedimento si riesce a dare una descrizione molto precisa dello specifico oggetto dell'analisi. L'estrema precisione nella descrizione del processo rende però il risultato valido solamente "hic et nunc" in quanto un prodotto perfettamente identico eseguito in un altro momento o con un processo differente sarà caratterizzato da un valore di energia incorporata diverso. Inoltre, cosa più grave, con l'analisi di processo non è possibile determinare gli apporti energetici indiretti, necessari alla produzione dei beni strumentali alla produzione e dei servizi offerti dal settore terziario. Considerare queste voci influenti sul valore finale dello specifico prodotto significa però trascurare il fatto che, specie nelle economie moderne, il settore terziario rappresenta la parte più significativa del prodotto interno lordo di una Nazione e, sebbene sia generalmente caratterizzato da un'intensità energetica contenuta, è comunque in grado di incidere sensibilmente sul risultato finale del contenuto energetico di un prodotto (Costanza, R. (1980), *Embodied Energy and Economic Valuation*, Science, Vol 210 n° 4475, 12 Dicembre 1980, pag. 1219-1224). Analisi statistica basata sulle matrici Input-Output: consiste nell'identificare gli scambi monetari esistenti tra tutte le branche produttive di un Paese (e quindi anche gli "acquisti" di energia compiuti dai vari settori) utilizzando le tabelle elaborate periodicamente dagli organismi di controllo statistico (in Italia, la tabella Input-Output viene elaborata ogni 5 anni dall'Istat). Il premio Nobel per l'economia Leonief l'ideatore negli anni '40 di questo sistema di controllo basato su dati macro-economici, eseguendo un processo matematico di inversione della matrice che raccoglie i dati sintetici degli scambi tra i vari settori, riuscì a conteggiare non solo gli apporti economici ed energetici diretti, ma anche quelli indiretti impiegati per gli "infiniti" processi necessari per la produzione dei beni e dei servizi strumentali alla realizzazione del processo produttivo dell'elemento analizzato. Un altro grande vantaggio di questo sistema è rappresentato dalla velocità di esecuzione del calcolo che consente di pervenire istantaneamente al risultato cercato. Questo sistema, che a differenza dell'analisi di processo è in grado di consentire la quantificazione anche degli apporti indiretti, sconta però un certo grado di imprecisione, dovuto al fatto che l'analisi viene condotta in termini statistici e non, come invece avviene nell'altra metodologia di calcolo, su valori specifici del processo produttivo da prendere in esame.

4 25 26  
settembre 2010



# Ediltek

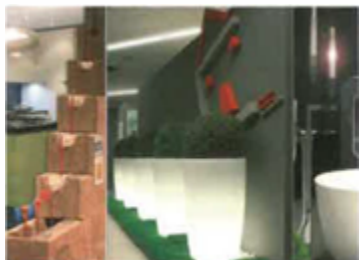
fiera dell'edilizia

MATERIALI ■ SERVIZI ■ TECNOLOGIE

SpensaFiere - BUSTO ARSIZIO



Casa 21



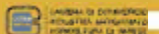
dalle 9.00 alle 19.00



Real Estate



[www.ediltek.info](http://www.ediltek.info)



Inoltre, il sistema basato sulle matrici Input-Output, essendo un metodo "statistico" non considera la non perfetta proporzionalità di un sistema produttivo e le economie di scala che possono essere conseguite a livello industriale per i processi produttivi di larghi quantitativi di prodotto. Sulla base di questi due sistemi di quantificazione dell'embodied energy esistono poi vari metodi "ibridi" che cercano di sfruttare le caratteristiche di uno dei due metodi per mitigare le imperfezioni dell'altro. Tra le varie possibilità, il metodo ibrido basato sull'analisi di processo può fornire dei buoni risultati per l'analisi di prodotti complessi "unici" come per esempio gli edifici. Viene prima eseguita un'analisi di processo relativa all'ultima fase della lavorazione, in questo caso la fase di realizzazione in cantiere dell'edificio; al valore di embodied energy così ottenuto, specifico quindi per la particolari condizioni del progetto, del sito, delle tecnologie impiegate, ecc, viene poi sommata l'energia necessaria alla produzione di tutti i materiali e i componenti impiegati: calcestruzzo, armature, elementi della copertura ecc. La realizzazione dell'analisi di processo per ognuno di questi richiederebbe un sforzo eccessivamente oneroso e il loro contenuto energetico viene quindi desunto tramite l'utilizzo delle matrici input-output.

### Bilancio energetico

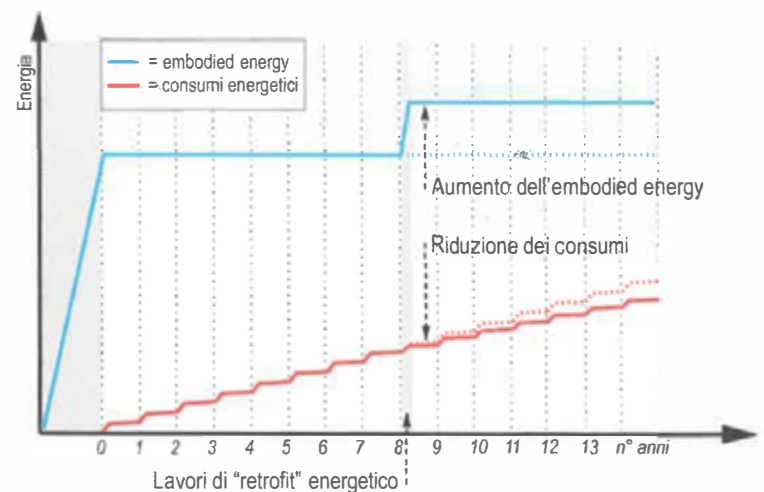
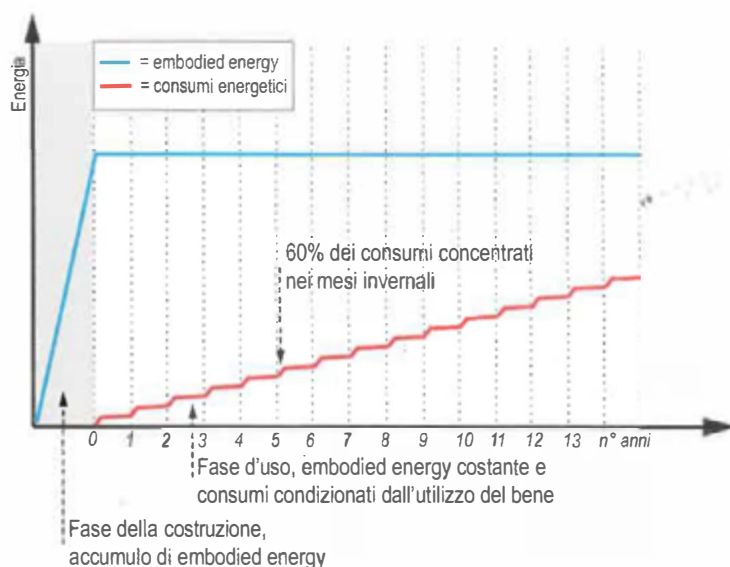
Proprio la difficoltà delle operazioni necessarie alla determinazione di un suo valore preciso è probabilmente uno dei motivi principali che sta alla base della generale sottovalutazione del problema dell'embodied energy nel settore del costruito. A questo si sommano però altri fattori: in primo luogo, come evidenziato precedentemente, deve essere tenuta in considerazione la diversa tariffazione dell'energia a seconda delle fonti utilizzate e dei quantitativi acquistati che fa sì che l'investimento energetico effettuato dall'industria per la produzione di un bene non trovi spesso un adeguato riscontro nel suo prezzo finale. Avviene così che un prodotto in grado di produrre un certo risparmio economico per l'utente finale abbia un prezzo di mercato contenuto proprio perché l'energia impiegata dal produttore per la sua fabbricazione è stata acquistata con delle tariffe sensibilmente più basse di quelle pagate dall'utenza domestica dell'utilizzatore finale.





Un secondo fattore è poi dato dall'importanza della 'sostenibilità' ai fini del marketing di un prodotto. Con la presa di coscienza da parte dell'opinione pubblica dei problemi legati all'inquinamento atmosferico e dei timori relativi all'esaurimento delle fonti energetiche non rinnovabili, un'immagine 'sostenibile' è un importante ingrediente delle politiche commerciali di un prodotto o di un intero edificio, soprattutto per gli interventi di maggiore dimensione. In questo senso, l'utilizzo di alcuni componenti che hanno assunto un particolare significato simbolico (sistemi frangisole, moduli fotovoltaici, generatori eolici ecc.) è uno strumento sicuramente più immediato per trasmettere l'idea di un'architettura attenta alle problematiche ambientali. Tuttavia, è importante considerare che numerosi parametri di consumo legati al funzionamento di un edificio dipendono, più che dalla qualità del progetto e dell'esecuzione, dalla modalità di fruizione che, dell'edificio completato, faranno gli utenti finali. Specie nell'edilizia residenziale dove l'autonomia dell'utente nella gestione dell'immobile è completa, qualunque intervento intrapreso dal progettista può essere facilmente vanificato dalle abitudini dei suoi fruitori. Inoltre, le principali voci di consumo di un edificio possono essere controllate, più che attraverso soluzioni progettuali 'architettoniche', attraverso soluzioni di carattere impiantistico, per il controllo delle quali è richiesta la presenza di competenze specialistiche di alto livello ascrivibili ad altri ambiti di formazione professionale. Al contrario, il progettista è in grado di incidere in prima persona, e in modo determinante, sul contenimento dell'embodied energy complessiva. In funzione infatti delle scelte compiute fin dalle fasi iniziali del suo lavoro, egli è in grado di incidere in prima persona, e in maniera molto determinante, sul contenimento dell'energia immagazzinata all'interno dei materiali di cui un edificio è composto. In funzione delle scelte progettuali compiute fin dalle fasi iniziali del suo lavoro, egli è infatti in grado di influenzare sensibilmente il contenuto energetico finale dell'edificio. Le sue decisioni sia in merito alla forma dell'edificio e alla scelta dei materiali può cambiare sostanzialmente il risultato finale. Per questo, è importante comprendere le dinamiche attraverso le quali un materiale 'incorpora' al proprio interno energia, legate principalmente ai processi termici a cui viene sottoposto durante le varie fasi di produzione.

## Il MARKETING della SOSTENIBILITÀ, la differenza tra un'immagine sostenibile e il reale contenuto energetico dell'edificio. Il ruolo del progettista, i MATERIALI PROTAGONISTI





## L'embodied energy dei materiali

L'embodied energy di un materiale viene in primo luogo influenzata dalla "purezza" con la quale viene trovata in natura la materia prima di base. La ghiaia di fiume, per esempio, ha un contenuto energetico molto basso in quanto risulta già disponibile in natura nella sua 'forma' finale senza la necessità di alcuna lavorazione successiva. Al contrario, per la produzione della bauxite (il componente base dell'alluminio) devono essere estratte delle ingenti quantità di materiale di cava, dal quale viene poi selezionato il materiale desiderato. La seconda operazione responsabile dell'aumento del contenuto energetico di un materiale è connessa alla distanza di approvvigionamento della materia prima, e a tutte le fasi e modalità di trasporto che subisce fino al suo impiego finale in cantiere.

Dei materiali 'locali', magari caratterizzati da un peso specifico contenuto e movimentati con dei mezzi di trasporto efficienti, richiedono dunque un quantitativo inferiore di energia rispetto a un materiale la cui materia prima viene estratta in un continente, lavorata in secondo e infine impiegata nel cantiere di una erza area geografica, come spesso avviene per degli elementi di acciaio impiegati nel mercato

italiano che, provenienti dalla Cina, vengono lavorati sfruttando materie prime africane o sud americane. Tuttavia, l'operazione che più di tutte può incidere sul contenuto energetico di un materiale è rappresentata dalla eventuale lavorazione termica a cui questo è sottoposto. Durante il processo termico di clinkerizzazione, per esempio, il cemento immagazzina al suo interno una elevatissima quantità di energia, responsabile in massima parte dell'alto valore dell'embodied energy tipico dei materiali sottoposti a processi di cottura (come per esempio il laterizio) o di fusione (i metalli). In base alle caratteristiche intrinseche di ogni materiale e ad alcune voci variabili in funzione delle peculiarità del processo produttivo adottato, i materiali sono caratterizzati da un determinato valore di embodied energy che può oscillare all'interno di un forbice più o meno ampia. La tabella riporta i valori (massimi e minimi per materiali vergini) individuati utilizzando un'analisi di processo.

I valori sono riferiti unicamente alla fase "cradle to gate" ovvero, dall'estrazione delle materie prime all'uscita del prodotto finito dallo stabilimento produttivo.

A questi valori si devono aggiungere i consumi del processo finale di trasporto (Inventory of Carbon & Energy, Hammond G., Jones C., University of Bath)

Materiale	Embodied energy (MJ/kg)
Ghiaia	0,1 - 1
Legno	0,72 - 21
Laterizio	6,5 - 8,4
Acciaio	40 - 50
Calcestruzzo	2 - 6,1
Alluminio	> 220
Vetro	18 - 30
Fibra di legno	10,8
Fibra di vetro	28
Cellulosa isolante	1 - 3,3
Lana di roccia	16,8
Polistirene espanso termoformato	89 - 110
Malta	1-1,5
Cemento	4,2 - 6,2

Fonte: University of Bath, Inventory of Carbon and Energy - Prof. Geoff Hammond & Craig Jones (metodo: analisi di processo)



**L'EMBODIED ENERGY** è uno dei parametri che l'ISO raccomanda per le certificazioni di **SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE**, sia pure in un clima di larga approssimazione del metodo

**L**a riflessione in merito all'embodied energy dei prodotti mostra già oggi una serie di ricadute nell'attività edilizia, grazie alle certificazioni dei prodotti, una pratica non molto diffusa sino a poco tempo fa ma che sempre più spesso rientra nella normale documentazione che accompagna un prodotto. Le certificazioni di sostenibilità (regolamentate dall'ISO - International Standard Organization), vengono tutt'oggi incentivate dalla comunità internazionale al fine di consentire un innalzamento del livello della qualità dei prodotti e per appoggiare l'innovazione sia delle attività di produzione che delle tecnologie d'impiego.

Tuttavia l'ISO stessa spiega che utilizzare esclusivamente l'analisi dell'energia incorporata per descrivere la sostenibilità dei prodotti, dei processi o dei sistemi implica con i metodi attuali un'approssimazione ancora eccessiva. Questo tipo di analisi di ecocompatibilità dev'essere pertanto integrata con valutazioni quantitative e qualitative che tengano conto delle relazioni tecnologiche connesse alla produzione anche sotto il punto di vista economico, politico e sociale, introducendo dunque una serie di valutazioni di più ampio spettro.

La valutazione dell'energia incorporata dei prodotti è infatti solo uno degli indicatori analizzati per la determinazione della sostenibilità degli edifici secondo la maggior parte dei metodi a oggi disponibili. Il metodo di valutazione della sostenibilità degli edifici SBTool, adottato in tutto il mondo e disponibile anche in Italia grazie al Protocollo ITACA, premia gli edifici realizzati con prodotti da costruzione attenti a questo aspetto. Così fa anche un altro metodo di valutazione italiano l'SB100 e il BREEAM, metodo danese utilizzato diffusamente anche nei Paesi anglosassoni. Il metodo LEED invece, molto noto in America e da poco presente anche nel panorama italiano, non presenta riferimenti espliciti all'embodied energy.

Tutti questi protocolli fanno riferimento per il calcolo dell'embodied energy alla standardizzazione presente nelle norme ISO dedicate all'LCA (serie 14040). Gli standard ISO hanno comportato alcune semplificazioni e limitazioni volte ad ampliare la disponibilità dei dati, la semplificazione della loro raccolta e la diffusione di strumenti e software per il calcolo: queste scelte hanno consentito di formulare una metodologia semplificata basata sull'analisi di processo per la valutazione di sistemi caratterizzati da una limitata complessità, con effetti limitati sia nel tempo che nello spazio. E' invece ancora di difficile valutazione l'energia incorporata in infrastrutture, sistemi, tecnologie innovative e percorsi di R&D (processi di sperimentazione e miglioramento delle innovazioni). Per mitigare gli errori e le imprecisioni intrinseche nelle analisi dell'embodied energy basate sull'analisi di processo è quindi importante focalizzare l'attenzione sull'elemento chiave costituito dall' 'analisi d'inventario'. In questa fase viene compilato l'elenco e la quantificazione degli 'ingredienti' necessari alla realizzazione del prodotto e dei suoi 'output' (prodotti secondari, sfridi, emissioni, ecc.). La semplificazione dell'analisi di inventario è uno degli obiettivi chiave dell'ISO nel breve periodo che consentirà di creare dei modelli di processo ai quali fare riferimento in modo agevole e diretto.

L'ISO riconosce infine che l'utilizzo di analisi input-output o di approcci ibridi possa fornire interessanti soluzioni, sebbene anche tali metodi siano a oggi affetti da evidenti approssimazioni. L'attività di ricerca futura dovrà cercare anche in questo caso di fornire una standardizzazione dei metodi di applicazione prima di poterne prevedere un largo utilizzo; per ora è possibile dichiarare le caratteristiche dei prodotti secondo queste metodologie (metodo input-output e metodo ibrido) solo attraverso lo strumento dell'autodichiarazione (secondo lo standard ISO 14021).



**M**a in definitiva, quanto 'vale' l'embodied energy del costruito? Come si può facilmente capire dalla trattazione effettuata, se non è semplice quantificare l'embodied energy di un materiale, l'esecuzione del calcolo per un prodotto complesso come un intero edificio diventa assai arduo. Da questo punto di vista l'utilizzo di un'analisi di processo richiede un numero di analisi notevole e necessita una mole di dati di difficile reperimento e gestione. In questo caso quindi, l'utilizzo di un metodo statistico quale quello fornito dalle tabelle input-output può fornire un'importante aiuto, pur ricordandosi del livello di imprecisione connesso al loro utilizzo. Dall'analisi delle tabelle input-output si evince che un prodotto del valore di un euro del comparto industria e 'costruzioni' corrisponde a una spesa energetica media di circa 20MJ. Con questo valore si può quindi affermare che, mediamente, un alloggio singolo di circa 100m<sup>2</sup>, il cui costo di costruzione è stimato in circa 95.000€ (media dei valori per m<sup>2</sup> dei costi di realizzazione dell'edilizia regionale pubblica), ha un'embodied energy complessiva di 1.900 GJ, ipotizzando che l'intervento, a causa del costo di costruzione contenuto, sia stato realizzato in classe C (consumo = 60 kWh/m<sup>2</sup> / anno pari a 216 MJ/m<sup>2</sup> / anno per il solo riscaldamento) il valore complessivo dell'energia utilizzata dall'immobile in un anno è di circa 31 GJ / anno, attribuendo al riscaldamento una quota pari al 65% dei consumi totali dell'immobile (Enea). È quindi evidente come i consumi legati alla realizzazione di un edificio, ovvero la sua embodied energy, siano circa 60 volte superiori ai consumi energetici connessi alla sua fruizione.

Questo dato, originato da un calcolo certamente molto semplificato, è però sostanzialmente in linea con quello riscontrato nella letteratura scientifica internazionale (Santori, I., Hestnes, A. G. (2007), 'Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings'

Cole, R. J. and Kernan, P. C. (1996), Life-Cycle Energy Use in Office Buildings, Building and Environment, Vol. 31, No. 4, pp. 307-317.

## L'EMBODIED ENERGY di un edificio è 60 VOLTE SUPERIORE ai consumi energetici per la sua fruizione. La responsabilità del progettista

A review article, Energy and Buildings, vol. 39, 249-257). La stima del contenuto energetico di un edificio può però essere facilmente migliorata conoscendo con maggior precisione gli importi delle forniture dei vari materiali effettuate in fase di cantiere e applicando a questi parametri i rispettivi valori di 'intensità energetica' calcolati attraverso le matrici di I/O conief. A titolo di esempio, per ogni Euro pagato dal costruttore all'industria del cemento corrisponde un consumo energetico di circa 25,5MJ, oppure 34MJ per l'industria dell'acciaio, 20MJ per quella del laterizio, o solo 4,3MJ per l'industria del legno. I vari metodi di calcolo esposti presentano caratteristiche diametralmente opposte. L'analisi di processo offre la possibilità di effettuare un calcolo estremamente preciso del ciclo di produzione di uno specifico prodotto ma esclude completamente dall'analisi tutta una serie di voci e parametri in grado di incidere fortemente sul risultato finale. L'analisi effettuata secondo il metodo statistico delle tabelle input-output è invece onnicomprensiva e include dunque anche le voci di consumo funzionali al processo produttivo vero e proprio. Questo metodo è però molto impreciso perché non è calibrato su uno specifico prodotto ma sulla produzione, a volte anche molto eterogenea, di un'intera branca produttiva. Non esiste dunque, ad oggi, un sistema di quantificazione corretto e uno sbagliato ma la scelta del metodo di calcolo da adottare va effettuata valutando attentamente gli obiettivi dell'analisi: se l'analisi è rivolta al mondo industriale ed è finalizzata al miglioramento dei processi produttivi di un bene, l'analisi di processo realizzata con le modalità stabilite dall'ISO è sicuramente la migliore strada da percorrere. Se l'obiettivo è invece quello di una generale sensibilizzazione dei vari attori del processo edilizio su un problema ancora largamente sottovalutato e la creazione di un pratico strumento per guidare le scelte architettoniche e tecnologiche nella fase di pre-progetto, in questo caso la razionale semplicità della metodologia basata sulle tabelle input-output può offrire senza dubbio i risultati cercati. In base a quanto detto è importante dunque che, l'aggiunto ormai per legge un discreto livello di efficienza energetica durante le fasi d'uso dell'immobile, tutti gli attori della progettazione concentrino gli sforzi verso una sostanziale riduzione dell'embodied energy del costruito, attraverso attente scelte progettuali, una accurata selezione dei materiali adottati e, soprattutto, una oculata riduzione degli 'sprechi' di materiale. L'embodied energy è infatti, oltre che responsabile di una larga fetta del bilancio totale di energia durante l'intero ciclo di vita di un manufatto, anche la voce sulla quale il progettista può, attraverso le proprie scelte tecnologiche e compositive, incidere maggiormente.

