



REGIONE
LAZIO



LINEE GUIDA PER
L'EFFICIENTAMENTO
ENERGETICO DI
EDIFICI RESIDENZIALI
DELLA REGIONE LAZIO

Regione Lazio

Assessorato alle Politiche abitative, Urbanistica, Ciclo dei Rifiuti e impianti di trattamento, smaltimento e recupero

Assessore: Massimiliano Valeriani

Direzione Regionale per le Politiche Abitative e la Pianificazione Territoriale, Paesistica e Urbanistica

Direttore: Manuela Manetti

Area Edilizia Residenziale Sovvenzionata

Dirigente ad interim: Pierpaolo Rocchi

Servizio Progettazione Europea

Ferdinando Rossi

Coordinamento tecnico regionale

Giulia Santini

Collaboratore

Emanuele Caprodossi (LAZIOcrea SpA)

Ricerca, raccolta ed elaborazione a cura del Centro Interdipartimentale Territorio Edilizia Restauro Ambiente (CITERA) della Sapienza - Università di Roma

Coordinatore: Prof. Marco Casini

Sofia Agostinelli

Fabrizio Cumo

Elisa Pennacchia

Matteo Sforzini

This research activity is carried out within the European project ENERSELVES in collaboration between the Lazio Region and the CITERA Interdepartmental Research Center of the University of Rome "Sapienza" aimed at identifying best practices for the energy efficiency of the residential building of the Lazio Region. The main objectives of the project are:

- Support the integration of Renewable Energy Sources in buildings;
- Promote new policies or improve existing policies in order to enhance the self-consumption of energy produced from renewable sources in buildings;
- Propose interventions or strategies, dependent on the climatic zone of implementation, which allow to maximize the benefit from the use of renewable sources.

The ENERSELVES project is a European Territorial Cooperation project, approved within the 2014-2020 Interreg Europe Program, a community program aimed at improving regional development policies by promoting the exchange of experiences and good practices between public institutions, and supported by the European Fund of Regional Development.

L'attività di ricerca è stata svolta nell'ambito del progetto europeo ENERSELVES in collaborazione con la Regione Lazio ed il centro Interdipartimentale di ricerca CITERA dell'Università di Roma "Sapienza" finalizzata alla individuazione di best practice per l'efficientamento energetico del patrimonio edilizio residenziale della Regione Lazio. Gli obiettivi principali del progetto sono:

- Supportare l'integrazione delle Fonti di Energia Rinnovabili negli edifici;
- Promuovere nuove politiche o migliorare le politiche esistenti al fine di potenziare l'autoconsumo di energia prodotta da fonti rinnovabili negli edifici;
- Proporre interventi o strategie, dipendenti dalla zona climatica di attuazione, che consentano di massimizzare il beneficio provenienti dall'uso di fonti rinnovabili.

Il Progetto ENERSELVES è un progetto di Cooperazione Territoriale Europea, approvato all'interno del Programma *Interreg Europe 2014-2020*, programma comunitario atto a migliorare le politiche di sviluppo regionale incentivando lo scambio di esperienze e buone pratiche tra Istituzioni pubbliche, e sostenuto dal *Fondo Europeo di Sviluppo Regionale*.

INDICE

Introduzione.....	7
1. Descrizione della metodologia adottata per la redazione delle Linee Guida....	10
1.1 Quadro normativo	11
2. Analisi delle categorie di interventi di efficientamento	14
2.1 Generalità	14
2.2 Ambito di applicazione	15
3. Diagnosi energetica finalizzata alla riduzione delle dispersioni e all’ottimizzazione della produzione energetica.....	20
4. Embodied energy correlata alle attività di manutenzione	25
5. Installazione di sistemi di isolamento per l’involucro edilizio	32
5.1 Chiusure verticali.....	33
5.1.1 Tipologie di chiusure verticali opache.....	34
5.1.2 Tipologie di chiusure verticali trasparenti.....	35
5.2 Evoluzione della tecnologia delle chiusure verticali	37
5.2.1 Chiusure verticali opache	38
5.2.2 Chiusure verticali trasparenti	40
5.3 Strategie di intervento	41
5.3.1 Soluzioni per efficientare la parete perimetrale verticale opaca	42
5.3.2 Soluzioni per efficientare l’involucro trasparente.....	48
6. Efficientamento dei sistemi di riscaldamento	57
6.1 Generatore di calore.....	58
6.1.1 Manutenzione del generatore di calore	58
6.1.2 Sostituzione del generatore di calore	59
6.2 Rete di distribuzione dell’impianto di riscaldamento.....	68
6.2.1 Coibentazione delle tubazioni.....	69
6.2.2 Sostituzione delle unità terminali di emissione	69
6.3 Sistemi di termoregolazione	75
6.3.1 Regolazione climatica	75
6.3.2 Regolazione di zona.....	76
6.3.3 Regolazione ambiente.....	77
6.3.4 Sistemi domotici	77
7. Sistemi di efficientamento per la produzione di acqua calda sanitaria	79
7.1 Solare termico.....	79
7.2 Impianti geotermici a bassa temperatura.....	87

8.	Efficientamento dei sistemi di raffrescamento e ventilazione	95
8.1	Sistemi a pompa di calore per il raffrescamento attivo.....	95
8.2	Sistemi per il raffrescamento passivo	98
8.3	Sistemi di raffrescamento evaporativo.....	100
8.4	Sistema innovativo a “travi fredde”	102
9.	Efficientamento dei sistemi di illuminazione.....	105
9.1	Strategie di intervento	105
9.1.1	Relamping LED	106
9.1.2	Rifacimento completo dell’impianto di illuminazione	106
9.2	Vantaggi della tecnologia LED	107
9.3	Individuazione dei sistemi applicabili agli edifici residenziali e della Pubblica Amministrazione	109
9.4	Indicazioni per l’efficientamento dei sistemi di illuminazione.....	120
9.5	Impianto di illuminazione esterna	122
9.6	Manutenzione e gestione dei sistemi illuminotecnici.....	123
10.	Sistemi fotovoltaici.....	125
10.1	Sistemi di accumulo	128
10.2	Principali applicazioni del fotovoltaico nell’edilizia residenziale.....	129
APPENDICE A: Diagnosi energetica realizzata su un edificio residenziale di proprietà dell’ATER del comune di Roma finalizzata ad una riqualificazione energetico ambientale.....		141
A.1	Inquadramento territoriale dell’edificio oggetto di studio nel quartiere San Saba a Roma ..	141
A.2	Analisi energetica dell’edificio	143
A.2.1	Chiusure verticali opache e trasparenti	145
A.2.2	Sistemi di illuminazione.....	147
A.3	Applicazione congiunta di tutti gli interventi.....	148
APPENDICE B: Diagnosi energetica realizzata su un edificio non residenziale di proprietà della Camera dei Deputati finalizzata all’individuazione di interventi di riqualificazione energetica.....		150
B.1	Presentazione generale del sito.....	150
B.2	Descrizione del “sistema edificio-impianto”	152
B.3	Analisi dei consumi energetici e valutazione dei costi di esercizio	158
B.4	Interventi di riqualificazione energetica	159
B.4.1	Pellicole filtranti sui vetri.....	159
B.4.2	Sostituzione degli infissi.....	160
B.4.3	Coibentazione delle pareti verticali interne.....	160
B.4.4	Sostituzione dei corpi illuminanti con nuovi elementi a LED	160
B.4.5	Sostituzione delle caldaie	161
B.4.6	Soluzioni proposte	162

B.5 Conclusioni.....	162
APPENDICE C: Incentivi per gli interventi di efficientamento energetico	164
C.1 Il ruolo delle Energy Service Companies	164
C.2 Il ruolo del Gestore dei Servizi Energetici	167
C.3 Certificati Bianchi o Titoli di Efficienza Energetica	167
C.4 Conto termico.....	168
C.5 Detrazione fiscale.....	171
C.6 Fondo Nazionale per l'Efficienza Energetica	172
ALLEGATO A: Schede tecniche materiali involucro opaco.....	174
ALLEGATO B: Schede tecniche materiali involucro trasparente.....	185
ALLEGATO C: Schede tecniche sistemi e dispositivi per il controllo illuminotecnico	186
Bibliografia.....	195

4. Embodied energy correlata alle attività di manutenzione

di Elisa Pennacchia

In edilizia per una corretta valutazione della ecologicità dei materiali usati per la costruzione e la manutenzione degli edifici, oltre alla provenienza dei materiali e alle loro caratteristiche di rinnovabilità, è necessario calcolare anche il valore a loro associato di energia incorporata (embodied energy). L'energia incorporata di un materiale è quella che viene impiegata per ottenere il prodotto finale a partire dalla estrazione delle materie prime includendo anche le fasi di trasporto, stoccaggio e tutte le lavorazioni effettuate. Il materiale o sistema tecnologico realizzato con bassa quantità di embodied energy ha sicuramente una sostenibilità maggiore di altri simili che richiedono maggiore dispendio di energia durante tutte le fasi del processo edilizio. È evidente come tale fattore assuma una importanza sempre maggiore man mano che la normativa vigente costringe a realizzare edifici con consumi specifici sempre più bassi che tendono all'autosufficienza energetica; conseguentemente proprio in riferimento al suddetto processo edilizio l'energia incorporata può essere divisa in due:

- Embodied energy iniziale, e cioè la quantità di energia consumata dalla fase di estrazione della materia prima fino a quella della completa realizzazione del prodotto/materiale;
- Embodied energy ricorrente che è quella quantità di energia utilizzata durante le fasi di riparazione, manutenzione ed eventuale sostituzione di quel componente/materiale durante l'intero ciclo di vita dell'edificio.

Con riferimento alle differenti fasi del processo edilizio emerge chiaramente come le modalità di scelta dei materiali e di configurazione degli elementi tecnici (tecniche costruttive) tendano ad influenzare le prestazioni ambientali dell'edificio nel corso della sua vita utile. I soli consumi energetici connessi all'estrazione, produzione, trasporto, movimentazione ed assemblaggio dei materiali e prodotti edilizi (initial embodied energy) manifestano un'incidenza stimabile fra il 10 ed il 15%. Per l'Italia tale valore si attesta intorno al 13,58% del totale di settore. A questi si aggiungono i consumi energetici legati alle attività di manutenzione, smontaggio/sostituzione (recurring embodied energy) e dismissione (disposal embodied energy) che si attestano intorno al 3-8%. L'incidenza complessiva dell'energia inglobata nell'edificio sul ciclo di vita (life cycle embodied energy) oscilla pertanto fra il 13 ed il 23%; volendo estendere l'indagine agli impatti ambientali correlati (consumo di risorse, emissioni e relativi danni causati alla salute umana ed all'ecosistema), emerge come tale incidenza si attesti, in funzione dei differenti contesti territoriali, mix energetici e tecnologie impiegate, fra il 24 ed il 28% degli impatti complessivi generati dall'edificio. Studi scientifici sull'argomento evidenziano la possibilità di ridurre gli impatti correlati agli usi energetici in fase di esercizio (pari a circa l'85% del totale) agendo sulla scelta delle tecnologie edilizie ed impiantistiche. Limitando la trattazione è importante illustrare come il considerare aspetti di qualità più strettamente edilizia, in fase progettuale,

possa modificare i risultati delle più comuni analisi. L'energia incorporata è definita come l'energia consumata e quindi "accumulata" nei prodotti che costituiscono l'edificio. La figura seguente mostra il quantitativo medio di embodied energy incorporato in vari materiali da costruzione; risulta evidente dal grafico che la plastica, l'alluminio ed anche il vetro richiedono generalmente un'elevata energia incorporata rispetto ad altri materiali come il calcestruzzo o il legno.

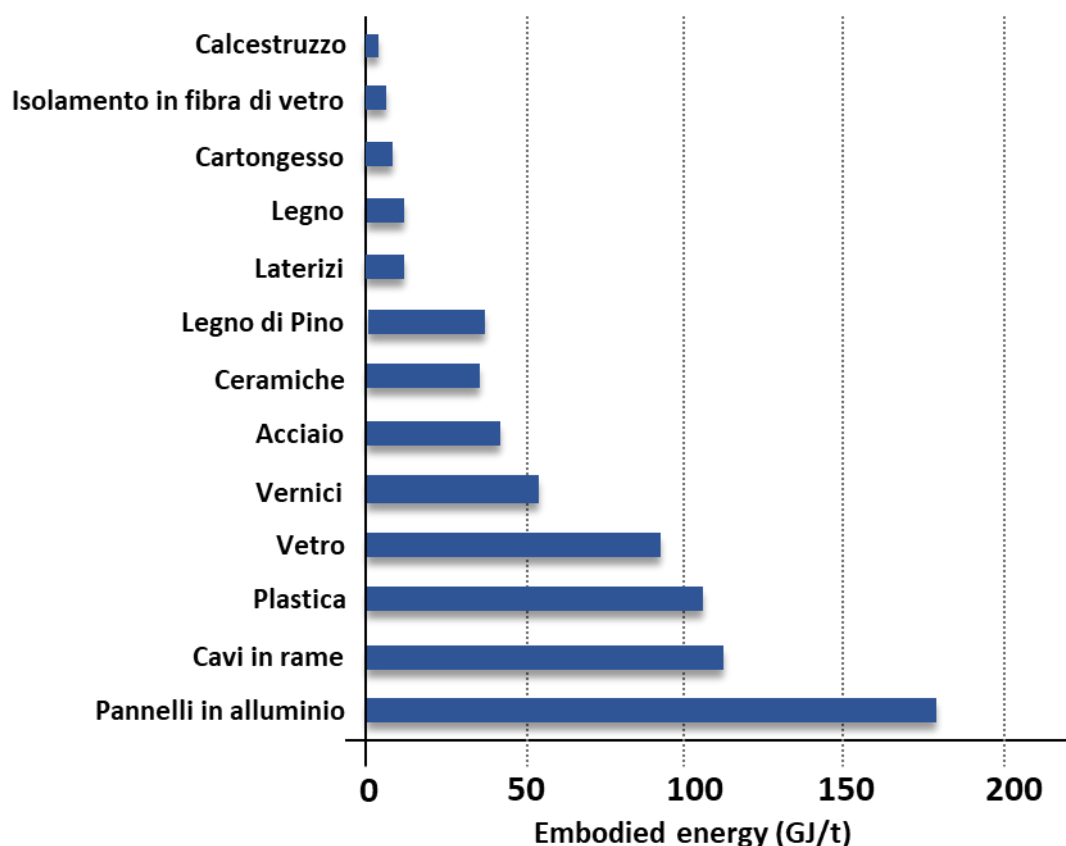


Figura 5. Confronto dell'energia incorporata dei materiali da costruzione per tonnellata di prodotto. [Fonte: Meddah, Seddik 2017. Recycled aggregates in concrete production: engineering properties and environmental impact, MATEC Web of Conferences, DOI: 10.1051/mateconf/201710105021]

Se si considerano anche aspetti di qualità dell'ambiente interno e di durabilità si devono prendere in esame fasi successive alla costruzione, che determinano cicli di interventi, quali integrazioni impiantistiche, manutenzione e sostituzione, di durata ben inferiore alla vita utile degli edifici, assunta di 50 anni in assenza di consistenti ristrutturazioni, e, di conseguenza, ulteriori consumi di energia in fase d'esercizio. Nella tabella successiva si riporta la vita utile espressa in anni dei principali elementi che costituiscono l'involucro opaco e trasparente, dei sistemi e dei componenti impiantistiche.

<i>Elementi di involucro, sistemi e componenti impiantistiche</i>	<i>Vita utile (anni)</i>
Mura	15
Sistemi solari	25
Pompa di calore	25
Unità di trattamento aria	25
Finestre	35

Coperture e pavimenti	35
Sistema di distribuzione del gas	35
Caldaia ausiliaria	35
Pavimento radiante	40
Sistema ACS	50
Tubazioni unità trattamento aria	50

Tabella 1. Vita utile dei componenti soggetti a sostituzione. [Fonte: M. Cellura, M. Beccali, F. Guarino, V. Lo Brano 2013 “Redesign di edifici a energia netta zero e caratterizzazione degli edifici scolastici nella Regione Sicilia”]

La scelta di determinati materiali e prodotti edilizi e l’applicazione di specifici criteri di progettazione hanno già un notevole peso (da alcuni studi, pari al 40%) sull’energia necessaria all’edificio. In tal senso l’embodied energy è una misura dell’impatto ambientale, specie per quanto attiene le emissioni aeree di CO₂ e va computata, come mostrato di seguito, per tutti i materiali realmente utilizzati: non solo messi in opera durante il cantiere originario di costruzione ma anche impiegati durante la fase d’uso e gestione dell’edificio. I maggiori ostacoli a un approccio rigoroso che includa nell’LCA fattori di qualità edilizia sono:

- la mancanza di dati disaggregati, che permettano l’inventario degli input e output ambientali derivanti da singoli processi del processo edilizio;
- la difficoltà di prefigurare fasi di vita quali la messa in opera, le modalità d’uso da parte degli utenti, le reali modalità di manutenzione, dismissione e smaltimento;
- la mancanza e l’onerosità di modelli e di statistiche di affidabilità delle diverse soluzioni costruttive e di una manutenzione programmata. I dati da analizzare in fase di inventario dovrebbero essere raccolti sul campo (primary data or site data).

Tuttavia, è oggi alquanto limitata in Italia, la disponibilità di dati ambientali derivanti da analisi dirette effettuate presso ditte produttrici di materiali e prodotti per l’edilizia, così come sono pressoché inesistenti dati relativi alla fase di cantiere e alle fasi di manutenzione e gestione. È quindi necessario servirsi dei pochi dati derivati (secondary data) ricavabili dalla letteratura. Nel calcolo dell’embodied energy come illustrato precedentemente possono essere distinte:

- fasi che contribuiscono ad una embodied energy “iniziale”, consumata fino al completamento dell’edificio (estrazione delle materie prime; produzione di materiali, prodotti e componenti edilizi, trasporto, cantiere);
- fasi che determinano una embodied energy “ricorrente”, consumata per processi manutentivi di sostituzione e di ripristino, durante la fase d’uso dell’edificio, relative alle quantità di materiali e prodotti necessari agli interventi periodici. O globale riguarda l’acquisizione dei dati che sono fortemente influenzati dalle specificità locali: caratteristiche del mercato e disponibilità di materie prime e prodotti, regole d’arte tradizionali e abitudini della manodopera.

Per quanto attiene le fasi d’uso, i dati dovrebbero derivare da monitoraggi, audit e feedback ad oggi pressoché inesistenti, che rendono la valutazione della quota “ricorrente” di embodied energy affetta da ampi margini di approssimazione. Per l’esposizione ad agenti esterni e per la pluralità delle funzioni, la vita utile di materiali e prodotti di finitura è di gran

lunga inferiore ai 50 anni. Ciò implica, un errore notevole nel computare l'uso di tali materiali e prodotti un'unica volta (quella precedente alla costruzione) nel ciclo di vita dell'edificio. A titolo di esempio sono stati calcolati i valori di embodied energy per tre tipologie costruttive di parete perimetrale verticale: parete monostrato, parete isolata a cappotto, parete complessa pluristrato (Tab. 2).

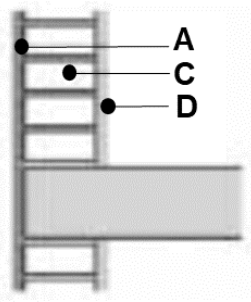
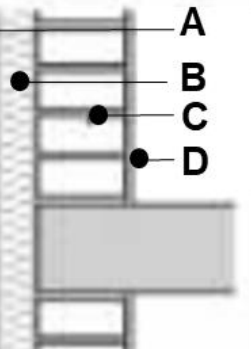
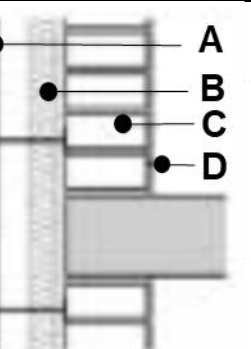
Parete Monostrato						
	A Malta cementizia	3.200	20.352	Riparazione parziale 30%	5	30.400
	Tinteggiatura esterna	128/l	70	Tinteggiatura	7	484
	C Blocchi cls all.	2.350	188.235			
	Malta cementizia	3.200	28.400			
	D Pannello in gesso	5.890	28.096			
	Pittura all'acqua	115/l	55	Tinteggiatura	5	276
	Totale/m³ parete		244.786			31.160
Parete isolata a cappotto						
	A Malta cementizia	3.200	20.352	Riparazione parziale 30%	5	30.400
	Tinteggiatura esterna	128/l	70	Tinteggiatura	7	484
	B Isolante in lana minerale	139	1.768	Riparazione parziale 30%	2	1.061
	C Blocchi cls all.	2.350	160.270			
	Malta cementizia	3.200	24.320			
	D Pannello in gesso	5.890	28.095			
	Pittura all'acqua	115/l	55	Tinteggiatura	5	276
Totale/m³ parete		234.930			32.221	
Parete complessa multistrato						
	A Lastre in pietra	1.890	12.020	Sostanziale parziale 10%	2	2.404
	B Isolante in lana minerale	139	1.768	Riparazione parziale 30%	2	1.061
	C Blocchi cls all.	2.350	134.514			
	Malta cementizia	3.200	20.352			
	D Pannello in gesso	5.890	28.095			
	Pittura all'acqua	115/l	55	Tinteggiatura	5	276
	Totale/m³ parete		196.805			2.680

Tabella 2 Calcolo delle quote di EE iniziale e ricorrente per tre tipi di parete perimetrale verticale (Fonte: Costanzo, E. (2003), Indicatori di compatibilità ambientale e durabilità negli edifici, in ENERGIA, AMBIENTE E INNOVAZIONE, pp. 88-90)

I valori ottenuti si riferiscono al volume unitario di parete. Le due quote di embodied energy, quella "iniziale" e quella "ricorrente", considerando frequenze medie di manutenzione, sono state computate in base a dati aggregati per volume unitario, reperiti in letteratura. I risultati mostrano una notevole incidenza dell'energia intrinseca dei materiali utilizzati per gli interventi di manutenzione, sostituzione e di recupero durante la fase di esercizio

dell'edificio. I frequenti interventi, necessari a mantenere livelli qualitativi sufficienti attraverso l'integrità degli strati cosiddetti di "sacrificio", determinano una quota rilevante di energia consumata in modo ricorrente (Eer) che raggiunge una percentuale del 12-13% di quella iniziale (Eei) laddove gli strati sono maggiormente interconnessi e simultaneamente coinvolti in processi di degrado (tipologie 1 e 2). Questi risultati suggeriscono di non trascurare, anche in sede di valutazione o certificazione degli edifici, le prestazioni ambientali di materiali e prodotti utilizzati in tutte le fasi del processo edilizio. Sull'esempio di quanto intrapreso dai paesi più avanzati per quanto attiene le azioni di salvaguardia ambientale, sarebbe necessaria la costruzione di una struttura di soggetti, supportata e in parte costituita dalle istituzioni, al fine di redigere strumenti regolamentari e normativi complementari ed efficaci, partendo dalla messa a sistema delle informazioni sui fattori impattanti e sui contributi delle attività antropiche (produttive, progettuali, gestionali) relative alle fasi del processo edilizio. Solo dall'analisi congiunta di tali fattori, e di quelli socioeconomici correlati, si potrebbero valutare e mettere a punto criteri, tecnologie, metodologie per orientare le politiche relative al processo e al prodotto edilizio ai fini di un contributo allo sviluppo sostenibile, nel rispetto dei più recenti documenti programmatici internazionali. Occorre quindi inserire, in modo organico, obiettivi, priorità e azioni in un piano di azione, secondo gli schemi riportati nelle figure seguenti.

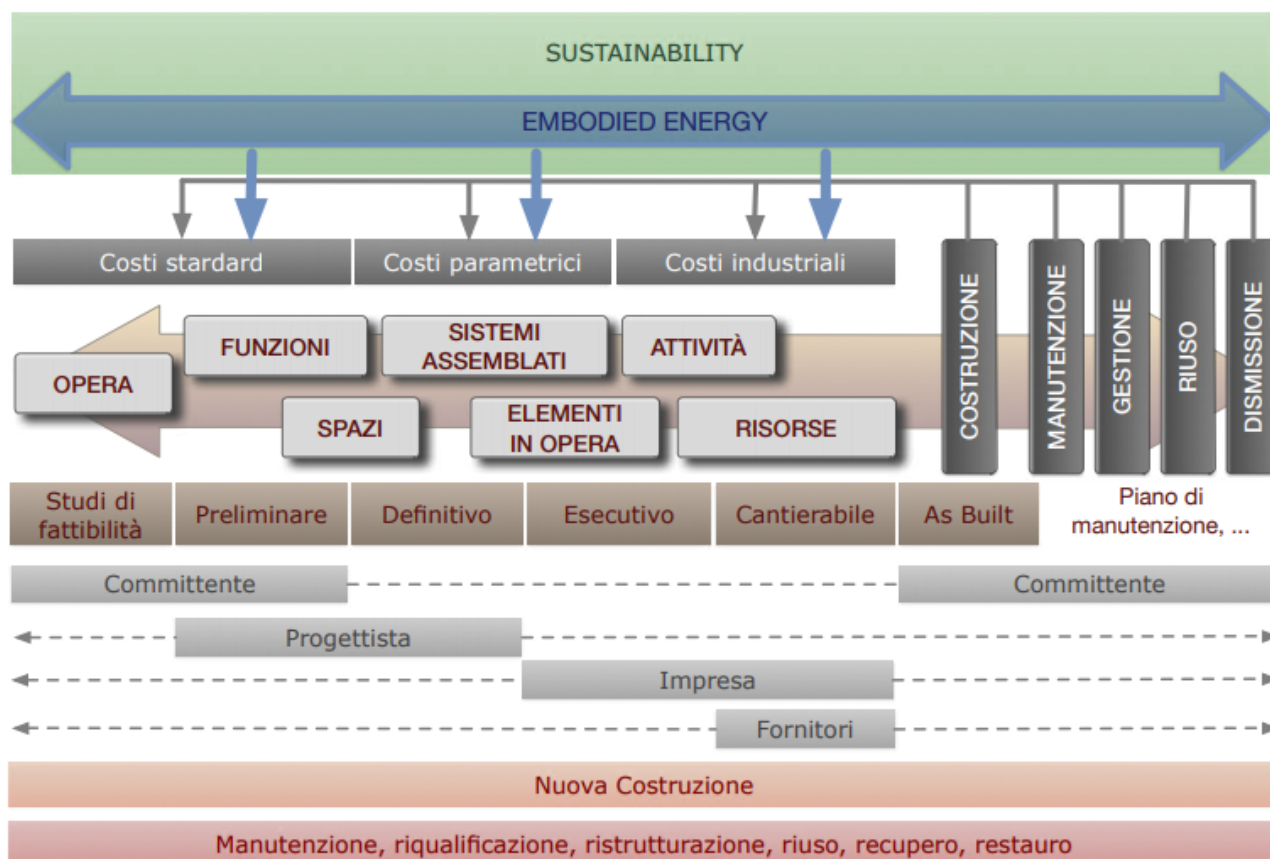


Figura 6. Schema di flusso inerente alla valutazione dell'embodied energy all'interno del processo edilizio



Figura 7. Analisi delle fasi di calcolo delle differenti tipologie di energia incorporata in un prodotto edilizio

Le principali azioni per la riduzione dell'energia incorporata in fase di manutenzione negli edifici sono:

- progettare gli interventi manutentivi e di ristrutturazione in maniera tale da garantire adattabilità e lunga durata;
- utilizzare materiali duraturi e a bassa richiesta di manutenzione;
- assicurarsi che i materiali possano essere facilmente separati;
- evitare di costruire più abitazioni del necessario per risparmiare materiali;
- modificare/riadattare invece di aggiungere/demolire;
- assicurarsi che i materiali provenienti dalla demolizione di edifici esistenti e da discariche di materiali edili vengano riutilizzati o riciclati;
- utilizzare materiali rinvenibili localmente, inclusi quelli recuperati nel cantiere per ridurre i trasporti;
- scegliere materiali a basso contenuto di energia grigia (che possono includere materiali con contenuto altamente riciclato) basandosi preferibilmente su dati prodotti da fornitori specifici;
- specificare dimensioni standard, e non utilizzare materiale ad alto contenuto energetico come riempitivi;
- assicurarsi che gli avanzi vengano riciclati ed evitare strutture ridondanti;
- alcune finiture ad altissimo contenuto energetico come le pitture hanno spesso alti livelli di spreco;
- scegliere materiali che possono essere riutilizzati e riciclati facilmente alla fine del loro ciclo di vita utilizzando sistemi di riciclaggio esistenti;

- dare preferenza a materiali prodotti utilizzando fonti di energia rinnovabili;
- utilizzare progetti e allestimenti di rivestimento degli edifici efficienti per minimizzare l'uso di materiali (per esempio un rivestimento energeticamente efficiente può ridurre o eliminare la necessità di dispositivi riscaldanti e raffreddanti, rubinetti efficienti permettono la riduzione delle tubature);
- chiedere ai fornitori informazioni sui loro prodotti e condividere queste informazioni.