

Politecnico di Torino
Corso di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile

A.A. 2018-2019

Test di Laurea Magistrale

Candidate Federica Gallina Benedetta Quaglio

Relatori Roberto Giordano Lorenzo Savio

EURECA

un modello di analisi e valutazione parametrica degli impatti energetico ambientali del ciclo di vita degli edifici

Il caso studio della Vivienda Social, nell'ambito del Concorso internazionale Solar Decathlon LAC 2019.

INDICE





PARTE I

10	00. Introduzione	
14	01. Ruolo del progettista rispetto ai nuovi paradigmi dell'ed circolare	conomia
	Economia lineare vs economia circolare	18
	Economia circolare nel progetto di architettura	2.
30	02. Valutazione dell'economia circolare: metodi e strume	nti
42	03. Indicatori di impatto energetico-ambientale – Energy ed Embodied Carbon	nbodie
	Indicatori: stato dell'arte	44
	Studio del ciclo di vita dell'edificio	5
	Embodied Energy	59
	Definizione	6
	Metodo di calcolo	6.
	Sistemi di certificazione	66
	Focus: Il Sistema MINERGIE®	68

	Embodied Carbon	701		
	Definizione	75		
	Metodo di calcolo	77		
	Sistemi di compensazione	80		
	FOCUS: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, Fifth Assessment Report. Technical Summary, 2015	84		
	PARTE II			
92	04. EURECA: modello di analisi parametrica per la valutazione del ciclo di vita dell'edificio			
	Metodologia di valutazione	93		
	Fase di produzione fuori opera	93		
	Embodied Energy iniziale e periodica	93		
	FOCUS: EPD® — Environmental Product Declaration	96		
	FOCUS: SIA - Società Svizzera Ingegneri e Architetti	102		
	Embodied Carbon iniziale e periodica	107		
	Fase di trasporto	109		

	Impatto ambientale dei trasporti in Europa	110
	Embodied Energy ed Embodied Carbon dei trasporti	116
	Veicoli alimentati a benzina, diesel o biodiesel	118
	Veicoli elettrici e ibridi	123
Fase (di fine vita	128
	FOCUS: Green House Gas (GHG) Protocol	134
	Attuali strumenti di valutazione degli impatti	138
	Sviluppo di una nuova metodologia	144
	Embodied Energy di fine vita	150
	Embodied Carbon di fine vita	151
PARTE	E	
05. Caso stu	udio: Solar Decathlon LAC 2019	
Storia		157
Competizione		158
	PARTE 05. Caso sto Storia	Embodied Energy ed Embodied Carbon dei trasporti Veicoli alimentati a benzina, diesel o biodiesel Veicoli elettrici e ibridi Fase di fine vita FOCUS: Green House Gas (GHG) Protocol Attuali strumenti di valutazione degli impatti Sviluppo di una nuova metodologia Embodied Energy di fine vita Embodied Carbon di fine vita PARTE III 05. Caso studio: Solar Decathlon LAC 2019

251	Bibliografia	
	APPENDICE	
	Conclusioni	214
192	0.6 Valutazione degli impatti ambientali del caso studio	
	PROGETTO ARCHITETTONICO	184
	MÁQUINA VERDE — EL ARCA	171
	PROGETTO PER IL SOLAR DECATHLON LAC 2019, CALI	171
	Approfondimento: le regole del concorso	162
	Solar Decathlon Latino America and Caribbean 2019	160

INTRODU ZIONE



a presa di coscienza delle questioni ambientali legate alla finitezza delle risorse del pianeta e delle conseguenze dovute alle emissioni antropogeniche, che hanno contribuito in larga parte al cambiamento climatico, ha imposto la necessità di adottare approcci alternativi al progetto, orientati verso una concezione del prodotto legata al ciclo di vita e maggiormente attenti alla scelta dei materiali da impiegare. Questo modo di intendere la progettazione rientra nei parametri della cosiddetta economia circolare, un modello alternativo a quello tradizionale, di tipo lineare, che concepisce il rifiuto non più come scarto da dismettere in discarica, ma come risorsa da reimpiegare o riciclare.

Per quanto si tratti di un territorio ancora poco esplorato, i principi dell'economia circolare possono essere applicati al settore delle costruzioni attraverso la collaborazione di tutti gli attori coinvolti nel processo decisionale in ottica di progettazione integrata e attraverso l'uso di strumenti digitali che permettano consentano di controllare il processo progettuale dalle prime fasi di produzione fuori opera dei materiali, fino al termine della vita utile dell'edificio attraverso la configurazione di scenari di smaltimento. Questo approccio al ciclo di vita ha preso, negli anni, sempre più piede, soprattutto per via della crescente importanza, nel campo delle costruzioni, della valutazione dell'impatto ambientale degli edifici, che può essere calcolato attraverso indicatori di sostenibilità. Fra questi, quelli che più comunemente vengono adottati nell'ambito dei materiali da costruzione, emergono l'Embodied Energy e l'Embodied Carbon, che rappresentano rispettivamente il contenuto o fabbisogno energetico inglobato all'interno di un materiale e il quantitativo di carbonio incorporato (intesi come energia impiegata e gas serra emessi in atmosfera per la produzione del materiale o prodotto). Progettare un edificio in ottica di economia circolare significa adottare soluzioni che siano facilmente reimpiegabili al termine della sua vita utile: i componenti dell'edificio, pertanto, devono essere facilmente smontabili per permettere di recuperare l'elemento completo, o quantomeno parti di esso, per riciclarne i materiali che lo compongono.

Il presente lavoro di tesi di laurea magistrale si inserisce all'interno di questo contesto culturale: l'obiettivo principale della tesi è stato quello di sviluppare uno strumento di supporto decisionale al progettista, in grado di orientare le scelte fin dalle prime fasi della progettazione e tenendo conto dell'intero ciclo di vita dell'edificio, in linea con i principi dell'economia circolare. Dopo una prima fase di analisi sulle modalità con cui si è evoluta la figura del progettista, rispetto ai nuovi paradigmi progettuali sorti insieme alla questione ambientale, ci si è interrogati su quali siano, al momento attuale, gli strumenti di supporto ad un progettista. In seguito, con il supporto di un team interdisciplinare si è lavorato all'implementazione di uno strumento di calcolo esistente, IREEA – *Initial and* Recurring Embodied Energy Assessment¹, ed è stata sviluppata una metodologia, basata su linee guida di riferimento e normative nazionali ed europee, che permetta di restituire il calcolo dei valori di Embodied Energy ed Embodied Carbon per tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio; tale strumento, chiamato EURECA - Eco Utility for Reduction of Energy and CArbon è pensato per essere utilizzato dal progettista come supporto decisionale nella scelta dei materiali a partire dalle prime fasi della progettazione dell'edificio. è pensato per essere utilizzato dal progettista, in una logica multicriteria, come supporto decisionale nella scelta dei materiali a partire dalle prime fasi della progettazione dell'edificio. In particolare, ci si è focalizzati sullo sviluppo di una metodologia di calcolo per la quantificazione degli impatti energetico-ambientali legati alla fase di trasporto e di fine vita all'interno del ciclo di vita dell'edificio. Al fine di agevolare l'uso del programma, che, per una diffusione più ampia ed internazionale è stato tradotto anche in inglese, è stata elaborata una guida di accompagnamento allo strumento di calcolo EURECA, riportata in allegato (?).

EURECA è stato applicato nell'ambito della seconda edizione del concorso internazionale Solar Decathlon Latin America and Caribbean che si svolgerà tra

1 Il software è stato sviluppato nel 2016 da Enrico Demaria ed Angela Duzel nell'ambito della loro tesi di laurea magistrale, sotto la supervisione del loro relatore, il Pof. Roberto Giordano. DEMARIA, E., DUZEL A., Embodied Energy versus Operational Energy in un caso studio "Nearly Zero Energy Building": ideazione e sviluppo del software IREEA: strumento per il calcolo dell'Embodied Energy iniziale e periodica, rel. Roberto Giordano, Valentina Serra, Politecnico di Torino, Corso di Laurea Magistrale Architettura per il progetto sostenibile, febbraio 2016.

novembre e dicembre 2019 a Santiago de Cali, in Colombia. In questa occasione, il Politecnico di Torino è stato invitato dall'Università Javeriana di Bogotà, a fornire un contributo nello sviluppo di soluzioni progettuali ecocompatibili e nella valutazione ambientale del progetto elaborato per il concorso.

La tesi è articolata in tre parti: nella prima parte vengono analizzati gli aspetti teorici legati allo sviluppo dello strumento di calcolo EURECA. A partire da un'analisi del contesto culturale entro cui si inserisce la concezione dell'economia circolare e il modo in cui il progettista di architettura si rapporta ad essa, si passa a definire gli indicatori di impatto, Embodied Energy ed Embodied Carbon, per comprendere il panorama attuale dell'utilizzo di tali indicatori e le modalità con cui essi vengono applicati per la valutazione della compatibilità ambientale dell'edificio.

Nella seconda parte viene descritta nello specifico la metodologia sviluppata per l'implementazione del software IREEA attraverso l'inserimento del secondo indicatore di impatto, l'Embodied Carbon, e l'ampliamento dei confini del sistema². La terza ed ultima parte rappresenta quella di applicazione del foglio di calcolo a casi studio. Il principale caso studio è rappresentato dall'applicazione del metodo - precedentemente testato in occasione del Master delle Costruzioni in Legno organizzato dal Politecnico di Torino che prevedeva la valutazione Life Cycle Assessment dell'edificio progettato dagli studenti - al progetto del Solar Decathlon Latin America and Caribbean. Effettuare la valutazione di questo edificio, per il quale spesso sono stati scelti materiali e componenti soprattutto in funzione di criteri economici³ ha permesso di effettuare una analisi critica del progetto, ipotizzando soluzioni alternative supportata da valori oggettivi.

2 II foglio di calcolo IREEA permetteva di calcolare l'Embodied Energy della sola fase di produzione fuori opera dei materiali, dei serramenti e degli impianti impiegati nel progetto dell'edificio. L'implementazione di EURECA permette di calcolare anche l'Embodied Carbon e di tenere conto anche delle fasi di trasporto e di fine vita, nell'ottica di una valutazione più completa, conforme alla analisi LCA – Life Cycle Assessment.

3 Uno dei requisiti del concorso prevede che la costruzione dell'edificio non debba superare il costo di 200.000 \$, pertanto è spesso necessario trovare sponsor che forniscano il materiale a titolo gratuito, in cambio della visibilità che comporta la partecipazione al concorso, o a prezzi agevolati.

RUOLO DEL PROGETTISTA

rispetto ai nuovi paradigmi dell'economia circolare



4 LANZA A., *Lo sviluppo sostenibi-le*, Bologna, Il Mulino, 2006.

5 PAULI G., *Blue Economy*, Edizioni Ambiente, 2010.

6 PELLIZZARI A., GENOVESI E., Neomateriali nell'economia circolare, Milano, Edizioni Ambiente, 2017.

7 RAU T., OBERHUBER S., *Mate-rial Matters. L'importanza della materia — Un'alternativa al sovrasfrut-tamento*, Edizioni Ambiente, 2019.

8 http://www.treccani.it/enciclopedia/green-economy_%28Lessico-del-XXI-Secolo%29/

a decenni ormai è stato introdotto nella società contemporanea il termine s*ostenibilità*: numerosi sono gli scritti, le teorie, le definizioni, i tentativi di dare un riscontro concreto ad un concetto che può essere applicato ai più disparati ambiti della società umana. Sul concetto di sviluppo sostenibile è disponibile una bibliografia molto vasta; ne è un esempio il testo di Alessandro Lanza, Lo sviluppo sostenibile⁴, che sottolinea il problema dello sfruttamento delle risorse finalizzato all'accrescimento del benessere il quale, se non opportunamente regolato, può portare all'impoverimento progressivo del pianeta, ed esorta a ricercare soluzioni in grado di soddisfare le necessità degli uomini di oggi e di domani. Un altro esempio può essere riscontrato nell'ultimo rapporto del Club di Roma, di cui si parlerà più avanti, *Blue Economy* di Gunter Pauli⁵, che affronta il problema della attuale crisi economico-ambientale-sociale proponendo soluzioni per sviluppare un'economia innovativa basata sull'imitazione di quei sistemi naturali che riutilizzano risorse senza produrre rifiuti nè generando sprechi. Costituiscono un importante esempio anche i volumi più recenti pubblicati da Edizioni Ambiente come *Neomateriali nell'economia circolare*⁶ di Pellizzari e Genovesi, o Material Matters⁷. L'importanza della materia – Un'alternativa al so*vrasfruttamento*, entrambi testi che cercano di dare risposta al sovrasfruttamento delle risorse finite del pianeta, incentivando un approccio volto alla circolarità dei sistemi produttivi.

Ma quanto si può affermare che il concetto di sostenibilità sia entrato a far parte della mentalità comune? È proprio partendo dal concetto di sostenibilità come "modello teorico di sviluppo economico, che prende in considerazione l'attività produttiva valutandone sia i benefici derivanti dalla crescita, sia l'impatto ambientale provocato dall'attività di trasformazione delle materie prime" che si sviluppano i nuovi paradigmi della progettazione che si vanno qui a delineare come possibili soluzioni al problema.

Sin dalla rivoluzione industriale, la crescita continua è stata considerata l'unico

modello di sviluppo possibile, ormai radicato nella società contemporanea e insito nel sistema globale. Tuttavia, numerosi studi intrapresi già a partire dagli anni Settanta hanno dimostrato che non è possibile perseguire questa via senza andare incontro ad un inevitabile collasso. Infatti, già alla fine degli anni Sessanta un gruppo di intellettuali riunitisi nel cosiddetto Club di Roma iniziò a preoccuparsi dei limiti della crescita economica e dell'interdipendenza di cinque fattori critici: aumento della popolazione, produzione di alimenti e sottoalimentazione, industrializzazione crescente, esaurimento delle risorse naturali e deterioramento dell'ambiente. Per quanto, infatti, il termine sviluppo venga generalmente inteso con accezione positiva, poiché presuppone crescita, miglioramento delle condizioni di vita, innovazione tecnologica, accumulazione di ricchezza ecc... esso implica una serie di fattori negativi che sono causa della complessità della situazione moderna. Proprio a partire dalla presa di coscienza di guesta contraddizione insita nello sviluppo, inteso come forza in grado di portare sia progresso che distruzione, il Club di Roma invita il System Dynamics Group del Massachusetts Institute of Technology (MIT) ad elaborare uno studio che metta di fronte all'umanità l'evidenza dei limiti della crescita materiale del mondo. L'esito è un rapporto denominato *I limiti dello sviluppo*⁹ che si pone come scopo non quello di fare allarmismo catastrofico o previsioni sul futuro che verrà, ma di presentare un ventaglio di possibili scenari alternativi in cui potrebbe evolversi il XXI secolo, per sensibilizzare alla conoscenza, alla riflessione e alla scelta personale¹⁰. L'analisi è centrata sui limiti fisici del pianeta, e in particolare sulle risorse naturali esauribili e sulla capacità non infinita della Terra. In seguito alla pubblicazione del rapporto nel 1972, che ha avuto un grandissimo riscontro mediatico in quanto uno dei libri più venduti in molti Paesi, sono stati pubblicati due aggiornamenti, uno del 1992 e uno del 2004: essi sottolineano in maniera sempre più incalzante che, se ai tempi della redazione del primo rapporto la situazione era grave ma ancora recuperabile purché si intervenisse in tempo per restare al di

- 9 MEADOWS D., MEADOWS D., RANDERS J., BEHRENS III W., I limiti dello sviluppo. Rapporto del System Dynamics Group Massachusetts Institute of Technology (MIT) per il progetto del Club di Roma sui dilemmi dell'umanità, Milano, Mondadori, 1972.
- 10 MEADOWS D., MEADOWS D., RANDERS J., I *nuovi limiti dello sviluppo. La salute del pianeta nel terzo millennio*, Milano, Oscar Mondadori, 2005.

11 MEADOWS D., MEADOWS D., RANDERS J., *Oltre i limiti dello sviluppo*, Milano, II Saggiatore, 1993. sotto dei limiti, dopo vent'anni "l'umanità ha ormai superato i limiti della capacità di sostentamento della Terra"¹¹. Tale ipotesi è confermata ne *I nuovi limiti* dello sviluppo del 2004, dove però si prende atto del fatto che vi sono stati anche sviluppi positivi: "sono state introdotte nuove tecnologie, i consumatori hanno modificato le loro abitudini d'acquisto, sono state create nuove istituzioni e sono stati messi a punto accordi internazionali" (Meadows et al., 2005). Ma, per quanto la consapevolezza delle questioni ambientali sia oggi cresciuta rispetto agli anni Settanta, essa è ancora fortemente e gravemente limitata. Il Rapporto del MIT al Club di Roma è stato fortemente criticato, specialmente da coloro che difendono il concetto di crescita e non riconoscono gli effetti devastanti della pressione umana sui sistemi naturali, e da coloro che si rimettono con cieca fiducia alle potenzialità dello sviluppo tecnologico come possibile soluzione per sopperire alle criticità dei fattori che influenzano negativamente lo sviluppo e la crescita. Esso si conclude con la speranza che, nel prossimo futuro, la sfida di sviluppare un nuovo stato di equilibrio venga accettata da uomini e donne di ogni età e condizione. "C'è così tanto da fare che ognuno troverà il ruolo che fa per lui" (Meadows et al., 2005).

Obiettivo del presente saggio di ricerca è quello di capire in che modo il progettista - con un'attenzione particolare al campo architettonico - può rispondere al messaggio d'allarme lanciato ormai molti decenni fa dagli studiosi del MIT, che invitavano ogni abitante del pianeta ad assumersi la propria parte di responsabilità. Partendo da un'analisi del contesto culturale attuale, caratterizzato dalla necessità di un passaggio da una visione tradizionale *lineare* ad una più innovativa e *circolare* - cercando di comprendere come questa può essere applicato al campo architettonico - si andranno poi a descrivere i principali indicatori di impatto che permettono di misurare la circolarità in architettura, per arrivare infine a definire in maniera più puntuale il ruolo del progettista. Questi ragionamenti sono finalizzati alla stesura di una tesi di Laurea Magistrale in Architettura

per il Progetto Sostenibile presso il Politecnico di Torino. Questa si porrà come obiettivo il tentativo di risolvere alcune delle questioni qui proposte. La domanda da cui si vuole partire è la seguente: in che modo l'introduzione del concetto di sostenibilità ha influito sulla figura del progettista? Ma soprattutto, perché la scelta dei materiali e la loro caratterizzazione sono così importanti dal punto di vista ambientale?

Economia lineare vs economia circolare

Economia lineare

In seguito alla rivoluzione industriale, l'eccezionale sviluppo tecnologico che ne è conseguito ha portato ad una globale percezione di disponibilità di risorse quasi infinita che ha dato vita allo sviluppo di un modello economico cosiddetto *li*-

neare, che si basa sull'approccio *take-make-waste* (vedi Fig.1), secondo il quale "estraiamo le materie prime [take], le usiamo [make] e poi le gettiamo via [waste]" il cui scopo non è (come invece dovrebbe essere) quello di rispondere ad un bisogno fornendo un servizio o ottimizzando un prodotto, ma massimizzare i profitti aumentando la crescita dei consumi generando detto bisogno. La vita di un prodotto viene così accorciata artificialmente, in modo da accelerare i tempi di sostituzione: le strategie che i produttori adottano per far sì che un oggetto

12 RAU T., OBERHUBER S., *Material Matters. L'importanza della materia — Un'alternativa al sovrasfruttamento*, Edizioni Ambiente, 2019



Figura 1 - Economia Lineare

venga sostituito più velocemente vengono attuate attraverso politiche di *obsole-scenza programmata*, che agiscono sia a livello tecnologico (il prodotto si rompe più facilmente e a ridosso della scadenza della garanzia, e ripararlo costa più che sostituirlo per via degli elevati costi di manodopera), che a livello psicologico (il prodotto passa di moda in tempi brevissimi e quindi va sostituito). È evidente che è necessario cambiare mentalità, prendere coscienza del fatto che i materiali sono importanti e che è fondamentale passare a modelli di sviluppo che non comportino più lo spreco di risorse preziose in quanto limitate.

Nel modello economico lineare il progettista non si assume in maniera efficace la responsabilità delle conseguenze delle decisioni prese in fase di produzione; essa viene trasferita lungo tutta la catena di produzione ricadendo sul consumatore, il quale però, non esercitando alcun controllo sulla fase produttiva non avverte tale responsabilità come propria. Il risultato è che un materiale potenzialmente riutilizzabile o riciclabile diventa rifiuto: "l'acquirente deve accettare, suo malgrado, la responsabilità di un prodotto creato appositamente per durare poco"¹³. Fintanto che esisteranno i rifiuti, le materie prime verranno continuamente perdute. La logica di questo modello è unicamente quella del guadagno del produttore, il quale non si preoccupa dei costi che ricadono inizialmente sul consumatore, poi sull'ambiente e sulla società sotto forma di inquinamento.

Economia circolare

L'unica via possibile per uscire da questo modello di ricavi, di consumo eccessivo, di spreco di risorse è quella che prevede che "chi prende le decisioni nell'ambito del processo produttivo" si assuma "la responsabilità delle conseguenze che ne derivano" non trasferendole ad altri¹⁴. Le risposte possibili che sono state individuate prevedono tutte, non solo la limitazione quantitativa di uso di risorse, di energia e di consumi, ma anche la rivisitazione qualitativa dei processi produttivi, attuando percorsi che prevedano la riduzione di sprechi e

13 Ibidem

14 Ibidem

l'ottimizzazione delle risorse. È questo il principio della cosiddetta *economia circolare* (i cui principi sono schematizzati nelle figure 2 e 3), modello che mira a considerare il rifiuto o il materiale di scarto come nuova risorsa da reimmettere in un nuovo ciclo produttivo (non solo la materia fisica ma anche tutti gli output di un processo come aria, acqua, energia da fonte fossile e/o da fonte rinnovabile). "L'idea di economia circolare va oltre il ciclo del singolo prodotto, proponendo sinergie tra diverse imprese finalizzate al riutilizzo di ciò che per un'industria è scarto e che per altre industrie può essere risorsa" 15. A partire dal 2010 la promozione dello sviluppo circolare è divenuto l'obiettivo della *Ellen McArthur Foundation*, una fra le più grandi fondazioni private degli Stati Uniti, con sede a Chicago, la quale fin dalla fine degli anni Settanta, finanzia diverse organizzazioni senza scopo di lucro e conferisce borse di studio nei seguenti ambiti: arte, cultura, comunità, sviluppo economico, media digitali, apprendimento, abitare e giustizia minorile. Essa definisce il concetto di economia circolare come segue:

Guardando oltre l'attuale modello industriale estrattivo del take-make-waste, un'economia circolare mira a ridefinire la crescita, concentrandosi su benefici positivi per l'intera società. Implica gradualmente il disaccoppiamento dell'attività economica dal consumo di risorse limitate e la progettazione di rifiuti fuori dal sistema. Sostenuto da una transizione verso fonti di energia rinnovabile, il modello circolare crea capitale economico, naturale e sociale 16.

Su questo stesso principio di economia circolare si basa l'ultimo rapporto al Club di Roma, *Blue Economy*, di Gunter Pauli, che traccia i principi base di un'economia che supera la cosiddetta *green economy*, la quale richiedeva maggiori investimenti per i produttori e maggiori spese per i consumatori, senza ottenere i risultati previsti. La *blue economy* si ispira alla natura ed ai principi di biomimesi, e prevede la sostituzione di "qualcosa" con "niente": imitando i sistemi naturali, mira all'adozione di un modello *a cascata*, un modello cioè dove non esistono rifiuti, poiché lo scarto diviene a sua volta risorsa né disoccupati, poiché ogni elemento ha una funzione e un compito da svolgere¹⁷.

Nel contesto appena delineato il materiale assume un ruolo di grande centralità

15 PELLIZZARI A., GENOVESI E., Neomateriali nell'economia circolare, Milano, Edizioni Ambiente, 2017

16 https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/ concept

17 PAULI G., *Blue Economy*, Edizioni Ambiente, 2010.

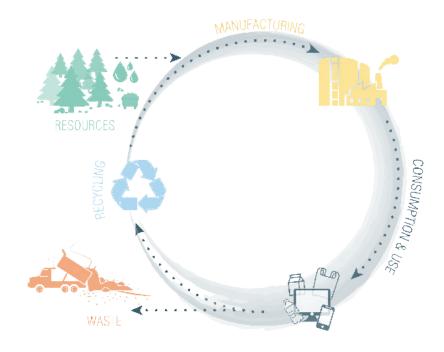


Figura 2 - Economia Circolare



ECO FROGELIAZIONE

Progotate produlti pensance fin ca subite at tere implega a tine vita, quindi con caratterissishe che ne pomotoramo la sinonaggio o la discribtinazione. 2

MODULARITÀ E VERSATILITÀ

lare priorità a la modularità versari di la adalabi la del prodette affinche il scollego si possa adortati al comolomento delle condizioni esterne. 3

ENERGIE Finnôvabili

Allidais ad energie prodette da terti rinnovabili taverence il rapide abbandono del modello energotico fondalo sulle fenti fessi 4

APPROCCIO ECOSISTEMICO

For sale in manioral officito, avendo attenzio di attintene is stema e considerado le rotazioni causa-offotto la le diverse componenti. 5

REQUPERO DE MATERIALI

Favorine la socializione del la socializione del la materie prime vergini con materie prime saccinde provenienti del fil dei di recupero che ne do servino la gualità.

Figura 3 – Principi dell'Economia Circolare. Fonte: http://www.economiacircolare.com/cose-leconomia-circolare/

in quanto "porta il peso tangibile in termini di consumo di risorse primarie, essendo sia elemento costituente dei prodotti di consumo, sia a sua volta prodotto" (Pellizzari, Genovesi, 2017). In questo senso è cambiata, da un lato, la percezione del materiale poiché, essendo la materia prima così preziosa, è opportuno progettare un oggetto che a fine vita permetta facilmente di recuperarla, e, dall'altro, la relazione fra progettista e produttore, la cui interazione è agevolata dalle cosiddette Dichiarazioni Ambientali di Prodotto, strumento di etichettatura volontaria conosciuta come *Environmental Product Declaration –* EPD®18 o *International EPD® System*. Tale strumento fornisce "informazioni di natura ambientale inerenti: il consumo di risorse energetiche rinnovabili, i rilasci in aria, acqua e suolo; alcune categorie di effetti ambientali (effetto serra, assottigliamento strato di ozono ecc.)"¹⁹, permettendo al progettista di effettuare scelte mirate sui prodotti o materiali da adottare in base alle prestazioni energetico-ambientali, in particolare riguardo le fasi di produzione e riciclaggio.

Nel 2016 il CONAI (Consorzio Nazionale Imballaggi) dopo aver riscontrato fra i consumatori una generale risposta positiva alla questione ambientale rispetto a quanto la sostenibilità condizioni la scelta dell'acquisto di un prodotto, avvia uno studio intitolato *Scenari dell'economia circolare: il ruolo di Conai nel sistema nazionale*²⁰: tramite questo studio viene effettuata una analisi, prima dal punto di vista del consumatore, e in seguito da quello del produttore, per comprendere quali siano i fattori di stimolo a compiere scelte consapevoli ed efficienti dal punto di vista ambientale, quali le difficoltà che rallentano la conversione della produzione alla circolarità, quali gli ambiti su cui intervenire attraverso politiche che potrebbero sostenere il cambio di rotta da economia lineare ad economia circolare. Dopo aver riscontrato nei consumatori una generale risposta positiva alla questione ambientale rispetto a quanto la sostenibilità condizioni la scelta dell'acquisto di un prodotto, l'attenzione si focalizza sul punto di vista del produttore, mettendo in luce i fattori positivi che spingono verso azioni di economia

18 Le dichiarazioni ambientali di prodotto presentano informazioni trasparenti, verificate e comparabili sull'impatto ambientale del ciclo di vita dei prodotti. L'International EPD® System è un programma globale per le dichiarazioni ambientali basato sulle norme ISO 14025 ed EN 15804. Fonte: www.environdec.com

19 GIORDANO R., *I prodotti per l'edilizia sostenibile: la compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2010.

20 Studio avviato in collaborazione con l'Istituto di *Management* della Scuola Sant'Anna di Pisa e il *Green Economy Observatory* (GEO) dello IEFE Bocconi

circolare; questi possono essere riassunti come segue: aumento dell'efficienza in termini di riduzione dei costi, soddisfazione dei clienti, miglioramento delle proprie prestazioni in contesto ambientale, necessità di conformarsi alle leggi, talvolta anticipandole. Tuttavia, le difficoltà lungo il percorso verso l'adozione della circolarità non sono poche: si riscontra un generale timore a modificare i processi produttivi e ad effettuare investimenti, poiché gli sforzi fatti vengono percepiti come sproporzionati rispetto alla mancanza di una strategia nazionale a sostegno del settore; non sono previsti incentivi e/o riconoscimenti specifici a sostegno della transizione dalla linearità alla circolarità; inoltre, l'utilizzo di materie prime secondarie non è stimolato dai prezzi, che generalmente risultano essere superiori rispetto a quelli delle materie prime.

Dopo aver compreso il concetto di economia circolare, nei prossimi paragrafi cerchiamo di comprendere innanzitutto le motivazioni per cui è importante applicare tale concetto al settore delle costruzioni e, in secondo luogo, di analizzare lo stato dell'arte, e cioè le realtà che, in campo architettonico, hanno già tentato di metterne in atto i principi.

Economia circolare nel progetto di architettura

Come emerge dallo studio del MIT, uno dei fattori cui si dovrebbe prestare particolare attenzione per invertire la rotta della crescita verso uno sviluppo sostenibile è legato alla finitezza delle risorse del pianeta. Un rapporto dell'UNEP (*United Nations Environment Programme*)²¹ dichiara che il settore edilizio

utilizza circa il 40% dell'energia mondiale, il 25% di acqua globale, il 40% delle risorse globali, emette circa 1/3 delle emissioni di gas serra ed è responsabile di circa il 50% in peso dei rifiuti. Nello specifico, il documento riporta che circa il 40-50% delle materie prime che vengono estratte a livello mondiale è destinato alla produzione di componenti edilizi. Questi dati dimostrano l'importanza

21 UNEP (United Nations Environment Programme), *Buildings and Climate Change*, 2007

della responsabilità del progettista di architettura nella selezione dei prodotti da costruzione. Egli, infatti, diventa cruciale nell'attuazione del concetto di ecocompatibilità del processo edilizio: le sue decisioni hanno un peso non indifferente sugli impatti che l'edificio provoca sull'ambiente in tutte le sue fasi (in fig. 4 sono riportate le fasi che costituiscono il ciclo di vita dell'edificio).

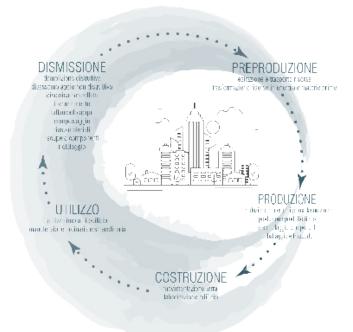


Figura 4 – Fasi del ciclo di vita dell'edificio

Inoltre, aumentano le conoscenze in ambito ambientale che deve saper applicare e gestire all'interno di quella che diventa sempre più una progettazione integrata (di cui si parlerà in maniera più approfondita più avanti). Per quanto riguarda l'approccio alla progettazione ecocompatibile, si sta introducendo la necessità di effettuare analisi e valutazioni del comportamento dell'edificio. Nel passato, l'attenzione di dette analisi si è focalizzata sul controllo del consumo energetico in fase di esercizio (*Operational Energy*) e delle conseguenti emissioni di gas

effetto serra. In questo modo è stata resa sempre più efficiente la fase operativa, trasferendo, però, l'impatto sulle altre fasi.

Fino a poco tempo fa il processo di costruzione, o produzione in opera, e soprattutto quello di vita utile, erano i soli ad essere considerati come processi caratterizzanti il ciclo di vita di un edificio. L'architetto concepiva un'opera che si presupponeva fosse immutabile nel tempo, non si pensava che prima o poi l'edificio avrebbe raggiunto un'obsolescenza tale da non essere più idoneo a rispondere a requisiti di compatibilità ambientale, nonché a quelli funzionali. (Giordano, 2010)

Tuttavia, non è più sufficiente focalizzarsi sulla sola fase operativa per valutare la sostenibilità dell'edificio. In questo senso, rivestono un ruolo chiave i prodotti da costruzione, in quanto:

la determinazione dell'ecocompatibilità di un prodotto edilizio richiede opportune verifiche che tengano conto delle modalità con cui sono gestite le risorse energetiche in fase di produzione, dell'organizzazione dei trasporti e delle operazioni necessarie alla manutenzione ed alla dismissione, nonché dei possibili rischi di inquinamento indoor o di altri tipi di inquinamento che si possono verificare in più fasi del ciclo di vita dell'edificio. (Giordano, 2010)

Per agire efficacemente in maniera conforme all'approccio di compatibilità ambientale, la progettazione dovrà tenere conto di tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio. In quest'ottica di ciclo di vita, ogni fase prevede operazioni che implicano l'inserimento nel sistema di *input* (materiali, combustibili, energia), e l'uscita dallo stesso sistema, di *output* (prodotto finito o semilavorato, calore disperso, rifiuti solidi ed emissioni di liquidi o gas); ai fini di un approccio ecocompatibile, essendo gli *input* connessi al tema del risparmio di risorse e gli *output* alla questione dell'inquinamento, il progetto deve essere in grado di minimizzare costi e carichi energetici e ambientali associati ai processi del ciclo di vita dell'edificio. A supporto del progettista nascono metodi di valutazione dell'edificio, che possono essere di natura normativa, quindi obbligatoria, oppure valutazioni a punteggio, volontarie, che permettono di fornire indicazioni in merito alla *sostenibilità* dell'edificio, fornendo alternative confrontabili a livello di prestazioni.

Circolarità nell'ambiente costruito

Per comprendere le modalità con le quali è possibilie applicare i principi della circolarità nell'ambiente costruito, merita particolare menzione, nell'ambito delle iniziative promosse dalla *Ellen MacArthur Foundation*, il programma *Circular Economy 100* – CE100, network istituito per creare approcci collaborativi nell'ottica di mettere in atto l'economia circolare ed accelerarne il processo. All'interno di questo programma, la collaborazione fra diversi studi ed enti ha portato all'elaborazione del progetto *The Built Environment Case Studies co.project*, il cui scopo è quello di fornire una serie di casi studio per comprendere in che modo l'economia circolare venga applicata al settore delle costruzioni²².

Nella compilazione di questi studi, si è dato vita al progetto *ReSOLVE framework* per l'ambiente costruito, un modello economico che punta a facilitare la transizione verso l'Economia Circolare mettendone in pratica i principi attraverso sei diverse modalità: *rigenerazione*, *condivisione*, *ottimizzazione*, *ciclo continuo*, *virtualizzazione* e *scambio*. Lo scopo della ricerca è duplice: da un lato dimostrare che in molti progetti ed edifici esistono già alcuni elementi di circolarità; dall'altro, definire meglio il contesto del progetto ReSOLVE per l'ambiente costruito, attraverso le fasi di progetto, costruzione, uso e dismissione/riciclo. I 12 casi studio presentati fanno riferimento a quattro ambiti legati al settore delle costruzioni: progetti di edifici, infrastrutture, uso di materiali e definizione di programmi. Di seguito vengono definiti i sei principi individuati nel progetto ReSOLVE.

RIGENERAZIONE (REGENERATE)

Il principio di rigenerazione implica azioni volte a ripristinare il capitale naturale attraverso la salvaguardia degli ecosistemi, ad esempio attraverso l'uso di energie rinnovabili per alimentare gli edifici (solare, eolico, geotermico, biomassa,...), ripristino del territorio (conservazione di terre vergini, costruzione in aree dismesse,...), recupero delle risorse (rigenerazione dei rifiuti organici, produ-

22 ELLEN MACARTHUR FOUN-DATION, *Circularity in the Built Environment: Case Studies. A compilation of case studies from the CE100*, 2016.



Figura 5 — Modalità di attuazione dei principi dell'economia circolare secondo la Ellen MacArthur Foundation

zione di compost...), sistemi di produzione rinnovabile (produzione di bio-gas, produzione di elettricità,...).

CONDIVISIONE (SHARE)

Il principio di condivisione prevede il reimpiego di risorse attraverso piattaforme di scambio, rivendita e ridistribuzione. Ne è un esempio il programma *Buildings as Material Banks* (BAMB), sviluppato da 16 partner appartenenti ad 8 Paesi dell'Unione Europea, il cui scopo è quello di facilitare il reimpiego di materiali, prodotti e componenti attraverso la creazione di un database contenente una sorta di *passaporto dei materiali*. Un altro programma simile è il *Construction Reuse Platform: Bexleyheath*, una collaborazione (2015-2016) fra *Keepmoat*, una compagnia nazionale di costruzioni e *Globechain*, piattaforma per il reimpiego di materiali che collega le aziende alle organizzazioni caritative e alle piccole-medie imprese. L'obiettivo della collaborazione è stato quello di comprendere in che modo vecchi oggetti e materiali possano essere ridistribuiti per evitare la dismissione in discarica, migliorando così l'impatto sociale, economico e ambientale.

OTTIMIZZAZIONE (OPTIMISE)

L'ottimizzazione prevede il miglioramento delle prestazioni dei prodotti o servizi prolungando il periodo d'uso del prodotto e minimizzando il consumo di risorse e gli sprechi in fase di produzione e nelle fasi successive. Questo principio può essere messo in atto attraverso l'adozione di sistemi di prefabbricazione che riducono gli sprechi, sistemi che consentono di ottenere l'efficienza energetica, tramite impiego di materiali isolanti e riducendo i ponti termici, l'efficienza idrica (riduzione delle reti di consumo, ricircolo dell'acqua, riutilizzo dell'acqua,...), l'efficienza dei materiali (rinnovabili, riciclati, riciclabili, componenti non tossici, a basso contenuto energetico ...) e la riduzione dei trasporti.

CIRCOLARITÀ (LOOP)

Il principio che racchiude in sé tutta l'essenza dell'economia circolare, prevede la conservazione di prodotti e materiali attraverso il loro rinnovamento (progettazione dello smontaggio), e/o riciclo. Per mettere in pratica questo principio nel campo delle costruzioni è necessario ottimizzare la fase di fine vita dell'edificio e dei materiali (durabilità, manutenzione, riparazione, rimozione, decostruzione, riutilizzo...), o adottare tecniche di costruzione dell'edificio attraverso modularità, flessibilità, rigenerazione.

VIRTUALIZZAZIONE (VIRTUALISE)

La virtualizzazione implica la sostituzione di prodotti fisici con servizi virtuali (ad esempio e-book al posto di libri), servizi di shopping on-line e videoconferenze, fornitura di servizi in remoto (ad esempio *cloud computing* e archiviazione)

Nell'ambiente costruito si possono effettuare collaborazioni telematiche, virtualizzazione di prodotti e di processi (BIM, *mock-up* digitalizzati, manutenzione automatizzata), adozione di apparecchiature *smart* (sistemi di *smart home*, apparecchiature connesse, illuminazione efficiente). Un esempio di virtualizzazione è quello precedentemente citato del programma *Building as material banks* (BAMB), che prevede la digitalizzazione dei dati per favorire lo scambio di materiali e il loro reimpiego.

SCAMBIO (Exchange)

Lo scambio prevede la sostituzione di soluzioni tradizionali con tecniche innovative, l'uso di risorse e materiali rinnovabili. Questo nel contesto dell'ambiente costruito può significare l'impiego di materiali e tecnologie ad alte prestazioni (stampa 3D, sistemi di *building management*), nuovi prodotti e servizi (per esempio trasporto multimodale).

23 https://research.arup.io/story/circular-buildings

ne della *London Design Week* progettano la prima *Casa Circolare*²³, un edificio progettato e costruito completamente con materiali e componenti riutilizzabili, per dimostrare che i principi dell'economia circolare possono essere applicati all'ambiente costruito e per approfondire le modalità in cui l'industria può lavorare nell'ottica di azzerare i rifiuti. Ogni materiale può essere rimosso con il minimo danno possibile, in modo da non perdere qualità e prestazioni. Ogni elemento, dai telai delle finestre ai singoli elementi di fissaggio, è stato etichettato con un codice QR contenente le informazioni che ne consentono il reimpiego; tutti i dati possono essere visualizzati tramite BIM.

Nel 2016 Arup, Frener & Reifer, BAM e Built Environment Trust, in occasio-

Come afferma Stuart Smith, manager di Arup, per quanto ancora in pochi abbiano cercato di applicare i principi dell'economia circolare all'ambiente edificato,
l'esperimento della *Casa Circolare* ha permesso di dimostrare che attraverso
la collaborazione e la tecnologia digitale, è possibile progettare edifici dove
i materiali possono essere riutilizzati, con l'obiettivo di eliminare gli sprechi e
progettare per il riutilizzo²⁴.

24 https://www.arup.com/ news-and-events/news/the-circular-building-the-most-advanced-reusable-building-yet

VALUTAZIONE DELL'ECONOMIA CIRCOLARE:

metodi e strumenti



25 La valutazione deve essere effettuata fin dall'inizio del processo di progettazione; nelle prime fasi di progettazione è possibile utilizzare valori medi da database per poi sostituirli successivamente con valori specifici relativi al prodotto man mano che il progetto progredisce. Lo scopo è effettuare un confronto di variabili - considerando, tra l'altro, le consequenze della selezione di materiali specifici (ad esempio uso di prodotti riciclati, legno, ecc.) o metodi di costruzione (costruzione leggera ecc.) - per ottenere l'alternativa migliore. I requisiti da perseguire sono la flessibilità ed adattabilità della costruzione allo scopo di ottenere una vita utile dell'edificio più lunga e la facilità di manutenzione e decostruzione dell'edificio, nonché la sua riciclabilità.

Il progettista svolge un triplice ruolo: egli rappresenta, in primo luogo, la figura di supporto al cliente nella definizione dei requisiti dell'edificio e delle prestazioni ambientali e nella formulazione degli obiettivi; in secondo luogo, effettua la scelta dei materiali tenendo conto delle prestazioni strutturali ed ambientali mediante la comparazione di diverse opzioni, della manutenzione e riparazione dell'edificio, nonché della sua futura dismissione (questo deve quindi essere facile da smontare e riciclare); infine, produce la documentazione contenente le informazioni sul tipo e sulla quantità di materiale impiegato includendo le informazioni ambientali. Questa figura professionale deve mantenersi costantemente aggiornata nel campo della valutazione degli impatti incorporati, con lo scopo di fornire il miglior servizio di progettazione e consulenza. Università e associazioni sono tenute ad organizzare corsi di formazione adeguati e costanti. Il progettista deve essere in grado di utilizzare strumenti e database a supporto della progettazione: tali strumenti devono poter combinare le informazioni relative alla quantificazione dei materiali con quelle prese dai database e fornire risultati facilmente comprensibili e comparabili, quindi devono essere dichiarati chiaramente i confini del sistema, gli scenari legati agli impatti incorporati, gli indicatori e le fonti di dati consultate e utilizzate. A questo punto, il progettista deve essere in grado di dare consulenza al cliente, fornendogli informazioni chiare in merito ai livelli di impatto incorporati di diverse soluzioni progettuali. È molto importante che la valutazione degli impatti incorporati sia integrata nel processo di progettazione²⁵. Tutta l'analisi effettuata deve essere ben documentata.

Questo cambio di paradigma, che prevede di considerare il progetto in ottica di ciclo di vita, influenza il modo in cui le informazioni vengono integrate all'interno del processo di progettazione e il modo in cui queste vengono comunicate tra i vari attori coinvolti. La scelta dei materiali gradualmente non viene più fatta unicamente in base alle caratteristiche tecniche ed estetiche, ma sempre più spesso vengono inclusi i parametri ambientali (Embodied Energy ed Embodied Carbon):

la complessità della fase decisionale aumenta ulteriormente con il processo di comparazione e selezione di prodotti specifici. Coerentemente alle tendenze in corso e in linea con una visione life cycle, essi vengono esaminati dai punti di vista: fisico, valutando proprietà, caratteristiche e prestazioni; ambientale, valutando gli impatti ambientali (ad esempio tramite EPD);
in alcuni casi sociale, valutando gli ingredienti contenuti e le possibili ricadute sulla salute
umana (ad esempio tramite HPD – Health Product Declaration) e, ovviamente, economico
(A. Campioli et al., 2018)

Mettendo a confronto in questo modo diversi prodotti e produttori, è importante che le informazioni siano organizzate in maniera sistematica e che venga ottimizzata la loro comunicazione tra i diversi attori coinvolti. In risposta a guesta nuova esigenza stanno nascendo nuove figure professionali specializzate nell'approccio al ciclo di vita. Grazie ad uno studio condotto nel settembre 2016 da un gruppo di ricerca del Politecnico di Milano²⁶, è possibile analizzare in che modo gli studi di progettazione stiano rispondendo alle nuove esigenze di innovazione tecnologica: come affermano A. Dalla Valle et al. "La trasformazione dell'azienda coinvolge tutte le risorse interne e quindi i fattori fisici, sociali, finanziari, tecnologici e organizzativi che consentono a un'azienda di creare valore per i propri clienti". Nell'articolo vengono individuati due fattori di cambiamento, che vengono identificati da un lato come risorse tangibili, legate alla crescente innovazione di strumenti digitali, risultato dello sviluppo dell'Information and Communication Technology (ICT), e dall'altro risorse intangibili, entità non fisiche e invisibili, legate all'organizzazione e suddivisione del lavoro, alla conoscenza e intelligenza delle persone, cioè l'insieme di abilità che ogni attore possiede e sfrutta per adattarsi al meglio ai bisogni del mercato in continua evoluzione. L'articolo appena citato si sviluppa a partire da una riflessione sulla struttura interna degli studi di progettazione, su quali siano le competenze richieste al loro interno e quali siano gli strumenti utilizzati. Dall'analisi è emerso che gli studi che maggiormente risentono dei cambiamenti dovuti al processo di trasformazione sono quelli di grande e media dimensione, mentre negli studi di dimensioni più ridotte i cambiamenti risultano essere limitati e meno visibili. Gli studi oggetto di analisi sono generalmente organizzati in strutture integrate, e per questo coinvolgono

26 DALLA VALLE A., LAVAGNA M., CAMPIOLI A., Change management and new expertise in AEC firms: improvement in environmental competence, in 41st IAHS WORLD CONGRESS Sustainability and Innovation for the Future 13-16th September 2016 Albufeira, Algarve, Portugal, 2016.

27 Si veda, a tal proposito, il paragrafo di approfondimento *Progettazione integrata* di seguito riportato.

gruppi di architetti e di ingegneri con lo scopo di lavorare in maniera congiunta e contemporaneamente sui diversi progetti. L'integrazione²⁷ sembra essere un prerequisito importante per rispondere alla sempre crescente complessità del settore delle costruzioni e per ottenere un processo di progettazione sostenibile, al fine di assicurare il controllo dei costi, dei tempi e della qualità del progetto. Le principali caratteristiche di ogni pratica progettuale sono le seguenti: la multidisciplinarità degli attori e la relazione di interdipendenza fra esperti. Ogni studio è organizzato in un'area amministrativa, un'area commerciale ed un'area tecnico-operativa; quest'ultima solitamente è suddivisa in unità specializzate, ciascuna delle quali, negli studi di medie-grandi dimensioni, è composta di team specifici (negli studi di più ridotte dimensioni, invece, sono costituite da singoli esperti). I ruoli che possono essere riconosciuti all'interno degli studi in ambito architettonico includono: architetti, interior designer, paesaggisti, progettisti industriali, pianificatori e illuminotecnici; in ambito ingegneristico, invece, si distinguono i seguenti ruoli: ingegneri meccanici, ingegneri strutturisti, ingegneri idraulici, ingegneri elettrici, ingegneri dei trasporti, ingegneri ambientali, ingegneri della qualità dell'acqua. Accanto a queste figure più tradizionali, stanno nascendo nuove figure professionali, come ad esempio project manager, economisti, specialisti della prevenzione incendi, specialisti tecnici e amministrativi, specialisti acustici, specialisti ambientali, specialisti della sicurezza, specialisti della qualità, esperti del clima, biologi e così via. Nel caso in cui, per ragioni economiche o organizzative, non siano presenti tutte queste figure specifiche, gli studi di progettazione si appoggiano a consulenti esterni. Nelle aziende piccole ciò accade più frequentemente, ma anche gli studi più grandi, quando necessario, preferiscono avere partner esterni che conoscono maggiormente i bisogni locali ed hanno abilità maggiori in determinate aree. Nell'articolo in analisi viene sottolineato come il processo di progettazione dell'edificio stia cambiando da lineare a circolare: tutti i professionisti sono presenti a partire dalle prime fasi del

progetto, conferendo maggior valore e migliorando il processo decisionale. Nello specifico, nella terza parte dell'articolo viene analizzato il modo in cui la questione ambientale viene affrontata dagli studi a seconda della loro dimensione e, pertanto, della loro organizzazione interna: in primo luogo, gli autori affermano che la questione ambientale è generalmente inclusa nel processo progettuale ma che negli studi più grandi questa è tenuta costantemente sotto controllo (in alcuni casi unicamente per la necessità di soddisfare requisiti normativi, in casi più virtuosi, invece, perché questi condividono i principi e la filosofia che vi stanno dietro); per gli studi più piccoli, invece, anche se le questioni ambientali sono riconosciute come parte integrante della pratica progettuale, non è sempre possibile applicare alcune soluzioni, dal momento che da parte di clienti pubblici e privati, non sempre viene riconosciuto il valore aggiunto. Inoltre, gli studi di medio-grandi dimensioni cercano di interfacciarsi con tutti quegli aspetti di impatti ambientali e legati alla salute umana, mentre gli studi più piccoli solitamente affrontano tematiche più legate a questioni energetiche, dato che sono quelle che maggiormente attirano l'attenzione di clienti e committenti.

Per quanto riguarda gli strumenti comunemente impiegati per affrontare la questione ambientale, nell'articolo si afferma che "gli studi hanno l'imbarazzo della scelta": infatti, sul mercato sono presenti numerosissimi strumenti per la simulazione energetica, illuminotecnica e per il calcolo degli impatti. In questo senso, l'interoperabilità è vista come un fattore decisivo per diminuire lo sforzo e per facilitare la comunicazione. Delle aziende intervistate nell'ambito di questa analisi, poche e soprattutto solo quelle di grandi dimensioni affermano di utilizzare nel modello BIM le informazioni ambientali dei prodotti e, quando lo fanno preferiscono inserire dati da database (come ad esempio nel caso dello strumento Tally, dotato di database GaBi per calcolare gli impatti ambientali dei materiali da costruzione direttamente nel modello Revit). Con queste informazioni hanno la possibilità di eseguire la valutazione del ciclo di vita del progetto. Tuttavia,

28 Si pensi ad esempio all'introduzione dell'APE - Attestato di Prestazione Energetica (chiamato ACE - Attestato di Certificazione Energetica prima delle modifiche del decreto 63/2013), il documento obbligatorio per la vendita o l'affitto di un immobile, che ne descrive le caratteristiche energetiche con una scala da A4 a G (scala di 10 lettere). Dal 1° Luglio 2009 è obbligatorio in caso di compravendita di immobili e dal 1° Luglio 2010 in caso di locazione.

nella maggior parte degli studi di progettazione non vengono condotti studi LCA, anche se si inizia a percepirne l'utilità legata ad alcune richieste all'interno dei Green Building Rating Systems. L'articolo trae tre conclusioni che permettono di comprendere come stia cambiando il ruolo del progettista e quali siano i mezzi che possono favorire la transizione dell'organizzazione interna negli studi di progettazione da approccio lineare ad approccio circolare: la prima conclusione sottolinea il fatto che la questione ambientale coinvolge tutti gli attori inclusi nel processo progettuale con ripercussioni significative nel processo decisionale; in secondo luogo, si è visto come gli studi di progettazione affrontino in maniera diversa la questione, per via della differente disponibilità di tecnologia e competenze dal tipo di clienti ecc.. A tale proposito, la dimensione dell'azienda è estremamente importante, sia per le possibilità economiche e organizzative sia per la rete integrata. In ultimo, si è visto come la tecnologia ricopra un ruolo determinante per via del grande potenziale che, se sfruttato abilmente, permette di diffondere le questioni ambientali in un maggior numero di progetti riducendo l'impatto ambientale del settore edilizio. Quel che rassicura, è il fatto che negli studi stia aumentando la richiesta di esperti e strumenti utili ad affrontare la sfida ambientale. L'analisi dimostra che le stesse imprese traggono vantaggio dall'integrazione dei temi ambientali: infatti, dei primi dieci studi più importanti a livello globale, sette sono considerati rispettosi dell'ambiente.

Strumenti di valutazione

Nei paragrafi precedenti si è parlato delle criticità che rallentano il passaggio da una visione lineare ad una circolare; una di queste è dovuta alla mancanza di leggi che forniscano valori limite chiari ed univoci al progettista. Se, infatti, il percorso legislativo legato al controllo degli impatti nella fase operativa può ritenersi a buon punto²⁸, il quadro normativo che tiene conto dell'approccio al ciclo di vita fin qui descritto non trova ancora un riscontro così chiaro a livello

di obblighi normativi. Vengono perlopiù messe in atto norme e regolamenti di tipo volontario, come i protocolli che prevedono il conferimento di certificazioni a punteggio (LEED®, BREEAM® ecc..) e tengono conto di numerosi criteri premianti le prestazioni ambientali dei materiali e dell'edificio²⁹ o le certificazioni ambientali di prodotto. In Italia, lo strumento che più si avvicina a questa concezione di valutazione del ciclo di vita può essere individuato nei cosiddetti CAM – Criteri Ambientali Minimi, che incentivano l'utilizzo di etichettature ambientali di tipo I, II e III, le quali permettono alle stazioni appaltanti di accertare facilmente la rispondenza del progetto ai CAM.

I Criteri Ambientali Minimi (CAM) sono i requisiti ambientali definiti per le varie fasi del processo di acquisto, volti a individuare la soluzione progettuale, il prodotto o il servizio migliore sotto il profilo ambientale lungo il ciclo di vita, tenuto conto della disponibilità di mercato. ³⁰

Progettazione integrata

Quanto detto finora, tuttavia, non è sufficiente per ottenere i risultati attesi dalla messa in pratica dei principi dell'economia circolare. Infatti, il quadro delineato finora si inserisce all'interno di un altro contesto, che è quello della cosiddetta *progettazione integrata*, secondo la quale le valutazioni di energia incorporata e di emissioni di gas serra incorporate non possono essere condotte separatamente, ma devono, invece, essere integrate nel processo di progettazione e utilizzate per prendere decisioni che influenzano le prestazioni dell'edificio. Attraverso queste valutazioni si identificano gli ambiti del progetto che necessitano di interventi. L'obiettivo di integrare gli impatti incorporati nella progettazione degli edifici è quello di portare i team di progettazione a pensare in modo ampio alla scelta di materiali e di sistemi adeguati al progetto, ottimizzare questi sistemi e selezionare i prodotti finali dell'edificio. È per questo motivo che la valutazione degli impatti incorporati dovrebbe iniziare già fin dalle prime fasi del processo di progettazione.

29 Green Building Council Italia, "Life Cycle Assessment in edilizia", 2019

www.minambiente.it/pagina/i-criteri-ambientali-minimi#2.
Da sottolineare, tuttavia, che, con
l'entrata in vigore del Decreto-legge "Sblocca cantieri", da quanto
emerge dalle prime bozze l'obbligatorietà per quanto riguarda l'applicazione dei Criteri ambientali minimi (CAM) rimarrà solo nelle gare
di importo superiore alle soglie
europee. (fonte: www.studiogammaonline.it/codice-appalti-pronto-il-decreto-sblocca-cantieri)

Come detto in precedenza, è sempre più importante che gli attori coinvolti nei processi decisionali nella costruzione di edifici riconoscano i propri ruoli, responsabilità e doveri nella conservazione di risorse e nella protezione ambientale e climatica. Le possibilità di successo dell'approccio sostenibile sono legate sia alla volontà della committenza che alla capacità dell'architetto di gestire un team competente e multidisciplinare. La progettazione integrata comporta un approccio olistico, caratterizzato dall'interazione fra molteplici discipline che collaborano tra loro e procedono insieme, in modo tale da dare vita ad un organismo armonioso e funzionale.

Se si vogliono introdurre efficacemente le tematiche ambientali nel campo delle costruzioni, è necessario che tutte le discipline interessate convergano su obiettivi comuni. L'approccio globale interdisciplinare della "progettazione integrata" consente di razionalizzare tutti gli aspetti del progetto, combinando metodologie tradizionali e innovative. ³¹

31 GAUZIN-MÜLLER D, MORO M. [a cura di], *Architettura sostenibile*, Milano, Ed. Ambiente, 2003.

In questo senso, l'edificio deve essere inteso come un unico sistema complesso ottenuto in seguito ad un processo di progettazione che può essere assimilato ad una "catena di montaggio". Questa catena crea un approccio sistemico fondendo insieme il concetto tipico dell'industria della catena del prodotto con i requisiti degli attori coinvolti nel ciclo di vita dell'edificio. Nell'approccio *Life Cycle Design* le performance di ogni singola parte interagiscono, e alcune volte interferiscono, fra loro. Ma come è possibile controllare questo processo? È necessario uno strumento che sia in grado di connettere bisogni, requisiti e performance; uno strumento che sia adattabile in base all'evoluzione del progetto e che non consideri solo la fase di progetto, ma anche quelle di costruzione, d'uso e gestione a lungo termine e degli scenari a fine vita. A tale proposito, vale la pena citare il caso del BIM – *Building Information Modeling* come strumento per effettuare una rappresentazione digitale condivisa di un oggetto costruito (che siano edifici, ponti, strade ecc..) utile a facilitare la progettazione, la costruzione e i processi ad essa legati³². L'approccio BIM facilita l'interoperabilità fra software

32 THIEBAT F., *Life cycle design:* an experimental tool for designers, Springer Nature Switzerland, 2019.

utilizzati durante tutte le fasi del ciclo di costruzione dell'edificio; esso promuove la collaborazione digitale fra diversi attori, permettendo uno scambio efficace ed accurato di informazioni. Anche nell'ambito della progettazione in ottica di risparmi energetici e di emissioni di gas serra non mancano strumenti di valutazione a supporto del progettista. Tuttavia, l'utilizzo efficace di questi strumenti da parte dei professionisti è ostacolato dal fatto che questi sono eccessivamente complessi, e richiedono conoscenze estremamente specialistiche per affrontare la valutazione del progetto dell'edificio dal punto di vista ambientale. Inoltre, per ottenere una progettazione che sia integrata da tutti i punti di vista, includendo, quindi, anche la questione ambientale, la nuova frontiera degli strumenti è quella dell'integrazione BIM-LCA.

I progettisti hanno bisogno di software LCA user-friendly, adatti alla modellazione di edificio, trasparenti nelle procedure di calcolo e nella fonte dei dati contenuti, interfacciabili con strumenti BIM o altri software già in uso. Gli attuali software LCA esistenti non rispondono pienamente a queste caratteristiche e occorre definirne di più mirati, a supporto della progettazione.³³

L'analisi delineata in questo elaborato permette di comprendere quanto l'introduzione degli aspetti ambientali all'interno del processo di progettazione abbia cambiato la figura del progettista. Infatti, la tendenza ad adottare i principi dell'economia circolare all'interno della progettazione porta a conferire maggiore importanza alla scelta dei materiali. Pertanto il progettista è chiamato ad approfondire le sue conoscenze in ambito energetico ed ambientale per effettuare scelte più consapevoli e per poter dialogare con gli esperti (produttori, specialisti di LCA,...). In questo senso rivestono un ruolo importante gli strumenti che sono messi a disposizione del progettista in termini di software per il calcolo degli impatti e piattaforme contenenti dati utili ad effettuare la valutazione del progetto. Come emerge dalla definizione di economia circolare, dall'analisi dello stato dell'arte effettuata sulla base dell'Annex 57, e dallo studio effettuato da Dalla

33 Green Building Council Italia, Life Cycle Assessment in edilizia, 2019 Valle, Lavagna e Campioli (2016), le basi affinché questa nuova mentalità di approccio al progetto sono state gettate, ma c'è ancora molto da lavorare perché questa diventi la prassi comune.

A partire dalle considerazioni fin qui delineate si è sviluppata la tesi di laurea magistrale, il cui obiettivo è quello di tentare di dare risposta ad alcune questioni poste in questo elaborato, che possono essere riassunte come segue:

- lo strumento della analisi LCA viene sempre più impiegato durante il processo progettuale dell'edificio;
- avendo dimostrato che un'analisi LCA può risultare complessa e dispendiosa in termini di tempo, si può scegliere, per semplificazione, di calcolare i due più incisivi tra i sei indicatori di impatto³⁴: Embodied Energy legato al consumo di risorse energetiche, ed Embodied Carbon, legato all'inquinamento ambientale e all'effetto serra;
- servono strumenti a supporto del progettista, che lavorino in ottica di sostenibilità dell'edificio, per la valutazione e comparazione di diversi scenari di progetto, come ad esempio l'impiego di diversi materiali;
- tali strumenti non devono prevedere da parte dell'utente conoscenze eccessivamente specifiche sul tema ambientale, devono essere *user-friendly*, di facile utilizzo, *open source*, dotati di un database integrato e utilizzabili fin dalle prime fasi della progettazione.

Il punto di partenza è il foglio di calcolo sviluppato nel 2016 da Enrico Demaria e Angela Duzel denominato IREEA — *Initial and Recurring Embodied Energy Assessment* nell'ambito della loro tesi di laurea magistrale. Questo software è stato pensato per effettuare il calcolo dell'*Embodied Energy* iniziale e periodica dell'edificio, per il confronto fra *Operational Energy* ed *Embodied Energy* dell'edificio. Attraverso la sua implementazione si è cercato di definire una metodologia basata su normative vigenti e linee guida nazionali e/o internazionali, per calcolare, oltre all'impatto energetico dei materiali, anche quello ambientale,

34 Consumo di risorse energetiche [MJ]); Effetto serra (GWP – Global Warming Potential [kgCO-2eq]); Assottigliamento fascia di ozono (ODP – Ozone Deplation Potential [kgCFC₁₁eq]); Acidificazione (AP – Acidification Potential [molH+eq]); Eutrofizzazione (EP – Eutrophization Potential [kgPO-4eq]); Smog fotochimico (POCP – (PhotochemicalOzoneCreationPotential [kgC₂H₄eq])

legato alle emissioni di gas serra. Inoltre, sono stati ampliati i confini del sistema, includendo nel calcolo anche il contributo dei trasporti dei materiali dal luogo di produzione al sito di progetto e la fase finale del ciclo di vita, fornendo dati relativi agli impatti dovuti agli scenari di smaltimento e il trasporto dal sito di demolizione al centro di smaltimento.

Il software così implementato, denominato EURECA – Eco Utility for Reduction of Energy and Carbon, restituisce i risultati in modo da rendere facilmente individuabili le fasi del ciclo di vita dell'edificio, i materiali e gli elementi costruttivi che hanno il maggior impatto ambientale ed energetico; in questo modo agevola l'intervento in tempi ragionevoli sulle scelte progettuali consentendo di apportare le dovute modifiche al progetto. Questo software è stato testato inizialmente dagli studenti del Master in Architettura delle Costruzioni in Legno del Politecnico di Torino, che hanno utilizzato lo strumento per effettuare l'analisi LCA dei loro progetti; in seguito, è stato poi adottato dal team della *Pontificia Universidad* Javeriana di Bogotà nella progettazione di un edificio di residenza sociale per il concorso internazionale Solar Decathlon Latin America and Caribbean, che avrà luogo nella città di Cali tra novembre e dicembre 2019, come strumento per l'analisi LCA richiesta da regolamento³⁵. Questo concorso, che sfida team di studenti da tutto il mondo a progettare e costruire edifici altamente efficienti ed innovativi, incoraggia una progettazione che verte su quattro principi fondamentali, uno dei quali è perfettamente in linea con quanto detto finora: "uso razionale delle risorse ambientali"36. Questa occasione diventa un ottimo banco di prova, anche per dimostrare che, per quanto si faccia ancora fatica ad adottare una visione del progetto come è stata delineata in questo documento, questa sta lentamente entrando a far parte della mentalità delle generazioni più giovani, che sono chiamate con sempre più stringente urgenza ad agire, prima dell'inevitabile collasso. Gli strumenti ci sono, le informazioni necessarie anche. Ora bisogna solo imparare ad utilizzarli e comprendere l'importanza del metterli in atto.

35 Solar Decathlon 2019, *Draft Rules Latin America and Caribbean*, Cali, December 2019, Version 1.0. Per maggiori informazioni visitare il sito: www. solardecathlonlac.com

36 I quattro principi su cui si fonda il concorso SDLAC sono i seguenti: social housing; urban density; uso razionale delle risorse ambientali; importanza regionale. Per maggiori informazioni visitare il sito: www. solardecathlonlac.com

INDICATORI DI IMPATTO ENERGETICO AMBIENTALE

embodied energy embodied carbon



37 Come il programma di certificazione LEED® – Leadership in Energy and Environmental Design, sviluppato dall' U.S. Green Building Council e il protocollo di valutazione britannico BREEAM® – Building Research Establishment Environmental Assessment Method.

38 http://www.isprambiente.gov. it/it/certificazioni/ipp/lca

39 CANEPA M., MAGLIOCCO A., Riflessioni sullo sviluppo sostenibile in architettura: a trent'anni dal Rapporto Brundtland, Milano; Udine, Mimesis, 2018, pp. 107-108

40 Gli indicatori di impatto sono molteplici e fanno riferimento alle seguenti categorie di impatto: consumo di risorse, surriscaldamento globale, assottigliamento della fascia di ozono, acidificazione, eutrofizzazione, smog fotochimico, degradazione dell'area, ossidanti fotochimici e tossicità.

Pegli ultimi decenni sono state elaborate metodologie e sistemi di valutazione che ricorrono ad indicatori di sostenibilità come mezzo per comparare diverse alternative. Ne sono un esempio i Green Building Rating Systems, sistemi di certificazione che adottano un approccio di analisi Life Cycle Assessment (LCA)³⁷, "metodo oggettivo di valutazione e quantificazione dei carichi energetici ed ambientali e degli impatti potenziali associati ad un prodotto/processo/attività lungo l'intero ciclo di vita, dall'acquisizione delle materie prime al fine vita"38. Tali indicatori rappresentano uno strumento per interpretare fenomeni complessi e mutevoli sintetizzando le informazioni disponibili. L'indicatore identifica un parametro che fornisce informazioni su un determinato fenomeno, comunicando in maniera chiara e semplificata gli esiti di una valutazione e/o analisi. Pertanto, esso deve essere oggettivo e comprensibile da parte degli utenti e deve incentivare la partecipazione e collettivizzazione delle informazioni.

Questo dato permette la comparazione con scenari alternativi e, in quanto dato oggettivo, è un valore difendibile e scientificamente attendibile³⁹.

I sistemi di certificazione che si basano su approcci LCA, che hanno come scopo quello di quantificare carichi ambientali e prestazioni del prodotto o processo lungo tutte le fasi del suo ciclo di vita (dall'estrazione delle materie prime fino alla dismissione), valutano principalmente gli aspetti legati ai fabbisogni energetici e all'impatto ambientale dell'edificio attraverso due criteri: considerare una soglia come requisito minimo per ottenere la certificazione (come ad esempio accade per la Certificazione Minergie®), oppure definire una serie di criteri che permettono di ottenere un punteggio al quale si attribuisce un livello di compatibilità ambientale (come ad esempio accade per le Certificazioni LEED®, BREEAM®, ecc.).

In questo capitolo vengono analizzati gli indicatori di sostenibilità che si è scelto di adottare nel foglio di calcolo EURECA per valutare il grado di compatibilità ambientale del progetto in analisi. In una analisi LCA infatti, gli indicatori di impatto sono molteplici⁴⁰ e non sempre così semplici da quantificare. In questa sede vengono descritti i due indicatori, *Embodied Energy* ed *Embodied Carbon*, che fanno riferimento alle categorie di impatto rispettivamente di *consumo di*

risorse energetiche e surriscaldamento globale, calcolati per ogni fase del ciclo di vita dell'edificio. La scelta di questi indicatori rispetto ad altri è data da molteplici fattori⁴¹: in primo luogo, gli impatti ad essi legati (consumo di risorse ed emissioni di CO₂ in ambiente) comportano effetti globali⁴²; in secondo luogo, i loro fattori di caratterizzazione (che permettono di quantificare gli effetti ambientali attraverso modelli di calcolo), come ad esempio l'emissione di sostanze inquinanti o l'uso di risorse non rinnovabili, sono riconosciuti a livello internazionale e limitano la componente soggettiva dell'interpretazione, rendendoli facili da comprendere anche per utenti non pratici di analisi LCA; inoltre, hanno un riscontro diretto nell'ambito dell'economia ambientale (per esempio nelle tematiche legate all'inquinamento e alla scarsità di risorse); infine, sono facilmente comparabili con gli indicatori per il calcolo della simulazione energetica nella fase d'uso degli edifici (Thiebat, 2019).

Indicatori: stato dell'arte

Alla luce dei ragionamenti fin qui delineati e con il supporto di un documento elaborato nel settembre 2016 dall'*International Energy Agency* (IEA) nell'ambito del programma *Energy in Buildings and Communities* (EBC), si passa ora a delineare una analisi dello stato dell'arte circa gli

strumenti che permettono di misurare la sostenibilità e la circolarità delle scelte progettuali: gli *indicatori di sostenibilità*. Il documento analizzato nello specifico prende in considerazione due indicatori: l'Embodied Energy e l'Embodied Carbon, che misurano l'impatto energetico e l'impatto ambientale. In particolare viene presentato un quadro di riferimento per professionisti e progettisti per determinare e calcolare questi indicatori. L'IEA, fondata nel 1974 dall'*Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) in seguito alla crisi petrolifera dell'anno precedente per attuare un programma energetico internazionale, coordina le attività internazionali di ricerca e sviluppo dell'energia attraverso programmi di collaborazione tecnologica. Uno degli obiettivi principali dell'IEA è promuovere la cooperazione internazionale tra i 30 paesi partecipanti⁴³

- 41 THIEBAT F., *Life cycle design: an experimental tool for designers*, Springer Nature Switzerland; 2019, pp. 35-36.
- 42 In una analisi LCA, nella fase di interpretazione dei risultati (LCIA Life Cycle Impact Assessment), gli indicatori di impatto vengono normalizzati rispetto a valori di riferimento, e gli impatti ad essi legati, dovuti alla trasmissione dell'inquinante emesso e alla conseguente immissione in ambiente vengono catalogati a seconda che i loro effetti siano a scala locale (degradazione dell'area, ossidanti fotochimici e tossicità), a scala regionale (eutrofizzazione, acidificazione, ossidanti fotochimici e tossicità) oppure a scala globale (buco dell'ozono, effetto serra e consumo di risorse).
- 43 Australia, Austria, Belgio, Canada, Repubblica Ceca, Danimarca, Estonia, Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Inghilterra, Ungheria, Irlanda, Italia, Giappone, Korea, Lussemburgo, Messico, Nuova Zelanda, Norvegia, Olanda, Polonia, Portogallo, Slovacchia, Spagna, Stati Uniti, Svezia, Svizzera, Turchia. Vi sono, inoltre, 8 Paesi "Associati": Brasile, Cina, India, Indonesia, Marocco, Singapore, Sud Africa, Thailandia. Sito web: https://www.iea.org

44 INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, Annex 57: Evaluation of Embodied Energy & CO₂ Equivalent Emissions for Building Construction, 2016.

e aumentare la sicurezza energetica attraverso la ricerca, lo sviluppo e la dimostrazione nel campo delle tecnologie per l'efficienza energetica e le fonti energetiche rinnovabili. La *mission* del programma EBC è di sviluppare e facilitare l'integrazione di tecnologie e processi per l'efficienza energetica e la conservazione in edifici e comunità sani, a basse emissioni e sostenibili. I programmi sviluppati da IEA-EBC vengono pubblicati sotto forma di allegati (Annex) all'accordo di attuazione. Finora sono stati conclusi 55 programmi (Annex 1-55), mentre altri 15 sono in corso di elaborazione (Annex 56-70). Ogni allegato affronta un tema energetico differente; quello preso in esame in questa sede, l'Annex 57, affronta il tema della Valutazione dell'*Embodied Energy* e delle emissioni di CO₂ equivalente nella costruzione degli edifici ⁴⁴.

La tesi di partenza del documento è che l'interesse verso la valutazione di *Embodied Energy* (EE) ed *Embodied Carbon* (EC) sia sostanzialmente cresciuto in maniera significativa negli ultimi anni: come dimostra il grafico riportato in fig.5, sulla base del numero di pubblicazioni divulgate, inizialmente l'attenzione dei ricercatori si è focalizzata sullo studio dell'Embodied Energy (curva gialla). Più recentemente è iniziato un nuovo flusso di ricerche, relativamente all'Embodied Carbon (curva verde) e alla Carbon Footprint (curva rossa) in quanto fattori la cui riduzione ha strettamente a che fare con la mitigazione del riscaldamento globale. Riguardo questi indicatori, sostiente l'Annex, sono stati definiti termini chiave, confini di sistema, forniti database e regole di calcolo, ma c'è ancora molta confusione a riguardo.

Qui entra in gioco il contributo dell'IEA-EBC Annex 57: lo scopo del documento è di fare chiarezza su questi concetti in modo da poterli includere all'interno del processo decisionale degli attori coinvolti. Il documento è diviso in diverse "sotto attività" (SubTasks - ST), che si occupano di:

- sviluppare raccomandazioni, indicatori e confini di sistema per assicurare risultati trasparenti e comprensibili;
- descrivere il "sistema edificio" e il suo ciclo di vita e reperire i dati necessari

per il calcolo;

- presentare i gruppi di stakeholder (attori) rilevanti e le situazioni di decision-making nelle quali questi sono chiamati ad intervenire, includendo raccomandazioni su come agire (SubTask1);
- analizzare lo stato dell'arte (SubTask 2);
- esporre le modalità di calcolo da seguire per la quantificazione di dati relativi all'energia incorporata e alle emissioni e analizzare le maggiori banche dati disponibili (SubTask 3);
- effettuare una raccolta, presentazione, valutazione e classificazione di casi studio, fornendo indicazioni progettuali per edifici caratterizzati da bassa energia incorporata e basse emissioni di gas serra (SubTask 4);
- presentare i dati in modo tale da attirare l'attenzione di politici, studiosi e professionisti (SubTask 5).

Il report preso in analisi è il Subtask1, che presenta un quadro di riferimento che può essere usato da professionisti e progettisti per il calcolo di *Embodied Energy* ed *Embodied Carbon*; i suoi obiettivi comprendono i seguenti punti:

- analisi della situazione attuale che illustri il progresso scientifico nell'ambito degli impatti incorporati;
- analisi delle situazioni di decision-making nelle quali gli aspetti di EE ed EC sono importanti;
- analisi delle questioni metodologiche e considerazioni pratiche che necessitano chiarimenti ai fini del calcolo;
- elaborazione di definizioni, confini di sistema, indicatori e altri fondamenti metodologici che rendono possibile il calcolo;
- sviluppo di raccomandazioni per gruppi di stakeholder (attori) chiave oltre a progettisti e consulenti.

I capitoli 2 e 3 costituiscono la parte teorica nella quale viene delineato lo stato attuale in termini di disponibilità di standard, linee guida e dati. I capitoli 4 e 5

costituiscono la parte pratica: essi forniscono raccomandazioni specifiche con lo scopo di conferire maggiore trasparenza.

Prima, però, di affrontare il tema oggetto di analisi bisogna chiarire innanzitutto una questione di base: perché è importante affrontare il tema dell'*Embodied Energy* ed *Embodied Carbon*?

Perché Calcolare EE-EC

Il riconoscimento dell'Embodied Energy come indicatore di impatto nel settore delle costruzioni è avvenuto circa quarant'anni fa, in seguito alla crisi dei prezzi del petrolio⁴⁵. In realtà, però, la questione fu affrontata per la prima volta già un centinaio di anni fa. In Germania, per esempio, già negli anni Venti erano stati stabiliti requisiti da soddisfare nella scelta di materiali da costruzione per nuovi edifici, basati sul quantitativo di energia necessaria per la loro produzione. Furono pubblicati documenti – assimilabili agli attuali cataloghi di componenti ed elementi – nei quali si confrontava l'energia necessaria al riscaldamento dell'edificio con l'energia necessaria per la produzione dei suoi componenti. L'unità utilizzata per descrivere queste caratteristiche era la quantità di carbone. Anche in seguito, tra gli anni Settanta e gli anni Novanta, l'Embodied Energy continuò ad essere descritta in termini di tonnellate di carbone equivalente, lignite equivalente o petrolio equivalente come unità di misura. A partire dagli anni Ottanta un più ampio numero di industrie iniziò a manifestare interesse per la metodologia Life Cycle Assessment (LCA)⁴⁶. Allo stesso tempo, così come per l'Embodied Energy, iniziò a crescere anche l'interesse della ricerca riguardo le emissioni di Greenhouse Gases - GHG (Embodied Carbon) e su come ridurre tali emissioni derivanti, non solo dalla fase operativa, ma anche da quella di produzione fuori opera. Così iniziò ad avere una grandissima diffusione la valutazione della Carbon Footprint come indicatore facile da comprendere e da calcolare.

L'Annex 57 riassume le ragioni per cui è importante calcolare *Embodied Energy*

45 HASELTINE B. A., Comparison of energy requirements for building materials and structures, in The structural engineer, 53(9), 357, 1975.

46 Nel 1993 la Society of Enviromental Toxicology and Chemistry (SETAC), pubblicò il *Code of Practice* nel quale forniva la prima definizione di LCA; pochi anni dopo (1997) l'ISO pubblicò lo standard EN ISO 14040 che specifica il quadro generale, i principi e le prescrizioni per effettuare gli studi di valutazione del ciclo di vita. (www. store.uni.com)

ed Embodied Carbon come segue: in primo luogo, sottolinea l'importanza crescente che è stata attribuita negli ultimi decenni all'approccio Life Cycle Thinking secondo il quale, nell'analisi delle soluzioni edilizie si deve tenere conto dell'intero ciclo di vita dell'edificio. In secondo luogo, evidenzia l'aumento del rapporto tra energia ed emissioni di gas serra incorporate ed operative: in generale, negli ultimi anni sono stati dedicati maggiori sforzi volti al risparmio dell'Operational Energy rispetto a quelli per ridurre l'Embodied Energy. In questo senso si è riscontrata una tendenza globale nei regolamenti edilizi a concentrarsi sul controllo del consumo di energia nella fase operativa; di conseguenza, sempre secondo l'Annex, il peso dell'energia incorporata e le risultanti emissioni di gas serra sull'intero ciclo di vita dell'edificio sono aumentati drasticamente: infatti, come riporta il documento stesso, l'*Embodied Energy* in edifici nuovi, ben isolati ed energeticamente efficienti, può ammontare fino al 40% del consumo totale di energia nel ciclo di vita e può anche superare la quota operativa. Inoltre, se si considera l'effetto che avrà nel prossimo futuro la realizzazione di edifici Near Zero Energy Buildings (NZEB), che costituiscono la tipologia di edificio che dovrà essere adottata in progetti di nuova costruzione entro il 2020, l'Embodied Energy costituirà quasi il 100% della domanda totale di energia di un edificio in Europa.

Gli edifici a energia quasi zero (NZEB) sono edifici ad alta efficienza con una domanda di energia estremamente bassa, che viene soddisfatta da fonti di energia rinnovabile. Tali edifici, annualmente, producono la stessa quantità di energia che consumano. Per raggiungere i loro obiettivi energetici netti a zero, gli NZEB devono prima ridurre drasticamente la domanda di energia utilizzando tecnologie di efficienza energetica, e poi utilizzare fonti di energia rinnovabile (FER) per soddisfare la domanda residua. In tali edifici, i guadagni di efficienza consentono di bilanciare il fabbisogno energetico con le tecnologie energetiche rinnovabili. Questo è l'approccio più logico per raggiungere l'obiettivo NZEB. 47

In terzo luogo, ci si aspetta che l'applicazione del metodo LCA - Life Cycle Assessment assuma sempre più importanza nell'ambito dei processi decisionali

47 Fonte definizione: www.nzeb. in/definitions-policies/definitions/. Sono state proposte molte definizioni per meglio cogliere le modalità con cui vengono raggiunte e misurate le prestazioni degli NZEB Near/Net Zero Energy Building. Per un approfondimento sulla questione si rimanda alla tesi di laurea magistrale di DEMARIA, E., DUZEL A., Embodied Energy versus Operational Energy in un caso studio "Nearly Zero Energy Building": ideazione e sviluppo del software IREEA: strumento per il calcolo dell'Embodied Energy iniziale e periodica, rel. Roberto Giordano, Valentina Serra, Politecnico di Torino, Corso di Laurea Magistrale Architettura per il progetto sostenibile, febbraio 2016.

del progetto (Annex 57).

Nel metodo LCA vengono considerati tre tipi di *danni*: danni alla salute umana, danni all'ecosistema e danni alle risorse. La quantificazione di *Embodied Energy* ed *Embodied Carbon* può essere considerata parte di una LCA, dal momento che si considerano come indicatori che valutano l'uso di risorse energetiche (rinnovabili e non rinnovabili) e i cambiamenti climatici. Infine, un ulteriore elemento che chiarisce l'importanza del calcolo di questi indicatori è il crescente interesse verso la questione del calcolo della sostenibilità: negli ultimi decenni si è verificato un grande cambiamento in tutto il mondo nella valutazione della sostenibilità di un edificio; infatti, si è passati da approcci per lo più qualitativi ad approcci quantitativi e orientati al ciclo di vita di un edificio (per esempio con l'applicazione della metodologia LCA a certificazioni come LEED® o il Protocollo Itaca). Esistono, infatti, sistemi di certificazione nel mondo che utilizzano l'LCA come approccio al calcolo e utilizzano importanti database nazionali di *Life Cycle Inventory* (LCI)⁴⁸.

48 Il Life Cycle Inventory è la fase di inventario in una LCA, "che comprende la raccolta dei dati e i procedimenti di calcolo che consentono di quantificare i flussi in entrata e in uscita di un sistema di prodotto". UNI EN ISO 14040:2006 Gestione ambientale — Valutazione del ciclo di vita — Principi e quadro di riferimento

COME SI CALCOLANO EE-EC

In Europa, la normativa di riferimento per la valutazione di *Embodied Energy* ed *Embodied Carbon* negli edifici è la EN 15978:2013 *Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method*. In accordo con l'Annex 57, si può affermare che le metodologie di calcolo e valutazione, sia a livello di edificio che di prodotto, possono considerarsi sufficientemente dettagliate. Quel che è ancora carente, invece, è la disponibilità e l'accessibilità di dati, requisito fondamentale per la valutazione dell'impatto dell'edificio.

Al momento non esistono database di prodotti da costruzione che facciano uso di confini di sistema coerenti, e i dati forniti dai produttori non sono sempre confrontabili con dati più generici (valori di riferimento) di prodotto. Questo problema dipende anche dalle differenti fonti che vengono utilizzate per reperire i

dati. Queste possono essere suddivise come segue:

- dati e banche dati per scopi scientifici che rispettano standard di alta qualità;
- dati provenienti da letteratura o di origini non chiare;
- banche dati accessibili e gratuite che sono state create e sono mantenute con fondi pubblici e pertanto sono soggette a controlli di qualità;
- banche dati commerciali con/senza controlli di qualità (esterni)⁴⁹;
- informazioni pubblicate da associazioni professionali con/senza controlli di qualità (esterni);
- informazioni pubblicate da lavoratori privati con/senza controlli di qualità (esterni).

Nel caso in cui non fossero disponibili dati di LCI, un'altra fonte di informazioni sono le *Environmental Product Declaration* - EPD® normate, a livello europeo, dallo standard EN 15804:2012⁵⁰, e a livello internazionale dalla ISO 14025:2006.

CHI CALCOLA EE-EC

Ill livello di conoscenza dei diversi attori allo stato attuale in tema di LCA è molto eterogeneo: ci sono alcuni professionisti e aziende (imprese di costruzione) che hanno maturato una lunga esperienza in questo campo, mentre altri sono alle prime armi.

All'interno del report viene fatta un'interessante analisi sul ruolo che ricoprono il progettista ed altri attori implicati all'interno del processo di *decision making*. Viene evidenziata, in questo senso, la necessità di fornire a questi attori strumenti efficaci e facili da usare, che permettano loro di assegnare ai materiali valori di impatto energetico-ambientale. In generale, sul mercato è presente una vasta gamma di strumenti da utilizzare nelle diverse fasi del progetto ma il problema è che questi strumenti non dispongono di valori di riferimento cui rifarsi per la valutazione. Inoltre, l'Annex fornisce un elenco di documenti redatti da diversi Paesi (europei e non) a supporto del progettista, sottoforma di linee guida o protocolli da seguire per il calcolo e l'interpretazione dei risultati. Sebbene le in-

49 La trasparenza e tracciabilità dei dati pubblicati disponibili può non essere sempre sufficientemente assicurata. In generale la maggior parte degli Stati sono in procinto di sviluppare o hanno già sviluppato banche dati di EE ed EC dei prodotti da costruzione. Per avere una panoramica sulle banche dati disponibili consultare l'ST3 dell'Annex 57. Una lista di database è pubblicata anche dal *Greenhouse Gas Protocol*.

50 EN 15804:2012 Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products

formazioni e gli orientamenti contenuti in queste linee guida siano internamente coerenti, non seguono un approccio uniforme nel loro insieme. In tutte queste pubblicazioni non esiste una visione uniforme delle definizioni, dei confini del sistema, della condivisione del lavoro e dello scambio di informazioni tra le parti interessate.

Di seguito vengono riportati in sintesi i ruoli individuati all'interno del processo decisionale di un progetto, e le aree di intervento per ciascun ruolo; per quanto riguarda la figura del progettista, essa viene approfondita in un paragrafo dedicato a parte⁵¹, per analizzare più nello specifico il suo ruolo in rapporto con gli altri attori individuati all'interno del processo decisionale e per comprendere come tale ruolo sia cambiato rispetto all'introduzione della questione ambientale.

All'interno del gruppo di attori implicato nel processo decisionale, in primo luogo vengono citati i *produttori*: essi sono responsabili della fabbricazione del prodotto e della definizione delle sue potenzialità di dismissione; questi sono tenuti ad apportare continui miglioramenti ai prodotti mediante l'ottimizzazione di processi e l'approvvigionamento di materie prime e fonti energetiche, nonché miglioramenti legati alla qualità tecnica (durabilità, facilità di manutenzione, facilità di decostruzione e riciclabilità). Ai produttori è lasciata la responsabilità di fornire descrizioni e certificazioni che dichiarino in maniera trasparente le prestazioni dei loro prodotti (attraverso schede EPD, schede tecniche di sicurezza), incentivando lo sviluppo di soluzioni riciclabili; tali certificazioni risultano essere lo strumento attraverso il quale il progettista *dialoga* con il produttore, mettendosi nelle condizioni di effettuare scelte consapevoli sui prodotti o materiali da impiegare.

I produttori stanno dando sempre più importanza alle problematiche relative all'uso delle risorse e agli effetti negativi che le loro decisioni sullo sviluppo e l'ottimizzazione dei prodotti possono comportare sull'ambiente. Tale approccio migliora l'immagine dell'impresa, conferendole maggiore competitività sul

51 Vedi paragrafo *Ruolo del progettista*.

mercato e migliori prospettive di profitto. Lo strumento della LCA può essere loro di supporto in questa direzione. Vengono di seguito suggerite alcune azioni consigliabili per questi attori: in primo luogo l'ottimizzazione dei processi di produzione; l'approvvigionamento energetico e di materie prime deve essere supportato dai risultati di analisi LCA e consulenze esterne. In secondo luogo, lo sviluppo di prodotti innovativi migliorando le informazioni relative a detto prodotto, ad esempio pubblicando i risultati delle LCA o dichiarazioni di prodotto, effettuando analisi LCA non solo per singoli prodotti, ma anche per interi sistemi di costruzione. Infine, fornire garanzie sul prodotto a lungo termine, per esempio attraverso contratti di manutenzione e assistenza.

Il secondo gruppo di attori individuato nell'Annex è quello rappresentato dai politici, coloro che definiscono le leggi e predispongono lo sviluppo di nuovi requisiti, obiettivi e standard affinché gli impatti incorporati vengano integrati nelle politiche nazionali e/o nei regolamenti collegati alle leggi per l'efficienza di energia e risorse e/o le prestazioni dell'edificio. Inoltre, il politico è responsabile dello sviluppo di nuovi programmi di finanziamento che tengano conto degli impatti incorporati. Inizialmente, le prime azioni intraprese a livello europeo volte a rapportare l'edificio a temi di sostenibilità ambientale si sono concentrate su direttive volte al contenimento dei consumi energetici attraverso soluzioni in grado di raggiungere emissioni e consumi prossimi allo zero. Più recentemente, però, (A. Campioli et al., 2018) alcuni documenti emanati dall'Unione Europea ampliano la visione in un'ottica mirata al ciclo di vita, sollecitando l'attenzione all'uso efficiente delle risorse e alla riduzione degli impatti ambientali⁵². Alcune azioni che potrebbero essere intraprese da questo gruppo di attori per incentivare lo sviluppo sostenibile possono essere ad esempio rendere obbligatoria la dichiarazione degli impatti ambientali dei prodotti, promuovere - attraverso incentivi - l'uso di materiali a basso impatto nella progettazione degli edifici o infine stanziare fondi di ricerca per lo sviluppo di strumenti di progettazione e

52 CAMPIOLI A., DALLA VALLE A., GANASSALI S., GIORGI S., *Progettare il ciclo di vita della materia: nuove tendenze in prospettiva ambientale*, in Techne, n.16, 2018.

valutazione di sostenibilità e certificazione degli edifici, nonché di banche dati nazionali accessibili.

Vengono poi citati gli *impresari/costruttori*, responsabili della gestione della costruzione, che dovrà essere effettuata in un'ottica di riduzione dei consumi di energia *in situ*, prevedendo l'uso di prodotti da costruzione provenienti da aziende non troppo distanti dal sito di costruzione, per ridurre le emissioni dovute ai trasporti e monitorando la qualità della fase di costruzione per assicurare una lunga vita di servizio dell'edificio. Inoltre, devono farsi carico della gestione dei rifiuti e della predisposizione della documentazione relativa ai prodotti impiegati, durabilità, longevità del lavoro di costruzione. Infine, si occupano dello sviluppo dei servizi legati alla manutenzione dell'edificio.

Un altro gruppo di attori individuato nel documento è quello degli *esperti di LCA* come coloro che forniscono consulenza a supporto della ricerca di dati e della elaborazione di una LCA dettagliata. Ma l'esperto LCA è una figura esterna al progettista, o deve esso stesso divenire un esperto in materia? A tal proposito si rimanda al paragrafo specifico riguardo la figura del progettista di seguito riportato. Brevemente, però, si può affermare che col passare del tempo e la sempre crescente importanza che sta assumendo la questione ambientale anche all'interno degli studi di progettazione, il progettista è tenuto, perlomeno, ad apprendere delle conoscenze di base per poter dialogare con l'esperto certificatore e per comprendere i risultati da esso forniti.

Esiste poi un gruppo composto da associazioni e/o organizzazioni professionali, ricercatori e sviluppatori di strumenti e database, tutti quegli attori, cioè, chiamati a sviluppare regolamenti, guide tecniche con informazioni che forniscano linee guida, coloro che sviluppano metodi e definiscono valori di riferimento, tracciano l'avanzamento e informano sull'evoluzione, dovuta al progresso tecnologico, della metodologia LCA e dei dati e definiscono gli obiettivi mediante casi studio

e, infine, coloro che sviluppano gli strumenti per effettuare le valutazioni: essi devono raccogliere i dati all'interno di specifiche banche dati, valutarne la qualità e aggiornare quelli più vecchi, nonché fornire valori medi a supporto delle prime fasi del progetto.

QUANDO CALCOLARE EE-EC

'Annex riporta, inoltre, le fasi in cui è diviso il processo progettuale: queste vengono elencate di seguito e, per ogni fase, verrà fornita una descrizione seguita da alcune indicazioni su come le decisioni dei professionisti e dei consulenti possono influenzare gli impatti dell'edificio durante la progettazione e su quali strumenti possano essere di supporto nelle decisioni.

- fase di pre-progetto;
- progetto preliminare;
- sviluppo del progetto;
- preparazione per la costruzione;
- costruzione;
- consegna e documentazione.

Pre-progetto

In questa fase di concept il team di progettazione può sviluppare un quadro degli obiettivi e dei requisiti; già in questa fase sarebbe consigliabile iniziare a formulare anche requisiti ambientali. Questi possono anche includere valori limite di Embodied Energy ed Embodied Carbon. Inoltre, si può già partire con un valore limite che può essere modificato e ridefinito man mano che il progetto evolve.

Alcuni esempi di requisiti che solitamente vengono formulati in questa fase di progetto sono:

- vita utile dell'edificio;
- facilità di manutenzione;
- flessibilità e adattabilità;

facilità di decostruzione e riciclabilità.

Gli strumenti a supporto in questa fase sono valori di riferimento (ad esempio, provenienti dal team di progettazione, da un'azienda o da standard di pubblico dominio e/o nazionali) o valori empirici convalidati a livello di edificio.

PROGETTO PRELIMINARE

L'Annex sostiene che ricerche recenti dimostrano che le decisioni prese in questa fase di solito hanno il maggiore impatto sulla performance globale finale dell'edificio. Generalmente, in questa fase si decide se procedere con una nuova costruzione o con una ristrutturazione dell'esistente, viene definito il tipo di fondazione da adottare, il sistema costruttivo, i principali materiali impiegati e le tipologie impiantistiche. In questa fase è possibile calcolare l'effetto di queste prime scelte con l'ausilio di dati di riferimento o con l'aiuto di strumenti specifici per le prime fasi di progetto. Un esempio è lo strumento svizzero SNARC sviluppato per essere utilizzato nelle competizioni architettoniche al fine di comparare e valutare i problemi ambientali in diversi progetti. In Germania anche lo strumento LEGOE ha una funzione simile: nello specifico si rifà ad un catalogo di elementi costruttivi che contiene tutte le informazioni necessarie per il ciclo di vita.

SVILUPPO DEL PROGETTO

In questa fase il team di progettazione seleziona componenti e materiali specifici dell'edificio. È un momento in cui possono essere confrontate diverse alternative, come ad esempio l'utilizzo dell'acciaio piuttosto che del calcestruzzo. Le domande che bisogna porsi in questa fase sono: quale prodotto è migliore per il tipo di progetto? In che modo i prodotti selezionati influenzano Embodied Energy ed Embodied Carbon nella fase di manutenzione e di fine vita? Come ottimizzare i processi di trasporto e costruzione?

Possono essere utilizzati sistemi che forniscono valori medi di impatti incorporati per vari tipi di fondazioni e metodi di costruzione.

Preparazione per la costruzione

Dal punto di vista di Embodied Energy ed Embodied Carbon, si tratta di una questione delicata poiché in questa fase, quando si predispone la ricerca di materiali specifici e tecnologie di costruzione, le scelte tendono ad essere effettuate seguendo perlopiù criteri economici. È qui che il cliente deve svolgere un ruolo attivo e assicurarsi che gli obiettivi di Embodied Energy ed Embodied Carbon predisposti nelle fasi iniziali non passino in secondo piano.

Costruzione

Variazioni impreviste nella fase di costruzione possono comportare smantellamento di parti costruite in maniera sbagliata, sostituzione di parti rotte ecc... Inoltre, il consumo di energia è strettamente legato ai tempi di esecuzione.

Consegna e documentazione

In questa fase si effettua la raccolta di informazioni in un documento finale sul tipo e la quantità di materiale impiegato, comprese le informazioni sui rispettivi impatti incorporati; inoltre, si forniscono indicazioni per la manutenzione, la decostruzione e il riciclaggio.

In sintesi, possiamo affermare che ogni attore coinvolto nel processo decisionale del progetto di un edificio ha delle responsabilità riguardo le decisioni che è portato a prendere e che possono influenzare il progetto in ottica di risparmi energetici e di impatti ambientali: i produttori devono prendere coscienza di quanto sia fondamentale il loro ruolo nella conversione da una mentalità produttiva lineare ad una mentalità circolare; il ruolo del governo e dei politici non deve assolutamente essere sottovalutato, poiché, senza un adeguato sistema di incentivi e di leggi che forniscano linee guida e valori di riferimento questa conversione alla progettazione sostenibile non prenderà mai piede; i ricercatori ed esperti di LCA hanno il compito di aggiornare lo stato d'avanzamento della metodologia di analisi e della fornitura di dati disponibili, strumenti indispensabili per gli altri attori coinvolti. Il progettista, il quale prende in maniera attiva

decisioni sul progetto e, in quanto consulente, ha la possibilità di portare le decisioni della committenza verso soluzioni sostenibili, deve essere in grado di dialogare con tutti gli attori coinvolti nel processo decisionale, coordinando in maniera consapevole il team e, per questo, deve specializzarsi sempre più nei diversi ambiti di cui il progetto si compone.

Appare qui evidente come sia determinante il fatto di cominciare a ragionare in ottica di sostenibilità ambientale già a partire dalle primissime fasi della progettazione: infatti, se, ad esempio, non venisse predisposto fin dall'inizio il requisito della facilità di disassemblaggio degli elementi costruttivi, e pertanto venissero fatte scelte di adozione di tecnologie tradizionali ad umido, tornare indietro su questo tipo di scelta comporterebbe uno spreco di tempo, denaro ed energie che sarebbe stato del tutto evitabile se la questione della sostenibilità ambientale fosse stata presa in considerazione fin da subito.

Per questo motivo si vuole qui dedicare una riflessione particolare sullo sviluppo della figura del progettista e di come questa sia cambiata in seguito alla presa di coscienza delle questioni ambientali.

Studio del ciclo di vita dell'edificio

Prima di dare una definizione di Embodied Energy ed Embodied Carbon è opportuno chiarire il concetto di *confini del sistema*

I confini del sistema determinano le unità di processo che devono essere incluse nell'LCA. 53

Nella prima fase di una analisi LCA, relativa alla *Definizione degli obiettivi*, vengono definite le finalità dello studio e del campo di applicazione, ossia le caratteristiche generali dell'analisi tra cui la scelta dei *confini del sistema*, e cioè quali unità del processo produttivo nel caso di un prodotto e quali fasi del ciclo di vita nel caso dell'edificio vengono prese in considerazione nell'analisi; tale scelta deve essere chiaramente esplicitata e opportunamente giustificata da chi redige l'analisi. Di seguito vengono elencati e descritti i più comuni confini del sistema applicati nelle analisi relative agli edifici ed ai componenti edilizi:

53 UNI EN ISO 14040, Gestione ambientale; Valutazione del ciclo di vita; Principi e quadro di riferimento, 2006.

DALLA CULLA AL CANCELLO

In questo caso si analizzano *input* e *output* nella sola *fase di produzione* dei prodotti da costruzione utilizzati per la costruzione dell'edificio. I processi presi in considerazione sono l'estrazione delle materie prime, il loro trasporto al sito di produzione e il processo di fabbricazione dei prodotti. Pertanto, nel caso di un edificio, gli impatti di questa fase sono considerati come la somma totale degli impatti dovuti alla produzione dei suoi singoli componenti.

DAL CANCELLO AL CANCELLO

Anche in questo caso viene considerata la *fase di produzione* del prodotto, escludendo però i processi precedenti che avvengono al di fuori dell'azienda produttrice, quindi l'estrazione delle materie prime e il trasporto delle stesse al sito di produzione.

Dalla culla al sito

Questo confine di sistema, rispetto a quelli precedentemente descritti prevede di considerare, oltre alla fase di produzione fuori opera, anche la fase di trasporto del prodotto finito al cantiere.

Dalla culla alla consegna (fine della costruzione)

In questo caso, ai processi che avvengono nel confine dalla culla al sito vengono aggiunti quelli relativi alla *fase di costruzione* e assemblaggio dell'edificio in loco.

Dalla culla alla fine d'uso

Questo confine aggiunge al confine dalla culla alla consegna i processi legati alla fase d'uso dell'edificio includendo l'energia e le emissioni periodiche dovute ai processi di manutenzione, riparazione, sostituzione e rinnovo.

Dalla culla alla tomba

Il confine del sistema dalla culla alla tomba fornisce una visione dell'intero ciclo

di vita dell'edificio, includendo la *fase di fine vita*: vengono considerati i processi di decostruzione, demolizione e il trattamento dei rifiuti attraverso gli scenari di smaltimento quali riuso, riciclo, termovalorizzazione e messa in discarica. Nel caso di riuso o riciclo del componente si può anche parlare di confine del sistema *dalla culla alla culla*, poiché in questo modo si dà inizio ad un nuovo ciclo di vita del prodotto.

Dalla culla alla tomba — compresi i benefici e gli impatti oltre il limite del sistema

In accordo con la UNI 15978⁵⁴, può essere identificato un ulteriore confine di sistema, che prevede di comunicare separatamente carichi e benefici che si verificano oltre il limite del sistema legati agli scenari di smaltimento dopo la fine della vita utile dell'edificio, nonché agli effetti del carbonio sequestrato.

54 UNI EN 15978, Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method, 2011.

Embodied Energy

Un importante criterio di valutazione nel calcolo delle prestazioni ambientali dell'edificio è costituito dalla quantificazione dei consumi energetici del sistema produttivo, la cosiddetta

energia grigia o energia incorporata o ancora, volendo utilizzare il termine anglosassone universalmente riconosciuto nella letteratura scientifica, *Embodied Energy*, dei prodotti da costruzione. Tuttavia, in generale, si riscontrano difficoltà oggettive che impediscono una completa comprensione dell'importanza della questione dell'energia incorporata⁵⁵: in primo luogo, nonostante siano state sviluppate diverse metodologie per il calcolo dell'Embodied Energy, alcune basate *sull'analisi del processo produttivo* (che tengono conto, cioè, dell'"energia direttamente impiegata nel processo produttivo e di quella necessaria alla produzione dei materiali che costituiscono gli input di tale processo"), altre *sull'analisi delle matrici input-output* (che includono anche "l'incidenza dei servizi indirettamente coinvolti nella produzione e quella di tutte le lavorazioni che precedono il livello al quale l'analisi di processo potrebbe decidere di arrestarsi") e altre ancora su *sistemi ibridi* che tengono conto di entrambi gli

55 GASPARI J., TRABUCCO D., ZANNONI G., Involucro edilizio e aspetti di sostenibilità. Riflessioni sul comportamento energetico di pareti massive e stratificate iperisolate: performances ambientali ed embodied energy, Ricerche di tecnologia dell'architettura Franco Angeli, Milano, 2010.

approcci, ad oggi non è stata ancora individuata una metodologia *univoca* per il calcolo. Infatti, sono numerosissimi i fattori che possono influenzare l'Embodied Energy di un prodotto; al contrario, invece, il calcolo dei consumi energetici, o meglio, del fabbisogno energetico, legato alla fase d'uso di un edificio è più facilmente simulabile e verificabile a costruzione ultimata. Per questo motivo, la *sostenibilità* di un edificio è più facilmente identificabile attraverso i benefici in termini di risparmio energetico nella fase d'uso.

In secondo luogo, alcuni degli studi che sono stati effettuati per comprendere l'incidenza dell'Embodied Energy sul fabbisogno energetico totale dell'edificio, sono stati effettuati confrontando casi studio di progetti molto lontani dal contesto architettonico e dalla pratica costruttiva tipicamente europea (ad esempio Stati Uniti e Australia)⁵⁶, dove la prassi prevede l'utilizzo di materiali strutturali prevalentemente lignei. È evidente che un approccio costruttivo che implica un ampio utilizzo di materiale naturale permette di contenere il quantitativo di Embodied Energy rispetto all'impiego di materiali *sintetici* che richiedono un maggior numero di operazioni di lavorazione. Per questo motivo, in queste analisi sul bilancio energetico totale dell'edificio, il peso dei consumi energetici in fase d'uso risulta nettamente superiore rispetto a quello della fase di produzione fuori opera. Da ciò deriva un maggior interessamento da parte, prima, di questi Paesi, e poi a livello internazionale, nei confronti dell'*energia operativa* rispetto a quella impiegata nella fase di produzione.

Il terzo fattore che rende di difficile interpretazione la questione dell'Embodied Energy è legato alla crescente popolarità del concetto di sostenibilità ambientale, che talvolta degenera in uno strumento di marketing nell'ambito del mercato immobiliare. Questo concetto, infatti, è sempre più spesso inteso nella sua concezione più semplificata di risparmio energetico, legato quindi alla fase operativa del ciclo di vita dell'edificio: la sostenibilità viene dunque ridotta ad un requisito da soddisfare con sistemi per ridurre il fabbisogno di energia operativa (frangisole, rivestimenti isolanti, sistemi di involucro ad elevate prestazioni ecc..) che hanno maggiore effetto sulla comunicazione della sostenibilità, più che sulla riduzione degli impatti. Infatti, per quanto riguarda l'Embodied Energy, essa

56 SARTORI I., HESTNES A. G., Energy use in the life cycle conventional and low energy buildings: A review article, Energy and buildings, vol 39, 2007.

57 MONTPELLIER A., ROGERS B., The business case for sustainable office design, in Urban land, 2006.

58 Per un approfondimento riguardo i confini del sistema e le componenti energetiche si rimanda al paragrafo successivo *Confini del sistema e metodo di calcolo*.

59 SUSTAINABLE HOMES, *Embodied energy in residential property development - A Guide for Registered Social Landlords*. 1999.

verrebbe più facilmente contenuta diminuendo la quantità di materiali impiegati e sostituendo materiali più sofisticati con materiali meno elaborati e naturali.

Un ultimo fattore può essere individuato nelle ricadute economiche. Ciò che ha generato interesse in tema energetico nell'opinione pubblica non è stata tanto la questione dei cambiamenti climatici, quanto l'aumento dei costi dell'approvvigionamento energetico. Infatti, un vero impulso alla riduzione dei consumi si è verificato in due momenti particolari: in seguito alla crisi petrolifera del 1974, e poi a causa dell'esplosione dei prezzi del petrolio alla fine del 2007. Realizzare un edificio sostenibile comporta costi del 10-30% superiori rispetto ad un edificio tradizionale⁵⁷, ma i minori costi di gestione permetterebbero di rientrare degli extra costi in un breve periodo di tempo. Tuttavia, la valutazione dei vantaggi a scala globale, come in questo caso la riduzione dell'Embodied Energy, nella maggior parte dei casi non viene tenuta in considerazione nella definizione del programma edilizio: pur avendo una forte rilevanza in termini di consumi energetici (e quindi nei confronti dell'ambiente), non trova riscontro diretto sul prezzo finale del prodotto, pertanto l'interesse nei confronti di questo indicatore all'interno del processo costruttivo è ancora limitato.

Definizione

Dare una definizione univoca di Embodied Energy non è una questione semplice. In letteratura si trovano interpretazioni e definizioni diverse, poiché non tutti adottano i medesimi *confini del sistema* e non sempre c'è uniformità nelle *componenti energetiche*⁵⁸ da includere nella valutazione.

(Per esempio, la definizione fornita da *Sustainable Homes* nel report del 1999⁵⁹ considera come confini del sistema quelli *dalla culla alla fine della costruzione*, includendo cioè tutti i processi che avvengono per la produzione dei componenti, dall'estrazione delle materie prime (culla), la loro lavorazione fino al trasporto al sito di progetto, e i processi di costruzione e montaggio dell'edificio in cantiere:

l'Embodied Energy di un edificio è l'energia totale necessaria per costruirlo – cioè per estrarre le materie prime, lavorarle secondo le esigenze, trasportare i componenti prodotti al sito di costruzione e montarli insieme.

Un'altra definizione che adotta gli stessi confini del sistema, effettuando però una distinzione fra *energia diretta*, intesa come l'energia *direttamente* impiegata nel processo produttivo ed *energia indiretta*, ossia l'energia di produzione e trasporto, necessaria per rendere disponibili le risorse⁶⁰ è quella di Crowther (1999)⁶¹:

l'Embodied Energy dell'edificio può essere definita come l'energia totale richiesta nella creazione di un edificio, compresa l'energia diretta utilizzata nel processo di costruzione e assemblaggio e l'energia indiretta, necessaria per fabbricare i materiali e i componenti degli edifici.

Upton et al. (2008)⁶² definiscono l'Embodied Energy con gli stessi confini del sistema sopra citati, ma specificando ulteriormente la distinzione fra energia totale ed energia non rinnovabile:

l'Embodied Energy comprende l'energia associata all'ottenimento di materie prime, alla fabbricazione di materiali da costruzione, al trasporto dei materiali nei cantieri e alla costruzione delle strutture. [Inoltre, l'Embodied Energy viene] calcolata come energia totale incorporata e come energia incorporata non rinnovabile (totale meno idro e biomassa).

La definizione contenuta nel Quaderno tecnico SIA 2032 del 2010⁶³ tiene conto dei processi inclusi nei confini di sistema *dalla culla alla tomba*, cioè tutti quei processi di lavorazione cui il materiale è sottoposto per la sua trasformazione, dall'estrazione delle materie prime fino allo smaltimento (tomba) del prodotto finito al termine della sua vita utile:

L'energia grigia è la quantità totale di energia primaria non rinnovabile richiesta per tutti i processi a monte dall'estrazione delle materie prime alla produzione, costruzione e smaltimento, compreso il trasporto necessario. Ciò è indicato anche come consumo cumulativo di energia non rinnovabile.

La commissione Europea, invece, fornisce una definizione⁶⁴ che tiene conto dei confini di sistema *dalla culla al cancello*, includendo i soli processi legati alla fase di produzione fuori opera dei prodotti da costruzione (estrazione delle materie prime, trasporto dei materiali nel sito di produzione e processo di produzione stesso). L'energia incorporata è definita come

L'uso di energia legato alla produzione di prodotti da costruzione.

- 60 GIORDANO R., *I prodotti per l'edilizia sostenibile: la compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2010.
- 61 CROWTHER P., Design for disassembly to recover embodied energy, in: The 16th Annual Conference on Passive and Low Energy Architecture, Melbourne/ Brisbane/ Cairns, Australia, 1999.
- 62 UPTON B., MINER R., SPINNEY M., HEATH L. S., The greenhouse gas and energy impacts of using wood instead of alternatives in residential construction in the United States. Biomass and Bioenergy, 2008.
- 63 Quaderno tecnico SIA 2032, Energia grigia negli edifici. Associazione svizzera di ingegneri e architetti (SIA), Zurigo, 2010.
- 64 EUROPEAN COMMISSION. Roadmap: Communication on Sustainable Buildings. DG ENV C1, 2012.

Si ritiene opportuno dare in questa sede una definizione di Embodied Energy che tenga conto di tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio, dalla culla alla tomba, che consideri tutte le componenti energetiche, (in seguito analizzate nel dettaglio) che permettono di determinare il fabbisogno e il contenuto di energia primaria, tenendo conto delle risorse energetiche provenienti sia da fonti rinnovabili che fonti non rinnovabili.

L'Embodied Energy è un indicatore che esprime un fabbisogno energetico primario (indipendentemente dal tipo di risorsa) di un dato prodotto (di un'unità funzionale) in una o più fasi del ciclo di vita, diverse da quelle operative.

Qualsiasi materiale o prodotto per l'edilizia possiede un valore di energia incorporata determinato dai processi di lavorazione necessari per la sua produzione.

Metodo di calcolo

Quando ci si accinge a dare una definizione di Embodied Energy, e quindi dello sviluppo di un indicatore appropriato per la sua quantificazione, capita che vengano interpretati in maniera errata alcuni parametri importanti. Il dibattito legato a quali *componenti energetiche* considerare nella quantificazione è aperto, poiché l'energia può essere classificata secondo diversi parametri e non tutte le definizioni li includono tutti.

ENERGIA PRIMARIA, DERIVATA E FINALE

La prima distinzione da fare nella valutazione del fabbisogno energetico di un processo è quella fra energia primaria, energia secondaria (o derivata) ed energia finale:: l'energia primaria è l'energia potenziale di vettori energetici come petrolio, gas naturale, carbone, acqua, fonti energetiche rinnovabili (risorse energetiche primarie), nella loro forma naturale; l'energia derivata è l'energia ottenuta tramite processi di trasformazione delle risorse primarie, da cui si ottengono per esempio coke, gasolio, elettricità (risorse energetiche derivate o secondarie); l'energia finale quindi è la componente energetica a disposizione del sistema produttivo ed effettivamente utilizzata dal consumatore (Giordano, 2010).

In fase di progettazione, se l'obiettivo è comparare due prodotti in grado di svolgere la medesima funzione, a parità di energia finale, utilizzata per alimentare il sistema produttivo, sarà l'energia primaria a dire quale dei due ha un maggior impatto. In un caso, ad esempio, parte del fabbisogno di energia potrà essere garantito utilizzando una fonte rinnovabile, in un altro utilizzando energia che deriva da una centrale termoelettrica. (Giordano, 2010).

L'importanza dell'energia primaria è data dal fatto che questa permette di esprimere il reale impatto sulle risorse energetiche (come l'esaurimento delle risorse) causato dalla costruzione dell'edificio. Da un punto di vista metodologico, quando i dati energetici si basano esclusivamente sui consumi di energia finale i risultati potrebbero rivelarsi fuorvianti e incoerenti: infatti, se si considera che ipoteticamente uno stesso edificio venga progettato in due Paesi diversi ma con climi simili, è possibile che i valori di energia finale siano piuttosto simili, mentre quelli legati all'energia primaria potranno differire notevolmente, a causa dei diversi vettori energetici e per via dei diversi modi di produrre energia (mix energetici) (Giordano, 2010).

RISORSE ENERGETICHE RINNOVABILI, QUASI INESAURIBILI E NON RINNOVABILI

Una seconda classificazione dell'energia può essere fatta in funzione dell'origine delle risorse energetiche da cui essa proviene. Tale distinzione si basa sul tempo necessario affinché una risorsa si ricostituisca. L'energia infatti può provenire a partire da *risorse rinnovabili*, *risorse quasi inesauribili*, e *risorse non-rinnovabili* (o esauribili).

Le *risorse energetiche rinnovabili* sono in grado di rigenerarsi in modo pressoché immediato. Le *fonti quasi inesauribili*, che comprendono il calore endogeno, l'energia nucleare di fissione e quella di fusione, sono in grado di produrre energia per tempi estremamente lunghi che superano le centinaia di anni. Le *risorse energetiche esauribili* per ricostituirsi necessitano, invece, di intere ere geologiche. (Giordano, 2010).

Nella maggior parte dei casi, quando viene calcolata l'Embodied Energy l'indicatore chiave è il consumo (o fabbisogno) di energia primaria non

65 INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - EBC, Annex 57: Evaluation of Embodied Energy & CO₂ Equivalent Emissions for Building Construction, 2016.

66 Per le definizioni che seguono si rimanda a GIORDANO R., *I* prodotti per l'edilizia sostenibile: la compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio, Napoli, Sistemi Editoriali, 2010. rinnovabile. Tuttavia, alcune normative (come ad esempio la UNI EN 15978:2011) tengono conto anche dell'indicatore legato al consumo di energia rinnovabile: non c'è motivo infatti di trascurare questo tipo di energia, perché rinnovabile non significa né gratuito né privo di impatto⁶⁵.

Inoltre, tenere conto delle componenti energetiche provenienti sia da fonte rinnovabile che non rinnovabile, consente di calcolare un ulteriore indicatore, l'*Indice di rinnovabilità*, inteso come il rapporto tra il contenuto di Embodied Energy da fonte rinnovabile ed Embodied Energy totale, che può essere calcolato per un singolo materiale, per un intero componente edilizio o per l'intero edificio. Questo permette di confrontare due ipotesi alternative ed effettuare la scelta in base al prodotto che abbia non solo il minor contenuto di Embodied Energy, ma il minor contenuto di Embodied Energy proveniente da fonte non rinnovabile.

ENERGIA DIRETTA, INDIRETTA, IMMAGAZZINATA

Infine, il fabbisogno energetico di un processo o prodotto può essere quantificato attraverso i principali componenti energetici che sono: energia diretta, energia indiretta ed energia immagazzinata (o *feedstock energy*)⁶⁶.

L'energia diretta consiste nell'energia direttamente impiegata nel processo produttivo; questa può essere costituita sia da risorse energetiche primarie (metano, carbonio, petrolio), che da risorse energetiche derivate (gas, benzina, gasolio, coke ed elettricità). Essa può inoltre essere quantificata in funzione del potere calorifico di un combustibile, che rappresenta la capacità di una risorsa di produrre energia.

L'energia indiretta è costituita dalla somma dell'energia necessaria a produrre e a trasportare le risorse che entrano come input nel sistema di produzione. Costituisce quindi il quantitativo energetico necessario a fornire l'energia diretta. È necessario pertanto conoscere i complessi processi necessari alla produzione di tale risorsa, che consistono nell'estrazione della risorsa energetica dai giacimenti, il trasporto ed eventualmente la trasformazione della risorsa primaria in risorsa energetica derivata o secondaria.

L'energia immagazzinata, o feedstock energy, è l'energia primaria che non viene

consumata come combustibile, ma viene utilizzata come materia prima (Annex 57, 2016); corrisponde al contenuto energetico di un prodotto finito, esito di un processo in cui le risorse energetiche sono utilizzate come tali e non per fini energetici (Giordano, 2010). Considerando ad esempio due materiali come carta e plastica, questi possono essere valorizzati in processi di incenerimento perché contengono una energia di feedstock che può essere considerata come il *potere calorifico* del prodotto: grazie alla energia di feedstock esso, una volta esaurita la sua funzione, potrà essere a sua volta utilizzato come fonte energetica.

Nella maggior parte degli studi che valutano il contenuto di Embodied Energy, la feedstock energy è un parametro poco considerato. Più comunemente esso viene considerato nel calcolo dell'Embodied Energy totale di un materiale solo se rappresenta una perdita permanente di risorse preziose come l'uso di combustibili fossili. D'altra parte, alcuni sostengono che quando il combustibile fossile viene prelevato dal suolo ma non bruciato, rimane come una risorsa energetica che potrebbe essere bruciata in seguito. L'unica differenza significativa è che risiede sulla superficie del pianeta, piuttosto che al di sotto di esso (Alcorn, 2003). In ogni caso la feedstock energy è una variabile importante nella quantificazione dell'Embodied Energy e la sua inclusione o esclusione deve essere chiaramente indicata e giustificata (Annex 57).

Sistemi di certificazione

Da un'analisi del panorama normativo attuale emerge che a livello nazionale in Italia non sono ancora state stabilite verifiche o valori limite del contenuto di Embodied Energy dei prodotti edilizi. L'unica certificazione europea che fornisce questo tipo di dato e che viene pertanto presa a riferimento all'interno del software EURECA per l'interpretazione del risultato ottenuto, è la certificazione svizzera Minergie® che si basa sul quaderno tecnico SIA 2032 Energia grigia negli edifici. Qui l'energia grigia dell'edificio, intesa come "quantità complessiva di energia primaria non rinnovabile necessaria per tutti i processi a monte (dall'estrazione della materia prima, al processo di produzione e fino allo smaltimento), inclusa quella necessaria per i trasporti ed i processi ausiliari",

è calcolata attraverso un ulteriore indicatore, l'*Embodied Energy 50* (EE₅₀): essa è espressa in kWh/m²anno, e rappresenta il quantitativo di energia inglobata dell'edificio rispetto ad un periodo di riferimento di vita utile fissato a 50 anni. L'EE₅₀ si calcola dividendo L'Embodied Energy totale stimata (espressa in MJ/ m²) per i 50 anni di vita utile stimata e moltiplicando il risultato per il fattore di conversione da MJ a kWh (1kWh = 3.6 MJ). La certificazione Minergie® prevede l'ottimizzazione dei consumi energetici e la copertura del fabbisogno energetico attraverso l'uso di energia proveniente da fonti rinnovabili. Lo standard stabilisce valori limite in relazione a elementi tecnici che delimitano lo spazio riscaldato, sistemi impiantistici, elementi tecnici che delimitano lo spazio non riscaldato; se questi valori vengono rispettati è possibile ottenere la certificazione Minergie-A, oppure le certificazioni Minergie-ECO, Minergie-A-ECO, Minergie-P-ECO che presentano limiti più restrittivi. In Minergie-A infatti, è fissato uno stesso limite per tutte le categorie di edifici di EE₅₀ pari a 50KWh/m²anno. Invece, in Minergie-ECO, Minergie-A-ECO, Minergie-P-ECO vengono stabiliti due valori limite, uno superiore, che segna il limite fra buono e soddisfacente (GW1, cui viene attribuita la certificazione denominata ECO1), ed uno inferiore che segna il limite fra soddisfacente e insoddisfacente (GW2, cui viene attribuita la certificazione denominata ECO2) (Figura 6); questi valori limite inoltre si differenziano a

Figura 6: Valori limite superiore ed inferiore per la definizione della certificazione ECO in Minergie®. Fonte: MINERGIE, *Gli indicatori per la valutazione del ciclo di vita dell'edificio*, Svizzera Energia, 2013. Rielaborazione personale

0 GW 1 (ECO 1) GW 2 (ECO 2) ∞ BUONO SODDISFACENTE INSODDISFACENTE

seconda della destinazione d'uso dell'edificio (Figura 7).



Figura 7: Valori limite corrispondenti al certificato Minergie (-P, -A)-ECO. Fonte: MINERGIE, *Gli indicatori per la valutazione del ciclo di vita dell'edificio*, Svizzera Energia, 2013. Rielaborazione personale

Il sistema MINERGIE®

Minergie è una *quality label* svizzera registrata nel 1998 per edifici nuovi e ristrutturati a basso consumo energetico, che si distinguono per comfort, efficienza e mantenimento del valore nel tempo. Al centro viene posto il comfort abitativo e lavorativo per gli utenti, sia per nuove costruzioni che per ammodernamenti. Costruire secondo gli standard Minergie significa porre al centro il comfort abitativo e lavorativo degli utenti dell'edificio, l'efficienza energetica, la qualità e il mantenimento del valore applicando tecnologie di alta qualità. Le costruzioni Minergie si distinguono inoltre per un basso fabbisogno d'energia, l'autoproduzione di una parte dell'energia di cui hanno bisogno e un elevato utilizzo d'energia rinnovabile. Dal 2011 la certificazione prende in considerazione nel calcolo anche il carico ambientale dell'energia grigia (Embodied Energy) in conformità al quaderno tecnico SIA 2032. Nella progettazione di nuovi edifici esistono tre differenti standard Minergie: MINERGIE, MINERGIE P e Minergie A.





MINERGIE

La qualità energetica dell'edificio è rappresentata dall'indice Minergie. Esso indica quanta energia finale va immessa nell'edificio. Per edifici abitativi nuovi l'indice Minergie è di 55 kWh/m all'anno (energia finale ponderata). Vengono considerati: qualità dell'involucro edilizio, impiantistica, apparecchi e illuminazione, approvvigionamento energetico da fonti rinnovabili e produzione propria di elettricità. Un ricambio dell'aria controllato è obbligatorio.

MINERGIE - P

Negli edifici Minergie-P, l'involucro edilizio deve essere isolato meglio di almeno il 30% rispetto ai requisiti di legge (MoPEC 2014) per nuove costruzioni. L'ermeticità dell'aria dell'involucro è testata per ogni edificio ed è prestata molta attenzione alla protezione solare termica estiva.

MINERGIE-A

Un edificio Minergie-A ha un bilancio energetico positivo. Ciò significa che nella valutazione annuale il consumo per il riscaldamento dei locali, la produzione di acqua calda, il ricambio dell'aria controllato, tutti gli apparecchi elettrici e l'illuminazione sono coperti da energie rinnovabili prodotte autonomamente. Per edifici residenziali nuovi Minergie-A l'indice Minergie deve essere inferiore a 35 kWh/m all'anno (energia finale ponderata). Minergie-A è abbinabile ai prodotti complementari ECO, SQM costruzione e SQM esercizio, così come allo Standard Costruzione Sostenibile Svizzera (SNBS), riguardo agli aspetti socioeconomici.

MINERGIE-ECO

Il prodotto complementare ECO integra gli standard di costruzione Minergie con una costruzione particolarmente sana ed ecologica. ECO può essere combinato con tutti e tre gli standard di costruzione. Fino ad oggi sono già stati certificati 1500 edifici Minergie-ECO, Minergie-P-ECO o Minergie-A-ECO.

Embodied Carbon

Per capire l'importanza della quantificazione dell'*Embodied Carbon* come *indicatore di sostenibilità*, bisogna in primo luogo comprendere

la questione dei *cambiamenti climatici*. Per quanto il nesso fra cambiamenti climatici ed emissioni di ${\rm CO_2}$ sia ancora messo in discussione anche da voci autorevoli in campo scientifico (come ad esempio il premio Nobel per la Chimica Kary Mullis), è ormai assodato che preservare l'ecosistema terrestre è una questione centrale nell'ambito della progettazione edilizia. In questo senso, è utile sviluppare indicatori appropriati per la quantificazione degli effetti delle attività dell'uomo sull'ambiente. In passato, questi effetti erano soprattutto calcolati in maniera indiretta attraverso il calcolo del fabbisogno energetico, ma ad oggi sta assumendo sempre più importanza — anche in conseguenza dei risultati della COP 21 di Parigi 67 — la misurazione diretta del contributo degli edifici all'effetto serra.

La presa di coscienza della questione *cambiamenti climatici* ha avuto inizio nel 1979 con la *First World Climate Conference* di Ginevra, il cui obiettivo era quello di valutare lo stato delle conoscenze sul clima e degli effetti della sua variabilità sulla società. Gli esiti di questa prima conferenza sono stati l'avvio a nuove forme di cooperazione e l'istituzione di un *World Climate Program.* Nel 1988 poi è stata riunita a Toronto la *World Conference on the Changing Atmosphere*, che inizialmente aveva scopi prettamente scientifici e non governativi, ma che si è conclusa con l'esortazione a di tutte le nazioni ad intraprendere azioni per una la riduzione, entro il 2005, del 20% delle emissioni globali di CO₂. A seguito di questo incontro, inoltre, è stato istituito l'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*)⁶⁸, che pubblica nel 1990 il suo primo *Report*, in occasione della *Second World Climate Conference* tenutasi nuovamente a Ginevra, e durante la quale si evidenzia la necessità di pianificare un trattato internazionale sul problema dei cambiamenti climatici; tale trattato che getta le basi per il *Protocollo di Kyoto*.

Il 1992 costituisce un anno chiave nella presa di coscienza del problema, con

67 XXI Conferenza delle Parti dell'UNFCCC (COP 21), tenutasi a Parigi fra il 30 novembre e il 12 dicembre 2015, da cui è scaturito il cosiddetto *Accordo di Parigi*, accordo globale sulla riduzione dei cambiamenti climatici entrato in vigore al superamento della ratifica dii 55 Paesi firmatari responsabili del 55% delle emissioni.

68 Organismo delle Nazioni Unite per la valutazione della scienza relativa ai cambiamenti climatici. www.ipcc.ch la convocazione della *Conferenza mondiale sull'ambiente e lo sviluppo* a Rio de Janeiro. L'esito è stata la redazione del testo base della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC — *United Nations Framework Convention on Climate Change*), il cui obiettivo principale è riportato nell'Art. 2: stabilizzare le concentrazioni di gas ad effetto serra nell'atmosfera ad un livello tale da escludere qualsiasi pericolosa interferenza delle attività umane sul sistema climatico. Tale obiettivo dovrebbe essere raggiunto in un periodo di tempo tale da permettere agli ecosistemi di adattarsi al cambiamento climatico e in modo tale che lo sviluppo socioeconomico mondiale possa procedere in modo sostenibile. Questo documento ha il merito di aver contribuito alla sensibilizzazione dei cittadini ed aver definito i principi chiave della lotta ai cambiamenti climatici; tuttavia, esso non contiene dettagli circa la quantificazione degli obiettivi di ciascun Paese. Esso pertanto rappresenta il punto di partenza per un'azione più energica ed incisiva.

Nel 1995 si tiene la Prima Conferenza delle Parti (COP 1) a Berlino, durante la quale emerge che gli impegni previsti nell'UNFCCC non sono chiari, pertanto viene proposta la definizione di un "annex" alla UNFCCC. Tuttavia, nel corso dei lavori si prende coscienza della necessità di redigere una nuova bozza di trattato attuativo più che di un semplice testo contenente gli emendamenti e chiarimenti del caso; così, dopo due anni di lavori si arriva nel 1997 alla redazione del Protocollo di Kyoto, che in Italia verrà recepito nel 2002 con la Ratifica del Protocollo di Kyoto delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici. Qui viene definito un obiettivo specifico di riduzione delle emissioni in atmosfera per le Nazioni firmatarie, che per l'Italia si attesta su un valore di -6,5% rispetto ai livelli del 1990 da raggiungere entro il nel periodo 2008-2012. A partire dal 2005 l'Italia inizia a disporre misure finalizzate al raggiungimento di questo obiettivo. Analizzando il rapporto annuale⁶⁹ dell'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA – European Environmental Agency) che monitora i rilasci di emissioni di gas serra di ciascuno Stato dell'Unione Europea confrontandoli con i valori di riferimento al 1990 è possibile notare come si sia effettivamente verificata una generale tendenza a ridurre le emissioni di gas a livello europeo: dal 1990 al

69 EEA, Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2017 and inventory report 2019. Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol, 2019.

2017 l'Europa ha diminuito i suoi rilasci di gas serra del 23,5%, con un leggero aumento dello 0,5% rispetto al 2016 (Tab.1). Dalla lettura della medesima tabella è possibile notare come anche l'Italia sia stata in grado di ridurre in maniera considerevole le sue emissioni, ottenendo una diminuzione del 17,4% rispetto al 1990. Analizzando la Tab.2 è possibile affermare che gli obiettivi del Protocollo di Kyoto sono stati raggiunti: infatti, confrontando le emissioni italiane del 1990 equivalenti a 518 MtCO₂eq (valore in aumento a partire da questo anno fino al 2005, quando è stata rilevata una quantità di emissioni pari a 581 MtCO₂eq), con gli anni che vanno dal 2008 al 2012 (periodo in cui è prevista la riduzione dettata dal Protocollo di Kyoto) si riscontra una tendenza a diminuire, da un valore di 548 MtCO₂eq del 2008 a 473 MtCO₂eq nel 2012. Per il periodo successivo al 2012, è stato predisposto un nuovo strumento per la riduzione delle emissioni di gas serra: in occasione della Conferenza delle Parti (COP18), tenutasi a Doha (Qatar) nel 2012, un gruppo ristretto di Paesi assume l'impegno per la prosecuzione oltre il 2012 delle misure previste dal Protocollo, approvando l'Emendamento di Doha al Protocollo. Questo prevede l'adozione del pacchetto clima-energia: in esso vengono definiti gli obiettivi di riduzione del 20% delle emissioni di gas serra, aumento del 20% del risparmio energetico e aumento al 20% del consumo di fonti rinnovabili entro il 2020. Nel 2015 a Parigi, in occasione della COP21 è stato firmato il cosiddetto Accordo di Parigi, volto alla definizione degli obiettivi per il periodo successivo al 2020. Questo prevede come obiettivo a lungo termine il contenimento dell'aumento della temperatura al di sotto dei 2°C e il perseguimento degli sforzi di limitare l'aumento a 1.5°C rispetto ai livelli preindustriali.

	1990	2017	2016 - 2017	2016 - 2017	1990 - 2017
				[%]	[%]
	78.7	82.3	2.7	3.3%	4.6%
	146.6	114.5	-1.2	-1.1%	-21.9%
	101.8	61.4	2.3	3.9%	-39.7%
Croatia	31.9	25.0	0.6	2.6%	-21.5%
	5.7	8.9	0.2	2.3%	57.8%
Czechia	199.2	129.4	-1.1	-0.9%	-35.1%
Denmark	70.3	47.9	-2.3	-4.5%	-31.9%
Estonia	40.4	20.9	1.2	6.2%	-48.4%
	71.3	55.4	-2.7	-4.7%	-22.3%
France	548.1	464.6	3.9	0.9%	-15.2%
	1251.0	906.6	-4.4	-0.5%	-27.5%
Greece	103.1	95.4	3.7	4.1%	-7.4%
	93.7	63.8	2.6	4.3%	-31.9%
	55.4	60.7	-0.5	-0.9%	9.6%
	517.7	427.7	-4.4	-1.0%	-17.4%
	26.3	11.3	0.0	0.3%	-56.9%
	48.2	20.4	0.2	1.1%	-57.7%
	12.8	10.2	0.2	1.8%	-19.8%
	2.1	2.2	0.3	13.5%	2.3%
	221.7	193.7	-2.1	-1.1%	-12.6%
	474.4	413.8	14.7	3.7%	-12.8%
	59.2	70.7	4.6	7.0%	19.5%
	248.1	113.8	-0.5	-0.4%	-54.1%
	73.4	43.3	1.2	2.8%	-41.0%
	18.6	17.5	-0.2	-1.3%	-6.4%
	288.5	340.2	13.8	4.2%	17.9%
	71.3	52.7	-0.3	-0.5%	-26.1%
United Kingdom	794.4	470.5	-12.8	-2.6%	-40.8%
EU - 28	5653.7	4324.9	19.8	0.5%	-23.5%
Iceland	3.6	4.8	0.1	2.5%	32.1%
United Kingdom (KP)	797.1	473.6	-12.7	-2.6%	-40.6%
EU - 28 + ISL	5660.1	4332.7	19.9	0.5%	-23.5%

Tabella 1: Emissioni di gas a effetto serra in milioni di tonnellate di CO₂ equivalente. Fonte: EEA, *Annual European Union greenhouse gas inventory* 1990–2017 and inventory report 2019. Rielaborazione personale.

	1990	1995	2000	2005	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Austria	79	80	80	93	87	80	85	82	80	80	77	79	80	82
Belgium	147	155	150	145	139	126	133	122	119	119	114	117	116	115
Bulgaria	102	75	60	64	67	58	61	66	61	56	59	62	59	61
Croatia	32	23	26	30	31	28	28	28	26	25	24	24	24	25
Cyprus	5.7	7.1	8.4	9.3	10	9.8	9.5	9.1	8.6	7.8	8.2	8.3	8.7	8.9
Czechia	199	158	150	149	147	138	141	139	135	129	128	129	131	129
Denmark	70	78	71	66	66	63	63	58	53	55	51	48	50	48
Estonia	40	20	17	19	20	17	21	21	20	22	21	18	20	21
Finland	71	72	70	70	71	68	76	68	62	63	59	55	58	55
France	548	543	552	555	526	506	512	486	485	485	455	460	461	465
Germany	1251	1123	1045	993	976	908	943	920	925	942	903	907	911	907
Greece	103	109	126	136	132	125	118	115	112	103	99	95	92	95
Hungary	94	75	73	75	71	65	65	63	60	57	57	61	61	64
Ireland	55	59	68	69	67	62	61	57	58	57	57	59	61	61
Italy	518	532	554	581	548	496	506	492	473	443	426	434	432	428
Latvia	26	13	11	11	12	11	12	12	11	11	11	11	11	11
Lithuania	48	22	20	23	24	20	21	21	21	20	20	20	20	20
Luxembourg	13	10	10	13	12	12	12	12	12	11	11	10	10	10
Malta Netherlands	2 222	2.7 232	2.8 220	2.9 215	3.1 208	2.9 202	2.9 214	3.0 200	3.2 196	2.9 195	2.9 188	2.2 196	1.9 196	2.2 194
Poland	474	445	395	403	411	393	412	411	404	400	387	390	399	414
Portugal	59	69	82	86	76	73	69	68	66	64	64	68	66	71
Romania	248	187	143	151	150	130	124	129	126	116	116	116	114	114
Slovakia	73	53	49	51	50	45	46	46	43	43	41	42	42	43
Slovenia	19	19	19	21	22	20	20	20	19	18	17	17	18	17
Spain	288	329	388	441	411	372	358	357	351	323	326	338	326	340
Sweden	71	73	68	67	63	58	64	60	57	55	54	53	53	53
United Kingdom	794	748	712	691	652	596	610	563	580	566	526	508	483	471
EU - 28	5654	5312	5172	5231	5049	4684	4786	4628	4565	4471	4299	4329	4305	4325
Iceland	3.6	3.4	4.0	3.9	5.2	4.9	4.8	4.6	4.6	4.6	4.6	4.7	4.6	4.8
United Kingdom (KP)	797	750	715	694	655	599	613	566	583	569	529	511	486	474
EU - 28 + ISL	5660	5318	5179	5238	5058	4692	4794	4636	4573	4479	4307	4337	4313	4333

Tabella 2: Panoramica delle emissioni di gas a effetto serra dell'UE-28 (in milioni di tonnellate di CO₂ equivalente) per il periodo 1990-2017. Fonte: EEA, *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2017 and inventory report 2019.* Rielaborazione personale.

Definizione

Con il termine *Embodied Carbon* si intendono le emissioni di gas serra incorporate associate al consumo di energia per la produzione, costruzione, manutenzione, riparazione, sostituzione, ristrutturazione e gestione del fine vita dell'edificio; tuttavia, così come è stato precedentemente detto per l'Embodied Energy, anche definire l'Embodied Carbon in maniera univoca non è così scontato. Le definizioni che si trovano nella letteratura scientifica fanno riferimento a diversi confini di sistema e diversi tipi di emissioni incluse nel calcolo. L'Annex 57 elenca alcuni esempi significativi di definizioni esplicitando i confini del sistema cui ognuna di queste fa riferimento.

Si riporta, in primo luogo, la definizione fornita dalla Quaderno tecnico SIA 2032 nel 2010, che prende come confini del sistema *dalla culla alla tomba*, e prendendo in considerazione tutti i gas responsabili del riscaldamento globale: Le emissioni incorporate di GHG esprimono la quantità cumulativa di gas serra $(CO_2$, metano, protossido di azoto e altri gas responsabili del riscaldamento globale), prodotti durante tutti i processi a monte dall'estrazione delle materie prime alla produzione, costruzione e smaltimento, compreso il trasporto necessario. Questo parametro è espresso come CO_2 equivalente che ha lo stesso effetto serra della somma delle emissioni di GHG.

Per Knight e Addis (2011)⁷⁰, invece, i confini del sistema sono *dalla culla al sito* e non si parla di Embodied Carbon in quanto emissioni da gas serra, ma si tiene conto delle sole emissioni di *anidride carbonica*, in quanto uno dei maggiori responsabili del surriscaldamento globale fra tutti i gas serra:

L'anidride carbonica incorporata "è una misura delle emissioni di anidride carbonica derivanti dall'energia utilizzata per estrarre materie prime, fabbricare componenti e assemblarle in un edificio, cioè dalla culla al sito".

Altre due definizioni che utilizzano come confini di sistema dalla culla alla tomba si ritrovano in Monahan e Powell (2011) e in Anderson (2012):

Il carbonio incorporato consiste nelle "emissioni di CO₂ prodotte durante l'estrazione di

70 KNIGHT D., ADDIS B., *Embodied carbon dioxide as a design tool* — a case study. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering* (Vol. 164, No. 4, pp. 171-176), Thomas Telford Ltd, 2011.

71 MONAHAN J., POWELL J. C., An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework, in Energy and Buildings, 2011.

72 ANDERSON J., CIRIA Carbon leader briefings - Materials, products and carbon, Construction Industry Research and Information Association, 2012.

73 ROYAL INSTITUTION OF CHARTERED SURVEYORS (RICS), Methodology to calculate embodied carbon of materials, London, 2012.

risorse, il trasporto, la fabbricazione, l'assemblaggio, lo smontaggio e lo smaltimento a fine vita di un prodotto. Nell'edilizia la maggior parte della ${\rm CO_2}$ viene prodotta dalla combustione di combustibili fossili. Quantità significative di ${\rm CO_2}$ vengono inoltre rilasciate attraverso processi di conversione chimica durante la produzione di cemento. Il carbonio incorporato è dato in kg o tonnellate di ${\rm CO_2}^{\circ}$.

Il carbonio incorporato è costituito dalle emissioni di biossido di carbonio (CO_2) o di gas a effetto serra (GHG) associate alla fabbricazione e all'uso di un prodotto o servizio. Per i prodotti da costruzione ci si riferisce alle emissioni di CO_2 o GHG associate all'estrazione, produzione, trasporto, installazione, manutenzione e smaltimento di materiali e prodotti da costruzione.

In ultimo, la *Royal Institution of Chartered Surveyors* (RICS) nel 2012⁷³ fornisce una definizione di Embodied Carbon adattabile a tutti i confini del sistema

Il carbonio incorporato è rappresentato dalle "emissioni di carbonio associate al consumo di energia (energia incorporata) e ai processi chimici durante l'estrazione, produzione, trasporto, assemblaggio, sostituzione e decostruzione di materiali o prodotti da costruzione. Il carbonio incorporato può essere misurato dalla culla al cancello, dalla culla al sito, dalla culla alla fine della costruzione, dalla culla alla tomba o persino dalla culla alla culla. Generalmente si trovano dati di carbonio incorporato per confini dalla culla al cancello. Il carbonio incorporato è solitamente espresso in chilogrammi di CO2eq per chilogrammo di prodotto o materiale".

Metodo di calcolo

GAS INCLUSI NEL CALCOLO

Quando si parla di Embodied Carbon, la parola *carbon* può essere intesa in diversi modi: essa può identificare la sola anidride carbonica (CO_2) , oppure i sei principali gas identificati nel Protocollo di Kyoto come principali responsabili del riscaldamento globale, ovvero biossido di carbonio (CO_2) responsabile del 60% dell'effetto serra), metano (CH_4) responsabile del 20% dell'effetto serra), protossido di azoto (N_2O) , idrocarburi fluorati e perfluorati (HFC) esafluoruro di zolfo (SF_6) , i numerosi gas serra specificati nel quinto report dell'IPCC del 2013; i numerosi gas serra specificati nel quinto report dell'IPCC

del 2013 inclusi i gas fluorati (F-gas) regolati dal Protocollo di Montreal (Annex 57, 2018).

Le emissioni di gas vengono generalmente riportate tenendo conto degli impatti del gas sul riscaldamento globale sulla base del loro Global Warming Potential (GWP), ovvero del potenziale di riscaldamento globale che esprime il contributo all'effetto serra di un gas in rapporto all'effetto dovuto alla CO, per uno specifico intervallo di tempo (in genere 20, 100 o 500 anni). Sono diverse le categorie di emissioni che concorrono alla formazione dell'effetto serra di origine antropogenica; tuttavia si è deciso di raggruppare le diverse categorie di emissione in un unico indicatore, il biossido di carbonio o anidride carbonica equivalente. La CO, infatti costituisce la causa principale della formazione dell'effetto serra, poiché è quello maggiormente rilasciato dai processi delle attività antropiche. Pertanto, l'effetto serra equivalente è espresso in unità di chilogrammi di carbonio equivalente (kgCO₂eq) e ad ogni gas identificato come responsabile dell'effetto serra è attribuito un fattore di conversione (vedi Tab.3) calcolato in funzione della persistenza delle emissioni in atmosfera (il periodo più comunemente considerato è di 100 anni). Siccome le molecole di gas hanno differenti periodi di persistenza in atmosfera, il GWP20 o il GWP500 (Global Warming Potential considerato per 20 anni o per 500 anni di persistenza) di un gas è diverso dal GWP100, fatta eccezione per il gas di riferimento CO2 cui viene sempre attribuito il valore 1.

	Formula chimica	Valori GWP per un orizzonte temporale di 100 anni					
Denominazione industriale o nome comune		Secondo Assessment Report (1995)	Quarto Assessment Report (2007)	Quinto Assessment Report (2014)			
Biossido di carbonio	CO ₂	1	1	1			
Metano	CH ₂	21	25	28			
Protossido di azoto	N ₂ 0	310	298	265			
Perfluorometano (PFC-14)	CF ₄	6.500	7.390	6.630			
Perfluoroetano (PFC-116)	C_2F_6	9.200	12.200	11.100			

Tabella 3: Valori di Global Warming Potential (GWP) relativi alla CO₂ per la valutazione della persistenza delle emissioni in atmosfera 100 anni. Fonte dati: IPCC, *Global Warming Potential values*, in Fifth Assessment Report, 2014.

FONTI DI EMISSIONI

La maggior parte delle emissioni di GHG associate ai prodotti da costruzione derivano direttamente dall'uso di energia (Annex 57), per esempio dalla combustione di combustibili fossili nelle centrali elettriche: queste sono emissioni legate al carburante. Ma esistono anche emissioni non legate al consumo di carburanti, che possono derivare da processi produttivi dei materiali da costruzione o, durante la fase d'uso dell'edificio, dalla fuoriuscita dei gas fluorurati (alocarburi e SF_6), detti anche "refrigeranti", che vengono impiegati in apparecchiature di refrigerazione e condizionamento dell'aria.

CARBONIO SEQUESTRATO

Nel conteggio dell'Embodied Carbon riveste un ruolo importante la questione del sequestro di carbonio: infatti, i materiali a base di biomassa come il legno durante la loro crescita assorbono il carbonio, pertanto, nei materiali e componenti a base legno il carbonio diventa una parte fisica del prodotto, incorporata al loro interno fino al momento della demolizione dell'edificio e/o dell'incenerimento della biomassa che provoca il rilascio del carbonio assorbito. In questo caso si parla di carbonio sequestrato o immagazzinato. La questione del carbonio immagazzinato è una delle principali argomentazioni a favore dell'utilizzo di materiali naturali rispetto a materiali artificiali.

Un prodotto naturale nel calcolo delle emissioni di ${\rm CO_2}$ durante il suo ciclo di vita può essere considerato in due modi: in un caso il valore legato al carbonio immagazzinato può essere considerato, nel bilancio delle emissioni, con segno negativo, in quanto il fatto di tenere una quantità di carbonio "chiusa" temporaneamente in un prodotto fino al suo smaltimento viene considerato come un vantaggio ambientale; in un altro caso invece tale prodotto può essere considerato *carbon neutral*, poiché esso nel suo ciclo di vita potrà emettere solo la quantità di carbonio originariamente assorbita dall'atmosfera.

Non esiste un approccio comune ed esistono sono giustificazioni dietro entrambi questi diversi approcci. Alcuni escludono gli effetti dello stoccaggio del carbonio dei prodotti in legno, mentre altri decidono di includerli. Pertanto, questa parte della metodologia dà origine a grandi variazioni nei risultati finali degli studi sull'impronta di carbonio (Jones, 2011). Lo stoccaggio del carbonio dovrebbe essere integrato in uno studio, in particolare per confini di sistema *dalla culla al cancello*, solo quando vengono fatte ipotesi appropriate di fine vita del prodotto in analisi. Pertanto, il conteggio dello stoccaggio del carbonio dovrebbe essere incluso solo nel caso di valutazioni condotte *dalla culla alla tomba*⁷⁴.

Sistemi di compensazione

Un altro approccio che si sta diffondendo nell'ambito delle iniziative sul controllo degli impatti ambientali è quello legato alla compensazione (sempre volontaria) delle emissioni di ${\rm CO}_2$ attraverso interventi di forestazione o sviluppo di progetti ad alta efficienza energetica o utilizzo di fonti rinnovabili che evitino di produrre ${\rm CO}_2$. Alcuni studi, infatti, dimostrano che la riforestazione potrebbe essere lo strumento più efficace ed economico contro il riscaldamento globale⁷⁵: se il mondo intero si organizzasse per piantare alberi in tutti i terreni disponibili (fatta eccezione per fattorie o aree urbane), i nuovi alberi potrebbero catturare i due terzi di tutte le emissioni di carbonio legate all'uomo. Secondo i calcoli, sono disponibili 1,7 miliardi di ettari di terreno che potrebbero supportare 1,2 trilioni di alberi aggiuntivi. Questa area equivale all'11 percento della superficie terrestre totale della Terra, o secondo The Guardian, "equivalente alla dimensione degli Stati Uniti e della Cina messi insieme".

Questi progetti, opportunamente realizzati e certificati, generano crediti di emissione che vengono venduti sul mercato volontario. Chi vuole compensare le emissioni, può acquistare questi crediti e in tal modo co-finanziare gli interventi con la garanzia che ogni credito acquistato corrisponda a una tonnellata assorbita o evitata. ⁷⁶

Attualmente, la pratica della riforestazione viene attuata nei più disparati contesti: per esempio le Filippine hanno emesso una nuova legge che imporrà a tutti gli studenti delle scuole superiori e agli universitari di piantare 10 alberi per conseguire il titolo⁷⁷.

74 JONES C. I., Life cycle energy consumption and environmental burdens associated with energy technologies and buildings, PhD Thesis, University of Bath, 2011.

75 https://inhabitat.com/scientists-confirm-tree-planting-is-our-best-solution-to-climate-change/?fbclid=lwAR2g-gLooAWhRC4Wemkw7i_IVILo-ah890tPwulP-JsF_gG3LBpb1Ax-ILMWMU

76 www.azzeroco2.it/forestazione

77 https://interestingengineering.com/filipino-students-will-now-have-to-plant-10-trees-to-graduate

78 Gary Alejano rappresentante del Partito Magdalo e autore principale del regolamento in una dichiarazione nella nota esplicativa del regolamento.

79 https://www.lifegate.it/persone/news/etiopia-piantati-350-milioni-di-alberi-un-giorno-contro-la-crisi-climatica

80 https://www.flixbus.it/azienda/sostenibilita

81 http://www.greenews.info/ pratiche/compensazione-co2-strumento-etico-e-di-marketing-per-le-pmi-20110825/ Questa iniziativa, se attuata correttamente, assicurerà che ogni anno vengano piantati almeno 175 milioni di nuovi alberi. Nel corso di una generazione potranno essere piantati non meno di 525 miliardi. Anche con un tasso di sopravvivenza del 10%, ciò comporterebbe una disponibilità ulteriore di 525 milioni di alberi in più quando i giovani assumeranno il ruolo di leadership in futuro⁷⁸

Un altro esempio virtuoso di nazione che ha avviato un'ampia campagna di riforestazione è quello dell'Etiopia che, all'interno dell'iniziativa #GreenLegacy si pone l'obiettivo di piantare entro ottobre quattro miliardi di alberi (di cui nel luglio 2019 ne sono già stati piantati oltre 350 milioni)⁷⁹.

Anche alcune compagnie di trasporto hanno avviato progetti per la tutela ambientale e la compensazione della CO₂: per esempio, FlixBus®, oltre ad utilizzare mezzi efficienti in termini di consumo di carburante e a basse emissioni di gas effetto serra, al momento della prenotazione dà la possibilità ad ogni utente di versare un contributo volontario, calcolato in base alla distanza che dovrà percorrere, per finanziare un progetto di compensazione in collaborazione con *atmosfair* per la distribuzione in Ruanda di forni per la cottura che consumano circa l'80% di legna in meno rispetto a quelli tradizionali⁸⁰.

In accordo con quanto dichiarato dal Protocollo di Kyoto, il quale individua l'assorbimento da parte delle foreste di gas serra quale strategia utile per il contrasto al cambiamento climatico, questo atteggiamento di compensazione volontaria è stato utilizzato dalla comunità internazionale per creare un vero e proprio mercato volontario di scambio e acquisto di certificati e crediti (VER – *Verified Emission Reduction*). Questi crediti vengono generati da progetti di riduzione delle emissioni di gas serra in paesi terzi e sono caratterizzati da un elevato valore ambientale e sociale⁸¹. Diversi enti e associazioni hanno adottato questa pratica e hanno sviluppato strumenti di certificazione che rilasciano un marchio che attesta il raggiungimento degli obiettivi di emissioni zero. Lo *U.S. Department of Energy – Energy Information Administration* ha sviluppato un utile strumento per la quantificazione del sequestro del carbonio per mezzo della piantumazione di alberi, attraverso una metodologia semplificata basata sulla tipologia di pianta, l'anno in cui l'albero viene piantato e la sua età al momento

della piantumazione⁸².

Un altro esempio di applicazione della compensazione volontaria di emissioni di CO_2 è quello promosso da *Rete Clima* denominato Emissioni CO_2 zero®: Rete Clima è un ente non profit, che promuove azioni di responsabilità sociale e di sostenibilità nel settore privato e degli appalti pubblici attraverso economia circolare, appalti verdi, contrasto al cambiamento climatico (mediante carbon footprint, riduzione e compensazione forestale nazionale di CO_2). Il programma di Rete Clima "prevede una fase di valutazione dei GHG ed una conseguente selezione delle strategie di gestione, strutturate lungo una prima fase di riduzione e successiva compensazione delle emissioni serra residue"83. Il percorso di decarbonizzazione segue la struttura seguente:

- quantificazione e valutazione della Carbon footprint;
- riduzione dell'impronta tramite strategie di controllo delle emissioni di CO₂;
- compensazione dell'impronta realizzando forestazione urbana nazionale, vicina alla sorgente d'emissione: vengono piantati alberi in Italia per la rinaturalizzazione del territorio e per la compensazione di CO₂, per ottenere effetti climatici locali e globali positivi. Il calcolo della quantità di carbonio assorbito viene effettuato tramite una metodologia sviluppata dall'IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change collegate all'attuazione del Protocollo di Kyoto, adattata presso l'Università degli Studi di Milano e validata da RINA, con possibile generazione di crediti di carbonio (carbon credits).

al termine del processo, viene fornita la documentazione riguardo gli obiettivi raggiunti circa la neutralizzazione delle emissioni effettuata.

Questi crediti di emissioni certificate generati tramite progetti ad alta efficienza energetica o azioni di riforestazione possono essere scambiati, venduti e utilizzati dai paesi industrializzati per raggiungere parte dei loro obiettivi di riduzione delle emissioni nell'ambito del Protocollo di Kyoto.

Tuttavia, nonostante la buona volontà di questo sistema di compensazione di emissioni di CO₂, definito *Clean Developement Mechanism*, uno studio condotto dall'Öko-Institut⁸⁴ e pubblicato sul sito della Commissione Europea mostra

82 Energy Information Administration - EIA, Voluntary Reporting of Greenhouse Gases. Method for Calculating Carbon Sequestration by Trees in Urban and Suburban Settings, 1998.

83 www.reteclima.it

84 ÖKO-INSTITUT, How additional is the Clean Development Mechanism? Analysis of the application of current tools and proposed alternatives, Berlin, 2016.

i principali difetti di detto sistema, "che permette alle imprese e alle nazioni industrializzate di realizzare progetti di riduzione della ${\rm CO_2}$ nei paesi in via di sviluppo, senza vincoli di emissione"85.:

85 www.rinnovabili.it/ambiente/crediti-carbonio-emissioni-333/

La ricerca valuta come improbabile il contributo alla riduzione dei gas serra per l'85% dei progetti analizzati e il 73% della potenziale offerta di crediti previsti dal Clean Developement Mechanism nel periodo 2013-2020.

Gli attivisti del *Carbon Market Watch* chiedono che questo strumento finanziario venga escluso dalle politiche climatiche, in quanto identificato come uno strumento che permette alle industrie più distanti dagli impegni climatici di continuare a inquinare fingendo di non farlo.

Tuttavia, i vantaggi apportati da un metodo di compensazione di questo tipo restano innegabili, pertanto una eliminazione totale di questo strumento non sembra essere la soluzione al problema. L'approccio di accreditamento dovrebbe essere limitato nel tempo e a contesti specifici; questo meccanismo può servire da trampolino di lancio per altre politiche più efficienti, per ottenere una mitigazione efficace dal punto di vista dei costi e a sostegno dei Paesi in via di sviluppo (ÖKO-INSTITUT, 2016).

Intergovernmental Panel on Climate Change Fifth Assessment Report. Technical Summary, 2015

L'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) è un organismo internazionale che si occupa di valutare la questione dei cambiamenti climatici. È stato istituito nel 1988 dalla World Meteorological Organization (WMO) e dallo United Nations Environment Programme (UNEP). È composto da ricercatori provenienti da tutto il mondo (attualmente ne fanno parte 195 paesi), che contribuiscono in maniera volontaria.

L'IPCC elabora periodicamente i cosiddetti *Assessment Report*, ossia dei Rapporti di valutazione scientifica sullo stato delle conoscenze nel campo del clima e dei cambiamenti climatici. Vengono redatti anche Rapporti Speciali (*Special Reports*) e Articoli Tecnici (*Technical Papers*), fornendo supporto scientifico alla Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (*United Nations Framework Convention on Climate Change* — UNFCCC).

Il team di autori che si occupa della produzione dei rapporti è suddiviso in 3 gruppi di lavoro, una task force ed un task group:

- Gruppo di lavoro I (WGI): aspetti scientifici;
- Gruppo di lavoro II (WGII): impatti, vulnerabilità dei sistemi naturali e socioeconomici e opzioni di adattamento;
- Gruppo di lavoro III (WGIII): opzioni di mitigazione dei cambiamenti climatici (limitazione, contrasto e riduzione dei gas a effetto serra in atmosfera);
- Task Force sugli Inventari Nazionali dei gas a effetto serra (TFI);
- Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Analysis (TGIC); si occupa della distribuzione e applicazione di dati e scenari relativi

86 Per impatti si intendono gli "effetti del cambiamento climatico su sistemi umani e naturali. Gli impatti possono avere esiti positivi o negativi per il sostentamento, la salute e il benessere, gli ecosistemi e le specie, i servizi, le infrastrutture e le risorse economiche, sociali e culturali"

87 Il report dell'IPCC definisce il Riscaldamento Globale come "l'aumento stimato di temperatura media globale superficiale in un periodo di 30 anni, o il periodo di 30 anni centrato in un particolare anno o decade, espresso relativamente ai livelli preindustriali se non diversamente specificato. Per periodi di 30 anni che coprono anni passati e futuri, si presume che l'attuale tendenza al riscaldamento multi-decennale continui".

ai cambiamenti climatici, per rendere possibile le attività di ricerca e la condivisione di informazioni tra i tre *working group* dell'IPCC.

Dal 1990 ad oggi sono stati pubblicati cinque Rapporti di valutazione (1990, 1995, 2001, 2007, 2014). È attualmente in fase di elaborazione il sesto rapporto, la cui conclusione è prevista per l'anno 2021. Nel 2016 l'IPCC risponde all'invito, contenuto nella decisione della Ventunesima Conferenza delle Parti della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici per adottare l'accordo di Parigi (COP21), a produrre uno *Special Report*: pubblicato nel 2018, il report fa un'analisi degli impatti⁸⁶ del riscaldamento globale⁸⁷ di 1.5°C rispetto ai livelli preindustriali e le relative emissioni di gas serra. In particolare, vengono analizzate e messe a confronto le previsioni di impatto ambientale nel caso in cui si mantenga l'aumento di temperatura ad 1.5°C da una parte, e quelli relativi ad un aumento di 2°C (quindi di ulteriori 0.5°C) da qui al 2100, sottolineando quanto i secondi siano nettamente più devastanti. L'obiettivo messo in luce dal report, ambizioso ma non impossibile, è quindi quello di mantenere il riscaldamento globale a 1.5°C, attuando azioni che portino gradualmente ad un'economia a zero carbonio in tutti i settori.

Report 2018 – Global warming of 1.5 °C

A. Comprensione del surriscaldamento globale di 1.5 °C

In questa prima parte viene analizzato lo stato dell'aumento di temperatura. Si stima che l'attività umana abbia causato approssimativamente l'aumento di 1° C della temperatura terrestre rispetto ai livelli preindustriali ($0.8-1.2^{\circ}$ C). Se continua ad aumentare con il ritmo corrente, il riscaldamento globale può raggiungere 1.5° C tra il 2030 e il 2052. Le emissioni antropogeniche possono persistere in atmosfera per secoli o millenni e continueranno ad avere effetti a lungo termine, come l'aumento del livello dei mari, con gli impatti associati, ma è improbabile che queste emissioni da sole causino il surriscaldamento di 1.5° C. Mantenere le attuali emissioni antropogeniche di CO_2 fermerebbe il surriscaldamento globale antropogenico ad una scala multi-decennale. Si

prevedono rischi elevati se la temperatura aumenta di 1.5°C rispetto al presente, che sarebbero anche maggiori con un aumento di 2°C. Soprattutto sarebbero più alti se la temperatura superasse 1.5°C per poi ritornare al livello precedente entro il 2100, rispetto ad una situazione in cui si stabilizzasse gradualmente ad 1.5°C.

B. Cambiamenti climatici previsti, potenziali impatti e rischi associati

In guesta parte vengono analizzati più nel dettaglio i possibili rischi legati all'aumento di temperatura. Inoltre, vengono messi a confronto gli effetti prodotti sull'ecosistema da un aumento di 1.5°C rispetto all'aumento di 2°C. Le previsioni dei modelli climatici evidenziano forti differenze nel caso in cui si abbia un aumento di 1.5°C rispetto al presente piuttosto che l'aumento da 1.5°C a 2°C. Queste differenze includono: aumento di temperature medie su molte terre e oceani, caldi estremi in molte aree abitate, forti precipitazioni in alcune regioni e siccità e mancanza di precipitazioni in altre. Entro il 2100, l'innalzamento del livello del mare sarebbe più basso di 10 cm con un riscaldamento globale di 1,5°C rispetto ai 2°C. Il livello del mare continuerà ad aumentare ben oltre il 2100 e l'entità e il ritmo di questo aumento dipendono dai futuri percorsi di emissione⁸⁸. Un ritmo più lento di innalzamento del livello del mare consente maggiori opportunità di adattamento sia per i sistemi umani che ecologici, permettendo il popolamento di piccole isole, delle zone costiere basse e dei delta. Con un riscaldamento globale di 1,5°C, la probabilità che il Mar Glaciale Artico rimanga senza ghiaccio marino in estate sarebbe una in un secolo, mentre con un riscaldamento globale di 2°C sarebbe di almeno una ogni decennio. Le barriere coralline diminuirebbero del 70-90% con un riscaldamento globale di 1,5°C, mentre con 2°C andrebbero perdute praticamente tutte (>99%). Vengono confrontati anche gli effetti sulla terra, gli impatti sulla biodiversità e sugli ecosistemi: anche in questo caso i rischi sono inferiori nel caso di aumento di temperatura di 1.5°C piuttosto che di 2°C. Limitare il surriscaldamento riduce gli impatti sugli ecosistemi terrestri, d'acqua dolce e costieri e manterrà più servizi per gli uomini. Nel caso del suolo, le aree di territorio a rischio sarebbero il 50% in meno con un surriscaldamento

88 In questa sintesi per i responsabili politici, le traiettorie modellate delle emissioni antropogeniche globali lungo il ventunesimo secolo sono chiamate percorsi di emissione. Le vie di emissione sono classificate in base alla loro traiettoria di temperatura nel ventunesimo secolo: i percorsi che danno almeno il 50% di probabilità sulla base delle attuali conoscenze di limitazione del riscaldamento globale a meno di 1,5°C sono classificati come "nessun superamento" (no overshoot); quelli che limitano il riscaldamento a valori inferiori a 1,6°C e ritornano a 1.5°C entro il 2100 sono classificati come "superamento limitato a 1,5°C"; mentre quelli che superano 1,6°C, ma tornano ancora a 1,5 °C entro il 2100 sono classificati come "alto superamento".

di 1.5°C rispetto a 2°C. Limitando il riscaldamento globale a 1,5°C anziché a 2°C si prevede di prevenire lo scongelamento per secoli di un'area permafrost nell'intervallo da 1,5 a 2,5 milioni di km². Il livello di acidificazione degli oceani dovuto all'aumento delle concentrazioni di CO₂ associato al surriscaldamento di 1.5°C amplificherà gli effetti del riscaldamento, e ancora di più a 2°C, impattando sulla crescita, sviluppo, calcificazione, sopravvivenza e persino quantità di una buona parte di specie, per esempio alghe e pesci. Rischi per la salute, i mezzi di sussistenza, la sicurezza alimentare, l'approvvigionamento idrico, la sicurezza umana e la crescita economica aumenterebbero con il riscaldamento globale di 1,5°C e aumenterebbero ulteriormente con i 2°C.

C. Percorsi di emissione e transizioni di sistema coerenti con il riscaldamento globale di 1,5°C

In questa terza parte vengono descritti i percorsi di emissioni e vengono analizzate le possibili alternative per effettuare un cambio di rotta che mantenga il riscaldamento globale al di sotto di 1,5°C. Per mantenere un riscaldamento inferiore a 1.5°C, le emissioni antropogeniche nette globali di $\mathrm{CO_2}$ devono diminuire di circa il 45% entro il 2030 rispetto ai livelli del 2010, raggiungendo il punto zero intorno al 2050. Per limitare il riscaldamento globale a meno di 2°C le emissioni di $\mathrm{CO_2}$ dovrebbero diminuire di circa il 20% entro il 2030 e raggiungere il livello zero intorno al 2075. Diverse sono le misure di mitigazione che possono permettere di limitare il riscaldamento globale ad 1,5°C: riduzione del consumo di energia e di risorse, tasso di decarbonizzazione e rimozione di anidride carbonica. Inoltre, è necessaria una forte riduzione di emissioni di metano e carbone. Questi percorsi riducono anche la maggior parte degli aerosol di raffreddamento, che compensano parzialmente gli effetti di mitigazione per due o tre decenni.

Limitare il riscaldamento globale a 1.5°C richiede una transizione rapida e di vasta portata in campo energetico, territoriale, urbano e infrastrutturale (inclusi trasporto e costruzioni) e nei sistemi industriali. Queste transizioni sono straordinarie in termini di scala ma non necessariamente in termini di velocità,

e implicano forti riduzioni di emissioni in tutti gli ambiti, la ricerca di diverse soluzioni di mitigazione e ingenti investimenti. Riduzioni di emissioni di CO₂ in ambito industriale possono essere raggiunte attraverso combinazioni di tecnologie nuove ed esistenti, tra cui elettrificazione, idrogeno, materie prime biologiche sostenibili e cattura, riutilizzo e stoccaggio del carbonio. L'impiego di queste alternative a vasta scala può essere limitato da vincoli economici, finanziari, di capacità umana e istituzionali. Nell'industria, le riduzioni delle emissioni per l'energia e l'efficienza del processo di per sé non sono sufficienti per limitare il riscaldamento a 1.5°C. Una consistente transizione del sistema urbano e infrastrutturale implicherebbe cambiamenti nelle pratiche di pianificazione urbana e del territorio come forti riduzioni di emissioni nel trasporto e nell'edilizia. Barriere economiche, istituzionali e socioculturali possono inibire queste transizioni di sistemi urbani e infrastrutturali, a seconda delle circostanze nazionali, regionali e locali, delle capacità e della disponibilità di capitale.

Le opzioni di mitigazione che limitano la domanda di terreni includono l'intensificazione sostenibile delle pratiche di utilizzo del territorio, il ripristino degli ecosistemi e le modifiche alle diete a minor consumo di risorse. L'implementazione di opzioni di mitigazione basate sul territorio richiederebbe il superamento delle barriere socioeconomiche, istituzionali, tecnologiche, finanziarie e ambientali che differiscono tra le regioni.

Un'azione fondamentale per limitare il riscaldamento a 1.5 °C è la rimozione di CO_2 (CDR – *Carbon Dioxide Removal*)⁸⁹ che deve risultare di portata pari a 100-1000 $GtCO_2$ nel corso del ventunesimo secolo. Questa azione deve essere utilizzata per compensare le emissioni residue e, in molti casi, deve permettere di raggiungere emissioni nette negative per riportare il riscaldamento globale a 1.5°C in seguito ad un picco. Metodi di CDR includono imboschimento e rimboschimento, ripristino della terra e sequestro del carbonio nel suolo, bioenergia con sottrazione e accumulo di carbonio (BECCS – *Bioenergy with Carbon Capture and Storage*), sottrazione e accumulo diretto di carbonio dall'aria, agenti atmosferici avanzati e alcalinizzazione degli oceani.

Molte delle misure attuali e potenziali di CDR potrebbero avere impatti

89 La Rimozione di CO₂ viene definita nel Report dell'IPCC come "attività antropogeniche che permettono di rimuovere CO₂ dall'atmosfera e di immagazzinarla durevolmente in riserve geologiche, terrestri o oceaniche, o nei prodotti. Include l'aumento antropogenico esistente e potenziale di pozzi biologici o geochimici e la cattura e lo stoccaggio dell'aria diretta, ma esclude l'assorbimento naturale di CO₂ non direttamente causato dall'attività umana.

significativi su terra, energia, acqua o nutrienti se messi in atto a larga scala. Imboschimento e bioenergia potrebbero contrastare con altri usi del territorio e avere impatti significativi su sistemi agricoli e alimentari, biodiversità e altre funzioni e servizi dell'ecosistema. La fattibilità e sostenibilità della rimozione di CO₂ (CDR) potrebbe essere migliorata da un insieme di numerose azioni messe in atto alla piccola scala, piuttosto che una singola azione a larga scala.

Alcune misure di CDR legate all'agricoltura, silvicoltura e uso del suolo come il ripristino di ecosistemi naturali e sequestro di carbonio nel suolo potrebbero comportare dei benefici associati come l'aumento di biodiversità, qualità de suolo e la sicurezza alimentare locale. Se messi in atto a larga scala, questi richiederebbero un sistema di governo che permetta la gestione sostenibile del territorio, per conservare e proteggere riserve di carbonio e altre funzioni e servizi dell'ecosistema.

D. RAFFORZAMENTO DELLA RISPOSTA GLOBALE NEL CONTESTO DELLO SVILUPPO SOSTENIBILE E SFORZI PER ELIMINARE LA POVERTÀ.

Mantenere il riscaldamento al di sotto di 1.5°C comporterebbe maggiori impatti evitati legati ai cambiamenti climatici, maggiori risultati riguardo l'eliminazione della povertà e la diminuzione delle disuguaglianze. Gli impatti e le risposte ai cambiamenti climatici sono strettamente collegati allo sviluppo sostenibile che equilibra il benessere sociale, la prosperità economica e la protezione dell'ambiente. Gli obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite, adottati nel 2015, forniscono un quadro consolidato per la valutazione dei collegamenti tra riscaldamento globale di 1,5°C o 2°C e obiettivi di sviluppo che includono l'eliminazione della povertà, la riduzione delle disuguaglianze e l'azione per il clima. Limitare i rischi del riscaldamento globale di 1,5°C nel contesto dello sviluppo sostenibile e dell'eradicazione della povertà implica transizioni di sistema che possono essere messe in atto da un aumento degli investimenti di adattamento e mitigazione, strumenti politici, accelerazione dell'innovazione tecnologica e cambiamenti di comportamento.

EURECA

modello di analisi parametrica per la valutazione del ciclo di vita dell'edificio



Metodologia di valutazione

Lo strumento di calcolo EURECA - Eco Utility for Reduction of Energy and CArbon, attraverso l'implementazione del precedente

IREEA — *Initial and Recurring Embodied Energy Assessment*, utilizza una metodologia sviluppata su linee guida di riferimento e normative nazionali ed europee, definendo in questo modo uno strumento in grado di restituire il calcolo dei valori di Embodied Energy ed Embodied Carbon per tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio.

L'implementazione del software non apporta cambiamenti alle modalità di calcolo adottate in IREEA, ma aumenta le potenzialità del foglio di calcolo aggiungendo alcune funzioni di seguito descritte.

Fase di produzione fuori opera

EMBODIED ENERGY INIZIAI E E PERIODICA

Nonostante la metodologia di valutazione di queste fasi del ciclo di vita non sia stata sviluppata dal presente gruppo di ricerca, per completezza di informazione si è scelto di riportare in questa sede la metodologia di calcolo di tali fasi del ciclo di vita dell'edificio, rimandando, per approfondimenti, alla tesi di Laurea Magistrale in cui essa è stata esposta⁹⁰.

In riferimento alla suddivisione del ciclo di vita in *fasi* previsto dalla norma UNI EN 15978: 2011, con *Embodied Energy iniziale* si intende in questa sede il fabbisogno di energia primaria che è connesso alle fasi di *Prodotto* (A1-A3) e del *Processo di costruzione* (A4-A5). Senza entrare nel merito specifico dei processi che vengono inclusi o esclusi nel calcolo, si può dire che la fase di prodotto comprenda i processi che si trovano all'interno dei confini di sistema *cradle to gate*⁹¹:

- A1: estrazione delle materie prime
- A2: trasporto delle risorse dal luogo di estrazione al sito produttivo

90 DEMARIA E., DUZEL A., *Embodied Energy versus Operational Energy in un caso studio "Nearly Zero Energy Building"*, tesi di laurea magistrale rel. Giordano R., Serra V., architettura per il progetto sostenibile, Politecnico di Torino, 2016.

91 Per approfondimenti si rimanda al capitolo della presente tesi *Indicatori di impatto*.

 A3: Trasformazione delle risorse, primarie e secondarie, in prodotti finiti e relativo imballaggio

La fase di processo invece comprende i processi all'interno dei confini di sistema *from gate to end of construction*⁹²:

- A4: trasporto dei prodotti finiti dal sito produttivo al sito di progetto
- A5: Produzione in opera del manufatto edilizio, compresa movimentazione di terra e costruzione delle opere edilizie.

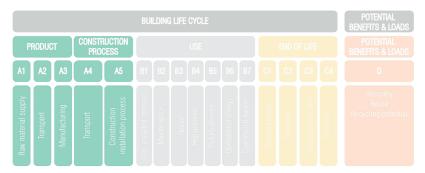


Figura 8 – Moduli inclusi nel calcolo dell'EE/EC periodica

Gli impatti ambientali relativi a queste fasi del ciclo di vita dell'edificio possono essere stimati attraverso sistemi di certificazione e dichiarazione, con i quali l'azienda sceglie di quantificare e di comunicare le prestazioni energetico-ambientali di un prodotto. Tali dichiarazioni, ad oggi ancora volontarie, rientrano nella tipologia di etichette ecologiche di *Tipo III*⁹³, l'esempio più noto delle quali è quello della *Dichiarazione Ambientale di Prodotto*, meglio nota come Environmental Product Declaration (EPD).

92 idem

93 Le dichiarazioni ambientali di Tipo III presentano informazioni ambientali quantificate sul ciclo di vita di un prodotto per consentire confronti tra prodotti che soddisfano una medesima funzione (UNI EN ISO 14025:2010). Non sottendono ad una scala di valutazione e non prevedono il superamento di una soglia minima di accettabilità.

EPD Environmental Product Declaration

L'Environmental Product Declaration, o International EPD® System è uno standard di certificazione volontaria di valenza internazionale, sviluppato in Svezia dallo Swedish Environmental Management Council (SEMC). Il sistema consente l'identificazione, la mappatura e l'analisi di tutti gli impatti ambientali di un prodotto o servizio e la loro comunicazione oggettiva e confrontabile in accordo con lo standard internazionale UNI EN ISO 14025:2010; è applicabile a tutti i prodotti o servizi indipendentemente dal loro uso o posizione nella catena produttiva e viene sviluppata utilizzando la Valutazione del Ciclo di Vita (LCA). Il sistema è verificato da un ente parte terza.

Gli impatti ambientali che vengono presi in considerazione in una dichiarazione di Tipo III sono i seguenti:

cambiamenti climatici [kgCO₂eq]
assottigliamento dello strato di ozono stratosferico [kg CFC-11eq]
acidificazione del terreno e delle falde acquifere [kg SO₂eq]
eutrofizzazione [kg PO₄eq]
formazione di ossidanti fotochimici [kgC₂H₄eq]
esaurimento di risorse di energia fossili [MJ]
esaurimento delle risorse minerali

L'EPD® non impone valori limite o criteri da rispettare, ma fornisce dei valori di impatto per *unità funzionale*⁹⁴ di prodotto (solitamente misurata in chilogrammi o in tonnellate), in ogni fase del ciclo di vita. Rispetto ai confini di sistema nelle dichiarazioni ambientali di Tipo III devono essere inclusi tutti gli aspetti ambientali pertinenti del prodotto nel corso del suo intero ciclo di vita; se gli

94 Per unità funzionale si intende un'unità di riferimento attraverso cui quantificare il rendimento in termini di *Life Cycle Assessment* di un sistema produttivo (Giordano R.).

95 UNI EN ISO 14025 Dichiarazioni ambientali di Tipo III. Principi e procedure, 2010.

aspetti considerati come pertinenti non trattano tutte le fasi del ciclo di vita, allora questa condizione deve essere dichiarata e giustificata⁹⁵.

Per ottenere l'EPD è necessario definire le *Product Category Rules* (PCR), disporre di uno studio LCA e infine redigere la dichiarazione EPD. Le PCR o regole della categoria di prodotto sono una serie di regole, requisiti e linee guida specifici per lo sviluppo della dichiarazione ambientale; queste devono documentare l'obiettivo e il campo di applicazione delle informazioni, oltre a determinare le fasi del ciclo di vita da includere, i parametri da trattare e il modo nel quali questi devono essere raccolti e comunicati in un rapporto: l'unità funzionale, i requisiti di qualità dei dati, etc. Lo studio LCA consente di quantificare i consumi energetici e di valutare gli effetti ambientali del prodotto in conformità con quanto disposto nelle norme ISO e nelle indicazioni presenti negli stessi PCR. Infine, la Dichiarazione di Impatto ambientale consiste nel documento in cui vengono comunicate in modo chiaro e trasparente le informazioni circa le caratteristiche dell'azienda e del prodotto, il processo produttivo, la metodologia di analisi e di valutazione adottata, i consumi energetici, gli impatti ed effetti ambientali del prodotto. Conclusa anche questa fase, la dichiarazione viene sottoposta a verifica di un ente terzo accreditato ed indipendente e in seguito autorizzata alla diffusione al pubblico.

Tutte le EPD® sono rese pubbliche e si possono consultare direttamente dal sito web dell'International EPD System⁹⁶. Qui sono organizzate per categoria e attualmente (agosto 2019) il sistema ha svolto certificazioni per le seguenti categorie:

96 https://www.environdec.com/



Servizi (14)

Produzione di energia elettrica e carburanti (23)

Prodotti chimici (21)

Macchinari e attrezzature (20)

Cibo e bevande (152)

Edifici e infrastrutture (16)

Tessile, calzature e abbigliamento (30)

Arredamento e altri beni (40)

Prodotti a base carta (60)

Prodotti a base metallo, plastica e vetro (21)

Prodotti da costruzione (705)

Veicoli e mezzi di trasporto (28)

Aerei (2)

Macchinari per pulizie (3)

Treni e tram (22)

Per un totale di 15 categorie e 1157 schede di Dichiarazione Ambientale.

Per quanto riguarda le EPD dei prodotti da costruzione esiste una norma apposita, la ISO 21930:2017, Sustainability in buildings and civil engineering works -- Core rules for environmental product declarations of construction products and services, che fornisce linee guida per lo sviluppo e una metodologia specifica

97 L'unità dichiarata è l'unità di riferimento adottata per quantificare le prestazioni di un prodotto da costruzione in termini di LCA prima che questo venga posto in opera nell'edificio (ISO 21930:2007). In linea di massima è possibile stabilire che l'unità dichiarata corrisponde all'unità funzionale definita ai sensi della ISO 14025 (Giordano R.).

98 L'unità funzionale all'interno della ISO 21930:2007 viene definita diversamente rispetto alla 14025: l'unità funzionale è da intendersi come unità di riferimento per quantificare la prestazione di un prodotto da costruzione quando viene inserito nell'edificio. Non si limita più a stabilire la quantità di prodotto che si realizza nel sistema di produzione, ma si riferisce alla sua vita utile, successiva alla posa in opera (Giordano R.).

99 GIORDANO R., *I prodotti per l'edilizia sostenibile: la compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio*, Napoli, Sistemi Editoriali. 2010.

per la dichiarazione ambientale di prodotto applicata ai prodotti da costruzione. La metodologia è pressoché identica a quella illustrata nella UNI 14025, fatta eccezione per alcuni aspetti specifici quali ad esempio i concetti di *unità dichiarata*⁹⁷, di unità funzionale⁹⁸ e il quadro di riferimento per la definizione delle PCR per la specifica categoria di prodotti da costruzione. La procedura per il rilascio di una EPD è la medesima: redazione del PCR, studio LCA e compilazione della dichiarazione.

Dal confronto tra la ISO 14025 e la ISO 21930 si deduce che, mentre per la EPD è predominante l'approccio *dalla culla al cancello*, nel caso della EPD dei prodotti da costruzione è condizione fondamentale per l'ottenimento della dichiarazione, contemplare gli impatti energetico-ambientali anche della fase d'uso e di fine vita⁹⁹.

Lo strumento di calcolo EURECA permette di calcolare il fabbisogno di energia primaria [MJ] e gli impatti ambientali [kgCO₂eq] che si verificano nella fase iniziale del progetto edilizio, di conseguenza i valori di impatto da utilizzare ai fini del calcolo sono quelli relativi ai processi A1, A2, A3, che talvolta vengono persino riportati come valore aggregato. Nel caso in cui non si disponga di dichiarazioni ambientali di prodotto è possibile rifarsi a dati di letteratura come database e banche dati che riportano valori medi di impatto per tipologia di materiale.

MODALITA' DI CALCOLO

Ancora oggi non esiste una metodologia di calcolo unificata e standardizzata per la quantificazione dell'Embodied energy di un edificio; numerosi sono gli studi, le pubblicazioni e le linee guida al riguardo, ma in Italia non esiste ancora una regolamentazione a riguardo.

Per questo motivo si è scelto di seguire la norma svizzera pubblicata dalla SIA all'interno del quaderno tecnico 2032 *Energia grigia negli edifici* (2010).

Per procedere al calcolo dell'Embodied Energy di un edificio è necessario innanzitutto disporre di una serie di informazioni quali:

- destinazione d'uso: per rimanere coerenti con il sistema di certificazione MINERGIE®, i cui valori limite sono presi a riferimento per la presente metodologia¹⁰⁰, le destinazioni d'uso tra cui scegliere sono: residenziale, amministrativo e scolastico.
- durata stimata del ciclo di vita dell'edificio [anni]
- dati dimensionali relativi agli elementi edilizi [m²] [m], suddivisi per tipologia: chiusure orizzontali superiori, chiusure orizzontali inferiori, chiusure orizzontali su spazi non riscaldati, chiusure verticali opache, partizioni verticali, partizioni orizzontali ed elementi lineari¹⁰¹. Tali elementi edilizi vengono distinti a seconda che delimitino uno spazio riscaldato o non riscaldato.
- Composizione stratigrafica di ciascun elemento tecnico superficiale o lineare: è necessario essere a conoscenza dei materiali (e delle rispettive

100 Per maggiori informazioni si rimanda al paragrafo relativo alla Certificazione Minergie della presente tesi.

101 La nomenclatura degli elementi edilizi fa riferimento alla norma UNI 8290-1:1981 *Edilizia* residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia.

- caratteristiche tecniche) impiegati nel progetto e, se possibile, al fine di effettuare un calcolo più preciso, riferirsi già ad un prodotto specifico presente sul mercato.
- Impatti energetici [MJ] ed ambientali [kgCO₂eq] di ciascun materiale impiegato nel progetto. Il caso migliore è quello in cui si disponga di una dichiarazione ambientale di prodotto specifica per il materiale impiegato; nel caso in cui, invece non se ne disponga, è possibile utilizzare dei valori di impatti energetico-ambientali medi disponibili in letteratura per mezzo di banche date e database.

SIA Società Svizzera degli Ingegneri e Architetti

La Società svizzera degli Ingegneri e degli Architetti (SIA) è un'associazione professionale composta da quattro gruppi di professionisti che lavorano dei campi dell'architettura, ingegneria civile, tecnica e ambiente. Viene fondata nel 1837 ad Aarau da architetti, ingegneri, ispettori edili e delle strade e impresari costruttori e si chiama Società degli ingegneri e arichitetti sviz. Tale società era nata con lo scopo di promuovere la formazione dei professionisti dei rispettivi campi e nel corso dei decenni non ha mai smesso di crescere, arrivando oggi a contare sedicimila membri attivi nel settore di ingegneria e architettura e una ampia rete interdisciplinare. È composta da un organismo centrale, sezioni regionali, professionisti del settore (suddivisi nei quattro gruppi di cui sopra) e numerose associazioni affiliate¹⁰². Dal 1883 essa pubblica norme, regolamenti, direttive, raccomandazioni e documentazioni in ambito edilizio e prende posizione su questioni quali il ciclo di vita dei materiali, l'energia e il clima. Il quaderno tecnico SIA 2032¹⁰³ fornisce una metodologia per il calcolo dell'Embodied Energy (o energia grigia) basata su procedure e fonti di dati unitarie, garantendo così calcoli comprensibili, comparabili e riproducibili. Si rivolge innanzitutto a progettisti e architetti affinché questa tematica sia maggiormente considerata nella progettazione degli edifici e, grazie a una gestione semplice, trovi una crescente diffusione¹⁰⁴. Con l'aiuto del quaderno tecnico SIA 2032 si possono effettuare calcoli per edifici nuovi e ammodernati come pure singoli elementi costruttivi.

sia

schweizerischer ingenieur- und architektenverein societé suisse des ingénieurs et des architectes società svizzera degli ingegneri e degli architetti swiss society of engineers and architects

102 https://hls-dhs-dss.ch/it/articles/017026/2012-10-30/

103 SIA, Quaderno tecnico SIA 2032, *Energia grigia negli edifici*, 2010.

104 SvizzeraEnergia, Energia Grigia negli edifici nuovi, guida per gli specialisti nel settore costruzioni.

QUADERNO TECNICO SIA 2032

Sulla base delle indicazioni contenute nel Quaderno tecnico SIA 2032, conoscendo i seguenti dati:

- p_s = peso specifico del materiale [kg/m³]
- EE = Embodied Energy [MJ/kg] [kWh/kg]
- $V = \text{volume } [\text{m}^3/\text{m}^2_{\text{BTF}}]$
- $t = tempo di ammortamento^{105} [anni]$

il calcolo dell'Embodied Energy avviene in tre fasi¹⁰⁶:

FASE 1

Calcolo della massa per ogni superficie dell'elemento costruttivo (BTF):

BTF
$$[kg/m_{BTF}^2] = p_s [kg/m^3] * V [m^3/m_{BTF}^2]$$

FASE 2

Calcolo dell'Embodied Energy per ogni superficie dell'elemento costruttivo:

$$\mathrm{EE}_{\mathrm{TOT}} = \mathrm{EE} \left[\mathrm{kWh/kg} \right] * \mathrm{BTF} \left[\mathrm{kg/m_{BTF}^2} \right] = \left[\mathrm{kWh/m_{BTF}^2} \right]$$

FASE 3

Calcolo dell'Embodied Energy per ogni superficie dell'elemento costruttivo all'anno:

$$\mathsf{EE}_{\mathsf{TOT/anno}}\left[\mathsf{kWh/m^2}_{\mathsf{BTF}}a\right] = \mathsf{EE}_{\mathsf{TOT}}\left[\mathsf{kWh/m^2}_{\mathsf{BTF}}\right]/\mathsf{t}$$

Calcolata l'Embodied Energy di ogni elemento costruttivo, questa viene moltiplicata per la superficie dello stesso nell'intero edificio e il risultato infine viene diviso per la *superficie di riferimento energetico*¹⁰⁷.

Il totale dell'Embodied Energy dell'intero edificio viene normalizzato rispetto alla superficie di riferimento energetico principalmente per due motivi: il primo è perché in questo modo è possibile comparare la quota di energia incorporata

105 II tempo di ammortamento corrisponde alla durata stimata utile del ciclo di vita dell'edificio.

106 SvizzeraEnergia, Energia Grigia negli edifici nuovi, guida per gli specialisti nel settore costruzioni.

107 La superficie di riferimento energetico (A_E) corrisponde alla somma delle superfici di pavimento dei piani (sopra e sotto il suolo) inclusi nell'involucro termico e la cui utilizzazione richiede un riscaldamento o una climatizzazione (SvizzeraEnergia basata su SIA 380:2015).

dell'edificio con quella di esercizio e la seconda è che nel caso di un bilancio di energia totale, è possibile semplicemente sommare i due valori; il secondo motivo dipende dal fatto che sia la stessa unità di misura di quella adottata da alcuni sistemi di certificazione e standard, come MIREGIE®, che fissano dei valori limite per l'energia incorporata.

EURECA - EE iniziale

La metodologia di calcolo applicata nel software è la medesima della norma svizzera, con l'unica differenza che in EURECA si procede al calcolo con un ordine progressivo *materiale* — *componente* — *edificio*. Questa logica permette di avere contemporaneamente uno sguardo d'insieme sul progetto ed uno di dettaglio scendendo nel merito del singolo materiale impiegato.

In primo luogo quindi si devono determinare i materiali appartenenti alla stratigrafia di ogni elemento tecnico, con le relative proprietà fisiche, quali spessore, densità, peso superficiale o lineare e le proprietà energetico-ambientali come l'Embodied Energy, suddivisa in questo caso in *complessiva* $[EE_{tot,j}]$ e *da fonti rinnovabili* $[EE_{FR,i}]$.

Scelti tutti i materiali e raccolti tutti i dati si calcola l'Embodied Energy del singolo componente:

nel caso di un elemento superficiale (come una parete o un solaio):

$$EE_{i,i} = P_{sun} \cdot EE_{tot,i} [MJ/m^2]$$

Peso superficiale (P_{sup}) [kg/m²] è uguale a $\underline{\rho \cdot s}$ ovvero densità [kg/m²] per spessore [m]

 $EE_{tot.i}\grave{e}~l'Embodied~Energy~dell'elemento~j-esimo~fornita~dalle~banche~dati~o~dai~produttori~[MJ/kg].$

Se si tratta di un elemento lineare, come un pilastro o una trave, utilizzeremo:

$$EE_{ij} = P_{lin} \times EE_{toti} [MJ/m^2]$$

Peso lineare (P_{lin}) [kg/m] è uguale a $\underline{\rho}$ * s.o. ovvero densità [kg/m²] per sezione orizzontale [m²]

 $\mathsf{EE}_{\mathsf{tot},j} \, \grave{e} \, \mathsf{l'Embodied \, Energy \, dell'elemento \, j-esimo \, fornita \, dalle \, banche \, dati \, o \, dai \, produttori \, [MJ/kg].}$

All'interno di EURECA inoltre viene anche predisposto il calcolo degli impatti energetico-ambientali di sistemi di impianti dell'edificio. Trattandosi di componenti unitari che presentano un EE complessiva predefinita per ogni unità di prodotto (una pompa di calore, un'unità di trattamento aria, etc.), la formula con cui viene calcolata l'Embodied Energy è la seguente:

$$EE_{i,i} = n^{\circ} \text{ pezzi} \cdot EE_{\text{tot.i.m}} \text{ [MJ/m}^2]$$

Non trattandosi di un elemento dimensionalmente modificabile, il valore di Embodied Energy che viene fornito dalle banche dati è direttamente in MJ.

Tutti i singoli valori ottenuti saranno infine sommati e normalizzati per la superficie totale di elementi tecnici e per la durata di vita utile dell'edificio, ottenendo così un risultato confrontabile con l'Operational Energy. Sarà inoltre possibile confrontare la quota di EE da fonti rinnovabili rispetto alla Embodied Energy totale, ottenendo l'*indice di rinnovabilità* (IR) dell'edificio.

$$IR = EE_{FR,i} / EE_{tot,i}$$

 $EE_{FR,j} = Embodied Energy da fonti rinnovabili degli i-esimi materiali che costituiscono strati e parti funzionali dei j-esimi elementi tecnici [MJ/kg]$

EE_{tot,j} = Embodied Energy totale. da fonti rinnovabili e non, degli i-esimi materiali che costituiscono strati e parti funzionali dei j-esimi elementi tecnici [MJ/kg]

EURECA - EE PERIODICA

Con *Embodied Energy periodica* si intende il fabbisogno di energia legato alla manutenzione, riparazione e sostituzione di un materiale o componente durante il suo ciclo di vita¹⁰⁸. In riferimento alla suddivisione effettuata dalla norma UNI EN 15978: 2011, l'Embodied Energy periodica è connessa alla fase d'uso dell'edificio: comprende l'energia incorporata dei processi di manutenzione (B2), riparazione (B3), sostituzione (B4), ristrutturazione (B5).

L'Embodied Energy periodica viene calcolata sulla base della durata stimata del ciclo di vita di un edificio, confrontando la durata stimata di vita dei materiali con quella dell'edificio. All'interno di EURECA i *cicli di sostituzione* dei materiali

108 ISO 15686-1:2011 Buildings and constructed assets - Service life planning, Part 1: General principles and framework.

109 C. Molinari, *Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia*, Vol. 1, Sistemi Editoriali (2002).

vengono stimati sula base del testo "Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia" di C. Molinari¹⁰⁹.

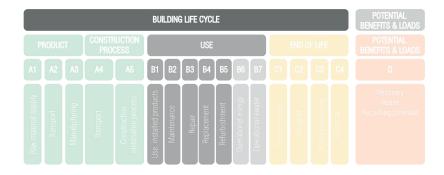


Figura 9 – Moduli inclusi nel calcolo dell'EE/EC periodica

Embodied Carbon iniziale e periodica

EURECA - EC INIZIALE E PERIODICA

La valutazione degli impatti ambientali dell'edificio fa parte dell'implementazione del software sviluppata dal presente gruppo di ricerca. Essa è stata impostata in maniera tale che il calcolo si mantenga coerente alla metodologia di calcolo dell'Embodied Energy presentata dal Quaderno tecnico SIA 2032: il calcolo infatti avviene allo stesso modo ma per ciascun materiale è necessario conoscere e inserire nelle formule, anziché il valore di EE, quello di Embodied Carbon, che nelle schede di valutazione di impatto ambientale è fornito come Global Warming Potential (GWP) [kgCO₂eq].

Come per l'Embodied Energy raccolti tutti i dati dei materiali si calcola l'Embodied Carbon del singolo componente:

nel caso di un elemento superficiale (come una parete o un solaio):

$$EC_{ij} = P_{sun} \cdot EC_{toti} [kgCO_2 eq/m^2]$$

 P_{sun} : peso superficiale [kg/m²]; è uguale a $\rho \cdot s$ ovvero densità [kg/m²] per spessore [m].

 $\mathrm{EC}_{\mathrm{tot,j}}$: Embodied Carbon dell'elemento j-esimo [kg CO_2 eq/kg]; viene fornita dalle banche dati o dai produttori.

Se si tratta di un elemento lineare, come un pilastro o una trave, utilizzeremo:

$$\mathsf{EC}_{i,j} = \mathsf{P}_{\mathsf{lin}} \, \mathsf{x} \, \mathsf{EC}_{\mathsf{tot},j} \, [\mathsf{kgCO}_2 \mathsf{eq/m^2}]$$

 $P_{lin} : Peso \ lineare \ [kg/m]; \ \grave{e} \ uguale \ a \ \ \rho \ ^* \ s.o. \ ovvero \ densit\grave{a} \ [kg/m^2] \ per \ sezione \ orizzontale \ [m^2].$

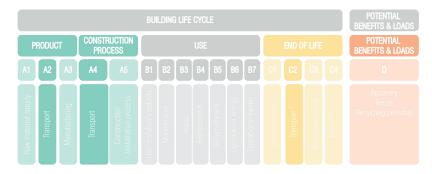
 $EC_{tot,j}$: Embodied Carbon dell'elemento j-esimo [kg CO_2 eq/kg]; viene fornita dalle banche dati o dai produttori.

Tutti i singoli valori ottenuti saranno infine sommati e normalizzati per la superficie totale di elementi tecnici e per la durata di vita utile dell'edificio, ottenendo così un risultato confrontabile con l'Operational Carbon.

Fase di trasporto

I trasporti costituiscono un elemento fondamentale nel processo produttivo di ogni elemento. Riferendoci al ciclo di vita dell'edificio e alle fasi in cui esso viene suddiviso secondo la EN 15978:

2011, i trasporti sono presenti in tre delle fasi principali identificate: *fase di prodotto*, *processo di produzione* e *fase di fine vita*.



Nella fase di prodotto (A2) si considera il trasporto dal luogo di estrazione delle materie prime al sito di lavorazione; nel processo di produzione (A5) si considera il trasporto dalla fabbrica al sito di costruzione. Infine, nella fase di fine vita (C2) si tiene conto del trasporto dei rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) dal luogo di dismissione a quello di gestione dei rifiuti. Fatta eccezione per la categoria A2, che spesso viene inclusa nella valutazione degli impatti energetico-ambientali di un materiale "dalla culla al cancello" come *embodied energy initial*, le altre fasi di trasporto raramente vengono tenute in considerazione e, quando succede, non vengono modellate su dati reali ma si utilizzano dei fattori medi di impatto (come fanno ad esempio WARM, WRAP, vedi capitolo *Fase di fine vita*) sulla base delle distanze, del carico e dei tipi di mezzi che mediamente vengono impiegati in questi casi.

Questo "approccio al dato medio" oltre a fornire dati poco rappresentativi, non attribuisce la dovuta importanza ad un settore come quello dei trasporti, che costituisce oggi una parte significativa del fabbisogno di energia e degli impatti

ambientali di un edificio. Nello sviluppo di EURECA, pertanto, si è scelto di integrare una metodologia di valutazione degli impatti relativi ai trasporti, in maniera tale che questi non solo vengano inclusi nel calcolo, ma siano anche modellati sulla base di dati reali; in questo modo è possibile riflettere, sulla base di dati numerici realistici, sull'importanza della provenienza dei materiali da costruzioni che si impiegano nel progetto.

Impatto ambientale dei trasporti in Europa

I trasporti sono uno dei pilastri principali della società e dell'economia moderna: consentono di spostare in tutto il mondo persone e prodotti, rendendo sempre disponibili prodotti che solo alcuni decenni fa non sarebbero stati disponibili mentre adesso possono arrivare direttamente in casa del consumatore. La globalizzazione dei mercati non sarebbe stata possibile senza un articolato sistema di trasporti di prodotti la cui domanda è cresciuta insieme all'economia mondiale stessa. La domanda di trasporto nel XXI secolo sta continuando a crescere: oggi è di molto maggiore rispetto all'inizio del secolo e inoltre, secondo le stime della Commissione europea, è destinata a crescere ancora: si stima che entro il 2050 il trasporto merci aumenterà dell'80% rispetto al 2013¹¹⁰.

L'Unione Europea con il Quadro per il clima e l'energia 2030 fissa, tra gli altri, l'obiettivo di ridurre almeno del 40% le emissioni di gas a effetto serra rispetto ai livelli del 1990; questo consentirà di raggiungere il secondo obiettivo, posto per il 2050, di ridurre tali emissioni dell'80-95%¹¹¹.

Dall'analisi del 2015 condotta dalla European Environment Agency, i settori che incidono maggiormente sulle emissioni di gas effetto serra nell'Unione Europea risultano essere in primo luogo le industrie produttrici di energia (30%), seguite dalla combustione di carburante da parte degli utenti (25%) e dal settore dei trasporti (24%) (Fig. 2). Inoltre, risulta che negli ultimi 25 anni la quota della

110 EEA, Verso una mobilità pulita e intelligente I trasporti e l'ambiente in Europa, pp. 9-10, 2016.

111 Commissione Europea, *Quadro per il clima e l'energia 2030 - conclusioni*, 24 ottobre 2014.

maggior parte dei settori sia diminuita, mentre quella dei trasporti sia invece gradualmente aumentata dal 15% nel 1990 al 24% nel 2015.

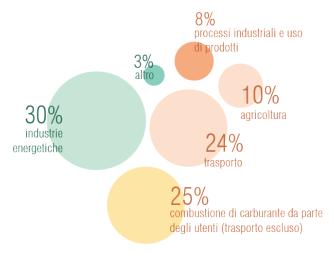


Figura 3 Emissioni medie Europee di Gas Serra (%) per impiego, anno 2015. Fonte dati: European Environment Agency

Si può affermare dunque che il settore dei trasporti influisca per un quarto sulle emissioni di gas a effetto serra, e questo è uno dei motivi per cui la Commissione Europea ha pubblicato nel 2016 una *Strategia Europea per la mobilità a basse emissioni*¹¹², in termini di CO₂ e di altri inquinanti. L'ambizione è quella di ridurre entro il 2050 almeno del 60% le emissioni di gas effetto serra prodotte dai trasporti rispetto a quelle del 1990 e avviarsi verso strategie a impatto zero. In questa stessa ottica lavora il *Regolamento UE 2018 del parlamento Europeo e del Consiglio*, del 28 giugno 2018 concernente il monitoraggio e la comunicazione delle emissioni di CO₂ e del consumo di carburante dei veicoli pesanti nuovi. A livello nazionale è previsto un programma di miglioramento dell'efficienza energetica teso a risparmiare 20 Mtep¹¹³/anno di energia primaria e 15,5 Mtep/anno di energia finale. Al 2020 il consumo atteso in termini di energia primaria è di 158 Mtep e di energia finale è di 124 Mtep¹¹⁴.

112 European Commission, A European Strategy for Low-Emission Mobility, Brussels, 2016.

113 Mtep = Mega tonnellate di petrolio equivalente

114 Ministero dello Sviluppo economico, Relazione annuale sull'efficienza energetica - Risultati conseguiti e obiettivi al 2020, 2018.

		misure previs	risparmio atteso al 2020				
SETTORE	Certificati bianchi	detrazioni fiscali	conto termico	standard normativi	investimenti mobilità	energia finale	energia primaria
Residenziale	0,15	1,38	0,54	1,60	-	3,67	5,14
Terziario	0,10	-	0,93	0,20	-	1,23	1,72
PA	0,04	-	0,43	0,10	-	0,57	0,80
Privato	0,06	-	0,50	0,10	-	0,66	0,92
Industria	5,10	-	-	-	-	5,10	7,14
Trasporti	0,10	-	-	3,43	1,97	5,50	6,05
TOTALE	5,45	1,38	1,47	5,23	1,97	15,50	20,05

Tabella 4 Obiettivi di efficienza energetica al 2020 in energia finale e primaria (Mtep/anno) - Fonte: PAEE 2014

Misure per la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra dipendenti dai trasporti

Il settore dei trasporti continua a dipendere in larga scala da combustibili fossili¹¹⁵ come diesel e benzina; raggiungere gli obiettivi target fissati dall'Unione Europea in questi ultimi cinque anni risulta quindi sempre più difficile, a meno di adottare misure drastiche per la riduzione di CO₂. Alcune delle misure¹¹⁶ che possono essere adottate per ridurre le emissioni di CO₂ legate ai trasporti sono ad esempio:

Ridurre la domanda di trasporto

Il modo più ovvio per ridurre le emissioni del trasporto merci sarebbe ridurre la domanda di questo tipo di trasporto: alcune misure politiche possono contribuire a smorzare la domanda introducendo l'obbligo di pagamento di tasse, imposte, tasse di registrazione ecc. In alcuni paesi nordici (Norvegia, Svezia, Finlandia, Danimarca) tasse e dazi si presentano in diverse forme e sono generalmente applicati all'uso di strada e/o consumo di carburante.

 Migliorare l'efficienza delle modalità di trasporto
 Migliorare l'efficienza è possibile ad esempio aumentando la capacità dei veicoli o pianificando meglio le tratte dei trasporti. 115 EEA, secondo questo studio questo settore in abito europeo dipende per il 94% dal consumo del petrolio, di cui il 90% viene importato

116 Nordic Council of Ministers, Reducing CO₂ emission from freight, recent developments in freight transport in the Nordic countries and instruments for CO₂ reduction, 2018.

 Passare ad una modalità di trasporto con maggiore efficienza energetica per unità trasportata

In generale questo significa passare da una modalità di trasporto su strada al trasporto ferroviario o per mare.

- Impiegare carburanti con un minor contenuto di carbonio
 I biocarburanti contengono una percentuale di carbonio molto inferiore rispetto
 ai tradizionali combustibili fossili. I principali biocarburanti sono: biodiesel,
 prodotto con oli o grassi vegetali che può essere miscelato con diesel normale o
 utilizzato nella sua forma pura; bioetanolo, prodotto a partire da piante contenenti
 zuccheri, miscelato con la benzina; biogas, prodotto a partire da rifiuti, letame,
- Passare a veicoli che utilizzino tecnologie a basso contenuto di carbonio

fanghi.

I regolamenti Europei spingono sempre più verso l'impiego di veicoli a propulsione elettrica, i quali prevedono un consumo inferiore di carburante, sono soggetti ad una sempre crescente efficienza energetica e richiedono sempre meno manutenzione.

Rispetto a questo ultimo punto, si può dire che siano ancora numerose le limitazioni all'impiego sistematico dei mezzi elettrici¹¹⁷: prima fra tutte, la breve durata delle batterie e i suoi lunghi tempi di ricarica, che finora infatti hanno limitato il trasporto di merci su mezzi elettrici solo alle brevi distanze. Inoltre, mancano ancora le infrastrutture per gestire al meglio una rete di trasporti di tipo elettrico, come stazioni e punti di ricarica distribuiti sul territorio. Fra i problemi legati alla sicurezza, poi, c'è il fatto che il rumore emesso da questi veicoli sia quasi zero, e di conseguenza il rischio di collisioni è più alto; inoltre anche il rischio di autocombustione delle batterie costituisce un elemento a svantaggio dell'impiego sistematico di questa tecnologia. Altre cause poi sono quelle legate ai costi e alla produzione ancora poco diffusa di mezzi di dimensioni sufficienti per sostituire camion di grandi trasporti merci.

Di seguito viene riportato un quadro delle tipologie di veicoli elettrici per il trasporto merci disponibili sul mercato al 2014, con le rispettive caratteristiche:

117 S. Iwan, K. Kijewska, D. Kijewski, *Possibilities of Applying Electrically Powered Vehicles in Urban Freight Transport*, in 1st International Conference Green Cities 2014 – Green Logistics for Greener Cities, 2014.

nome modello	azienda produttrice	capacità di carico [kg]	velocità max [km/h]	distanza di viaggio [km]	tempo di ricarica [h]	prezzo [EUR]
MegaVan	Mega	600	60	160	6	12 632
Nissan e-NT400 Concept	ATLAS Concept	600	90	140	9	no data
e-Wolf Omega 0.7	e-Wolf	620	110	150	8	59 719
Renault Kangoo Express. Z.E.	Renault	650	130	160	7	22 509
Peugeot Partner Electric Van	Peugeot	690	130	170	9	17 571
Ford Transit Connect Electric	Ford	700	121	129	6	14 413
Mitsubishi i-MiEV Cargo	Mitsubishi	700	140	160	7	no data
Streetscooter Work	Spijkstaal Elektro B.V.	700	85	80	5	16 078
Piaggio Porter electri- cpower	Piaggio Porter	750	57	110	8	21 992
Opel Vivaro e-concept	Opel	750	110	100	8	no data
Volkswagen e-Co-Motion	Volkswagen	800	120	200	7	no data
Electric delivery van 1000	Spijkstaal Elektro B.V.	830/965*	40	118	no data	no data
Mercedes Vito E-CELL	Mercedes	850	80	130	5	no data
Mitsubishi MINICABMiE- Vc	Mitsubishi	900	80	150	6,5	22 197
Toyota EV Truck	Toyota Motor Corporation/ Hino Motors	1000	60	no dara	8	no data
Boulder DV-500	Boulder Electric Vehicle	1000	120	160	8	no data

nome modello	azienda produttrice	capacità di carico [kg]	velocità max [km/h]	distanza di viaggio [km]	tempo di ricarica [h]	prezzo [EUR]
Renault Maxity	Renault/ PVI	1895	70	100	8	no data
Navistar eStar	Modec/ Navistar International Corporation	2000	80	160	8	35 142
Modec	Modec	2000	80	160	8	29 000
MT-EV WIV	Freightliner Custom Chassis Corporation/ Morgan Olson	2000	104	160	7	no data
EVI Walk-In Van	Freightliner Custom Chassis Corporation/ Electric Vehicles International	2000	100	184	6	no data
EVS Edison	Smith Electric Vehicles US Corporation	2300	80	160	7	no data
Boulder Delivery Truck 1000	Boulder Electric Vehicle	2700	120	160	12	69 366
ZeroTruck	Electrorides	2800	90	160	12	no data
EVI Medium Duty	Electric Vehicles International	3000	96	145	12	no data
Renault Midlum EV	Renault/ PVI/ IFP Energies	3000/5000*	90	140/100	8	no data
Mule M100	Balqon	4000	110	160	10	no data
EVS Newton	Smith Electric Vehicles US Corporation	7400	80	160	7	63 068
E-FORCE	EFORCE ONE AG./ Designwerk/ Brusa Elektronik	10000	87	300	6	no data

Figura 4

Come si può notare in termini di capacità di carico la maggior parte dei veicoli considerati possono essere utili per trasporti leggeri. Infatti, i veicoli elettrici vengono spesso impiegati per fare consegne in zone ristrette e coprono distanze relativamente brevi, quindi questi parametri sembrano essere sufficienti.

Embodied Energy ed Embodied Carbon dei trasporti

Al fine di eseguire un calcolo degli impatti completo e coerente, che permetta di comprendere l'importanza della provenienza dei materiali impiegati nella costruzione dell'edificio, è stata sviluppata una metodologia di calcolo a conforme a quanto previsto dalla norma UNI EN 16258:2013, una metodologia unificata e riconosciuta a livello internazionale, in particolare europeo.

UNI EN 16258:2013

La norma UNI EN 16258: 2013 - Metodologia per il calcolo e la dichiarazione del consumo di energia e di emissioni di gas ad effetto serra (GHG) dei servizi di trasporto (merci e passeggeri) è il riferimento per lo sviluppo della metodologia impiegata in EURECA. Nell'analisi della norma è stata fondamentale la guida scritta dalla *European Association for Forwarding, Transport, Logistic and Customs Services* (CLECAT)¹¹⁸.

La valutazione degli impatti ambientali connessi ai trasporti non è di per sé stessa una novità, ma la presente norma nasce con la finalità di fare chiarezza sul tema, in maniera da raggiungere maggiore accuratezza, trasparenza e consistenza nel calcolo del fabbisogno energetico e delle emissioni di gas a effetto serra. In particolare, vengono fornite linee guida per un approccio sistematico al calcolo del fabbisogno energetico, espresso in MJ, e delle emissioni di gas a effetto serra, espresse in kgCO₂ equivalente.

Modalità di Calcolo

Prima di iniziare un calcolo è necessario innanzitutto definire quali sono i confini di sistema: per avere un quadro completo delle emissioni che si verificano durante le fasi di trasporto è necessario considerare l'intera catena logistica, composta da una parte di emissioni dirette e da un'altra di emissioni indirette. Le *emissioni dirette* dipendono dal tipo di veicolo, dal carico, dalla distanza percorsa e dalla quantità di combustibile utilizzato. Le *emissioni indirette* invece dipendono dalla

emissions for freight forwarding and logistics services in accordance with EN 16258— Terms, Methods, Examples, 2012.

produzione del combustibile, dei veicoli, delle strade e dalla manutenzione della rete di trasporto. Nell'ambito del calcolo presentato dalla norma le ultime tre categorie delle emissioni indirette vengono escluse dal calcolo, per tenere conto solo degli impatti energetico-ambientali relativi alla produzione di carburante.

Gli impatti energetico-ambientali diretti, definiti dalla normativa come gli impatti *tank-to-wheels* (letteralmente *dal serbatoio alle ruote*), dipendono da:

• Tipo di veicolo e portata massima

I tipi di trasporto considerati sono: trasporto su *strada*, trasporto su *rotaia* e trasporto per *mare*. Sulla base di queste opzioni i mezzi che vengono presi in considerazione sono: camion (portata max <7.5 t / 7.5-12 t / 12- 24 t), autoarticolato (portata max 24-40 t), treno (portata max 500 t /1000 t) e nave (portata max 7000 t).

All'interno del foglio di calcolo si è voluta inserire la possibilità di tenere conto che il trasporto dei materiali possa essere effettuato utilizzando due tipologie di trasporto fra quelle predisposte: ad esempio, si potrebbe compiere una parte del viaggio per mare/su rotaia e poi una parte su strada. Si tratta di un caso contemplato anche dalla normativa stessa, la quale prevede, per questi casi, di distinguere le due tratte (leg) e di caratterizzare ciascuna delle due con i dati specifici. Lo strumento di calcolo è preimpostato su di un calcolo che prevede un unico viaggio per ciascun materiale, ma spuntando un'apposita casella questo può essere impostato sul calcolo in due tratte.

• Peso del carico utile trasportato

Conoscere il peso del carico utile trasportato ha quindi la duplice funzione di poter stimare con maggiore accuratezza il tipo di mezzo impiegato e il suo consumo specifico in base al carico.

Consumo di carburante

Il consumo di carburante di un mezzo varia notevolmente a seconda del carico che sta trasportando. Per questo motivo è importante conoscere il peso del carico trasportato ma soprattutto tenere conto del fatto che il mezzo compirà il viaggio di andata a pieno carico ma quello di ritorno presumibilmente vuoto.

Tipo di carburante

A carburanti differenti corrispondono emissioni e fabbisogni energetici differenti. I tipi di carburante considerati per i mezzi su strada sono diesel biodiesel e benzina, per quanto riguarda i treni si considera la possibilità che essi viaggino a diesel o ad energia elettrica. Per le navi infine si considera che esse siano alimentate ad olio combustibile pesante (heavy fuel oil — HFO). Fra i tipi di carburante e i tipi di mezzo è stata anche predisposta la possibilità di usare un mezzo elettrico o ibrido: al momento attuale sono stati configurati solo dei piccoli camion poiché i mezzi elettrici non hanno ancora un largo impiego nei trasporti commerciali, ma si è deciso di inserirli ugualmente nell'ottica di un loro impiego sempre maggiore negli anni a venire.

Distanza percorsa

La distanza percorsa in km è uno dei dati che incide maggiormente sul totale degli impatti in questa fase. Inoltre, inserire questo tipo di dato perfette di prendere una maggiore coscienza della distanza effettiva che alcuni materiali devono percorrere prima di giungere al luogo di progetto e in questo modo riflettere sull'importanza dell'impiego di materiali – laddove possibile – locali. Gli impatti energetico-ambientali indiretti, definiti dalla normativa come well-to-tank (letteralmente dal pozzo alla tanica), invece dipendono da:

• Processo di produzione del carburante

Queste emissioni indirette sono costituite dall'energia primaria del carburante impiegato. La normativa fornisce fattori di conversione per calcolare questa quota di impatti. L'unico valore che la normativa non riporta è quello relativo alla produzione di energia elettrica per i mezzi su strada.

La somma degli impatti diretti ed indiretti costituisce gli impatti totali, definiti dalla normativa come well-to-wheels (letteralmente dal pozzo alle ruote).

VEICOLI ALIMENTATI A BENZINA, DIESEL O BIODIESEL

Ai fini del calcolo è necessario conoscere:

- tipo di merce trasportata (merci pesanti, medie o di volume);
- peso effettivo della merce trasportata (t);

- tipo di veicolo impiegato (tipo e dimensione, cui sono associati dei valori di portata massima e valori di consumo specifico);
- distanza di trasporto (dall'impianto di produzione del materiale al sito di costruzione).

Conoscendo questi valori è possibile calcolare dapprima il consumo specifico del mezzo in base al quantitativo di merce che sta trasportando, e in seguito l'impatto energetico e/o ambientale totale, moltiplicando il peso del carico per la distanza e per il valore di consumo specifico.

CALCOLO DEL CONSUMO SPECIFICO DEL MEZZO E [L/100 km]

Nel caso in cui il dato del consumo specifico per autocarro (E) non fosse disponibile questo può essere calcolato attraverso un algoritmo che tiene conto del carico utile da progetto, della portata massima del veicolo e dei coefficienti che permettono di tenere conto sia del viaggio di andata con veicolo a pieno carico, che del viaggio di ritorno con veicolo vuoto:

$$E[I/100 \text{ km}] = (A[I/100 \text{ km}] + B[I/100 \text{ km}] * N[t] / C[t])$$
 (2)

E = consumo specifico per autocarro

A = Consumo del veicolo vuoto (valore da tabella 2)

B = Differenza del veicolo a pieno carico meno il veicolo vuoto (valore da tabella 2)

N = carico utile (da progetto)

 $C=\mbox{carico}$ utile massimo veicolo (valore da tabella 2)

	terreno medio						
PARAMETRO	A [l/100 km]	B [l/100 km]	C tonnellate				
Autocarro < 7,5 t GVW	12,95	1,30	3,5 t				
Autocarro 7,5 - 12 t GVW	16,75	2,80	6,0 t				
Autocarro 12 - 24 t GVW	19,00	3,55	12,0 t				
Autoarticolato 24-40 t GVW*	22,10	11,30	26,0 t				

Tabella 5 Parametri A, B e C per autocarri tipici in Europa. Fonte: HBEFA 3.1; TREMOD 2010. Valori medi per terreno pianeggiante e collinare

Secondo la normativa nel calcolo del consumo specifico del mezzo deve essere tenuto conto anche del tipo di percorso, se collinare (Hilly) o pianeggiante (Level ground). Per semplificazione, all'interno del foglio di calcolo EURECA si è scelto di considerare i fattori di conversione A e B effettuando una media fra i valori forniti per percorso collinare e pianeggiante.

	terreno pia	ıneggiante	terreno		
PARAMETRO	A [I/100 km]	B [l/100 km]	A [I/100 km]	B [l/100 km]	C [tonnellate]
Autocarro < 7,5 t GVW	13,00	1,40	12,90	1,20	3,5 t
Autocarro 7,5 - 12 t GVW	16,90	3,20	16,60	2,40	6,0 t
Autocarro 12 - 24 t GVW	19,30	4,20	18,70	2,90	12,0 t
Autoarticolato 24-40 t GVW*	22,70	14,40	21,50	8,20	26,0 t

^{*}inclusi road train (Automezzi formati da una motrice che taina tre o pù semirimorchi)

Tabella 6 Parametri A, B e C per autocarri tipici in Europa. Fonte: HBEFA 3.1; TREMOD 2010.

Calcolo del consumo effettivo dell'autocarro F [L]

Una volta calcolato il consumo specifico del mezzo (o nel caso in cui se ne disponga), è possibile proseguire con il calcolo del consumo effettivo del trasporto. Questo tiene conto della distanza percorsa che va moltiplicata per il consumo specifico del mezzo:

F = Consumo per autocarro

D = Distanza totale di viaggio, compreso quello a vuoto

E = Consumo specifico per autocarro

Calcolo del fabbisogno di energia e di emissioni di gas serra

Una volta noto il consumo effettivo F dell'autocarro, è possibile calcolare il *fab-bisogno di energia* – diretta e totale – [MJ] e le *emissioni di gas serra* – dirette e totali – [kgCO₂eq], moltiplicando il consumo specifico del mezzo (F) per fattori di conversione tabellari. Tali fattori che si trovano all'interno della normativa sono stati calcolati tenendo conto anche delle perdite energetiche ceh si verificano nelle centrali elettriche, nelle raffinerie e nei cavi di alimentazione.

EMBODIED ENERGY

$$EE_{dir}[MJ] = F[I] * e_{dir}[MJ/I] (3.a)$$

$$\mathsf{EE}_{\mathsf{tot}}\left[\mathsf{MJ}\right] = \mathsf{F}\left[\mathsf{I}\right] * \mathsf{e}_{\mathsf{tot}}\left[\mathsf{MJ}/\mathsf{I}\right] \quad (3.\mathsf{b})$$

EE = Embodied Energy diretta (solo trasporto) (Tank-to-wheels)

EE embodied Energy totale (trasporto + produzione carburante) (Well-to-wheels)

F = Consumo per autocarro

e = Fattore di conversione in energia diretta (valor<mark>e da ta</mark>bella 3)

e^{dir} = Fattore di conversione in energia totale (valore <mark>da tab</mark>ella 3)

EMBODIED CARBON

$$EC_{dir}[MJ] = F[I] \times g_{dir}[MJ/I]$$
 (4.a)

$$EC_{tot} = F[I] \times g_{tot} [MJ/I]$$
 (4.b)

EC = Embodied Carbon diretta (solo trasporto) (Tank-to-wheels)

 $EC^{dir} = Embodied Energy totale (trasporto + produzione carburante) (Well-to-wheels)$

 $F \stackrel{\text{tot}}{=} Consumo per autocarro$

 $e_{_{\parallel}}=$ Fattore di conversione in emissioni di GHG dirette (valore da tabella 3)

 e^{uu}_{ind} = Fattore di conversione in emissioni di GHG totali (valore da tabella 3)

Tabella 6 Fattori per il calcolo del consumo di energia e delle emissioni di gas a effetto serra [CO₂equivalente] in conformità con la norma EN 16258:2013.

	Consumo di energia standard				Emissione di gas a effetto serra (calcolati come CO ₂ equivalente)			
	tank-to-wheels (e _⊤)		well-to-wheels (e _w)		tank-to-wheels (g _T)		well-to-wheels (g _w)	
	MJ/ kg	MJ/	MJ/ kg	MJ/	kgCO ₂ e/kg	kgCO ₂ e/	kgCO ₂ e/kg	kgCO ₂ e/
Benzina	43,2	32,2	50,5	37,7	3,25	2,42	3,86	2,88
Etanolo	26,8	21,3	65,7	52,1	0,00	0,00	1,56	1,24
Benzina E5 (5 vol.% Etanolo)	42,4	31,7	51,4	38,4	3,08	2,30	3,74	2,80
Benzina E10 (10 vol.% Etanolo)	41,5	31,1	52,2	39,1	2,90	2,18	3,62	2,72
Diesel	43,1	35,9	51,3	42,7	3,21	2,67	3,90	3,24
Biodiesel	36,8	32,8	76,9	68,5	0,00	0,00	2,16	1,92
Diesel D5 (5 vol% biocarburante)	42,8	35,7	52,7	44,0	3,04	2,54	3,80	3,17
Diesel D7 (7 vol% biocarburante)	42,7	35,7	53,2	44,5	2,97	2,48	3,76	3,15
Gas naturale compresso	45,1	n/a	50.5	n/a	2,68	n/a	3,07	n/a
GPL	46,0	25,3	51,5	28,3	3,10	1,7	3,46	1,90
Cherosene per velivoli ¹	44,1	35,3	52,5	42,0	3,18	2,54	3,88	3,10
Olio combustibile pesante (HFO) ²	40,5	39,3	44,1	42,7	3,15	3,05	3,41	3,31
olio diesel marino (MDO)	43,0	38,7	51,2	46,1	3,24	2,92	3,92	3,53
Gasolio marino (MGO)	43,0	38,3	51,2	45,5	3,24	2,88	3,92	3,49

- 1. Senza consentire un possibile maggiore effetto sul clima del traffico aereo ad altezza di crociera.
- 2. HFO = Heavy fuel oil (olio combustibile pesante per imbarcazioni). Fonte: EN 16258.

Veicoli elettrici e ibridi

L'impiego di veicoli elettrici o ibridi non viene considerato fra i casi presenti nella normativa e quindi non sono presenti né valori di consumo specifico di mezzi, né valori tabellari per la conversione del consumo in fabbisogno energetico e impatti ambientali. Questi infatti variano (e anche di molto) in base al tipo di mix energetico che viene utilizzato nei diversi paesi dell'Unione Europea per produrre l'energia elettrica: una percentuale più elevata di elettricità prodotta da fonti fossili tradizionali provoca emissioni di gas serra più elevate, così come una percentuale più elevata di energia prodotta da fonti rinnovabili produce emissioni più basse. Tuttavia, rispetto alle considerazioni fatte nei paragrafi precedenti e in un'ottica di un sempre maggiore impiego di questo tipo di mezzi per il trasporto merci, si è ritenuto necessario, in questa sede, costruire, sulla base di quella della UNI 16258, una metodologia per stimare gli impatti legati all'impiego di veicoli a propulsione elettrica.

VEICOLO ELETTRICO

Per il calcolo dell'EE e dell'EC di un veicolo elettrico, è stato utilizzato lo stesso algoritmo descritto nel paragrafo precedente, ma è stato necessario capire quali fattori utilizzare, poiché la norma, per le ragioni sopra citate non li fornisce.

EMBODIED ENERGY

Innanzitutto, è stato necessario trovare il consumo di un veicolo elettrico medio per il trasporto di merci attualmente sul mercato. Una delle case produttrici di furgoni completamente elettrici è la Nissan®, la quale dichiara un valore di consumo elettrico pari a 165 Wh/km = 0,165 kWh/km. Tale valore può essere assimilato al corrispondente E nelle equazioni (1) e (2), (consumo specifico del mezzo). Per ottenere il valore corrispondente ad F (consumo effettivo dell'autocarro), questo viene moltiplicato per la distanza percorsa dal mezzo, ottenendo il consumo totale in kWh. A questo punto, per ottenere il valore di EE diretta, ossia

la quantità di energia necessaria al mezzo per percorrere la distanza stabilita nel progetto, basterà moltiplicare il valore ricavato per il suo fattore di conversione pari a 3,6 MJ¹¹⁹, ottenendo così il fabbisogno energetico [MJ].

$$EE_{dir}[MJ] = F [kWh] * 3,6 [MJ/kWh]$$
(5)

L'EE totale è comprensiva della quota diretta sopra calcolata, più la quota indiretta, dovuta alla produzione di energia elettrica: questo valore viene calcolato come la quota diretta di EE moltiplicata per 2,17 MJ kWh, ossia la quantità di energia necessaria per produrre 1kWh di energia elettrica.

$$EE_{tot}[MJ] = EE_{dir}[MJ] + EE_{ind}$$
 (6)

Dove:

$$EE_{ind} = F [kWh] * 2,17 [MJ/kWh]$$
 (6.a)

Il passo successivo è stato quello di valutare la porzione di EE prodotta da fonte rinnovabile. Nel caso del carburante tradizionale (benzina, diesel, biodiesel) questo valore è approssimabile allo 0%. Per quanto riguarda invece la produzione di energia elettrica, consultando il sito dell'Eurostat¹²⁰ è stato possibile calcolare la percentuale media europea (EU-28) di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili (nucleare, idrica, eolica, solare, geotermica) per l'anno 2017, che equivale al 51.7% sul totale dell'energia elettrica prodotta.

119 Fattore di equivalenza da kWh a MJ: 1 kWh = 1.000 J/s x 3.600 s = 3.600 J = 3.6 MJ.

120 https://ec.europa.eu/eurostat/ statistics-explained/index.php?title=Electricity_generation_statistics_%E2%80%93_first_results#Production_of_electricity

Tabella 7 Produzione energia elettrica - media Europea. Fonte EUROSTAT

	Contributo della fonte alla produzione in %							
		EU-28			Eurozona 19			
	2015	2016	2017	2015	2016	2017		
Termica convenizonale	48,1%	48,7%	48,3%	45,8%	46,4%	46,6%		
Nucleare	26,4%	25,7%	25,6%	28,7%	27,3%	27,0%		
Idrica	11,9%	12,1%	10,3%	11,2%	12,1%	10,0%		
Vento	9,7%	9,7%	11,7%	9,5%	9,5%	11,5%		
Solare	3,5%	3,5%	3,9%	4,2%	4,2%	4,6%		
Geotermica	0,2%	0,2%	0,2%	0,3%	0,3%	0,3%		
Altre	0,2%	0,2%	n.d.	0,3%	0,2%	n.d.		

n.d. = dato non disponibile

Applicando la proporzione ($EE_{tot} \times 26.1\%$) / 100 è stato ricavato il dato ricercato di porzione di EE prodotta da fonte rinnovabile è stato ricavando applicando la seguente equazione:

$$EE_{FR} [MJ] = (EE_{tot} [MJ] \times 26.1 \%) / 100$$
 (7)

EMBODIED CARBON

Per la quantificazione delle emissioni di gas a effetto serra, dovute al trasporto con mezzi elettrici è stata calcolata la porzione di EC diretta e quella totale. L'EC diretta si è semplicemente assunta approssimabile a 0 kgCO₂ equivalente, poiché il principale vantaggio dell'utilizzo di un motore elettrico è proprio l'assenza di emissioni dirette durante l'utilizzo. Pertanto, le emissioni di gas a effetto serra dell'energia elettrica sono dovute interamente alla produzione di quella stessa energia elettrica, che dipende dal mix energetico adottato da Paese a Paese. In questo caso, come già accaduto precedentemente, è stato necessario trovare il valore medio europeo di emissione di gas a effetto serra [kgCO₂ eq] per la

produzione di energia elettrica: questo valore si attesta, per l'anno 2017, a 0,578 kgCO₂eq/kWh ¹²¹. Pertanto, per calcolare l'EC totale, il fattore di emissione appena citato andrà moltiplicato alla quota di EE indiretta, dovuta alla produzione di energia elettrica necessaria per percorrere la distanza stabilita:

$$EC_{tot} [kgCO_2 = EE_{ind} * 0.578 [kgCO_2 = q/kWh]]$$
 (8)

VEICOLO IBRIDO: 50% ELETTRICO, 50% DIESEL

Per calcolare gli impatti dovuti all'utilizzo di un mezzo ibrido, si è effettuata una semplificazione, assumendo che, in media, l'utilizzo del motore elettrico avvenga per il 50% del tragitto e il restante 50% sia coperto dall'uso del motore alimentato a diesel.

Per concludere, si può dire che calcolare gli impatti energetico-ambientali e prendere coscienza dell'impatto dei trasporti è sicuramente il primo passo verso un impiego più responsabile degli stessi, il che comporta ad esempio di riflettere con più attenzione sulla provenienza dei materiali che si impiegano nel progetto. Tuttavia, il solo misurare gli impatti ambientali non contribuisce a farli diminuire, ma può essere utile per prendere coscienza dello stato di fatto, per poi cercare di migliorare gradualmente la situazione.

121 http://publications.jrc ec.europa.eu/repository/handle, JRC90402

Fase di fine vita

L'obiettivo di questo capitolo è descrivere in maniera chiara e completa la metodologia che è stata sviluppata per effettuare il calcolo degli

impatti energetico-ambientali nella fase di fine vita di un edificio all'interno dello strumento di calcolo EURECA. A partire da un'indagine dello stato dell'arte nel panorama attuale, si è riscontrato che a livello europeo gli strumenti più utili ai fini della ricerca sono stati sviluppati nel contesto britannico (il primo da un'associazione britannica, WRAP, fondata con lo scopo di promuovere una gestione responsabile dei rifiuti, il secondo da DEFRA, un reparto esecutivo del governo britannico). Tuttavia, dall'analisi approfondita di questi strumenti si sono riscontrate limitazioni che hanno portato alla decisione di sviluppare una metodologia propria sulla base delle indicazioni del *Green House Gas Protocol*, della norma UNI EN 15978:2011 e dei valori forniti dall'*Environmental Protection Agency* (EPA).

I confini del sistema di un LCA di un edificio raramente si spingono oltre la fase d'uso per arrivare a comprendere anche quella del fine vita. Relativamente a quanto descritto dalla norma UNI EN 15978 – 2011¹²² la fase del *fine vita* dell'edificio è composta da quattro momenti diversi: decostruzione, trasporto, trattamento dei rifiuti e messa in discarica. Per ciascuno di essi è possibile stimare dei fattori di emissione legati e al rilascio di carbonio e altri gas serra in atmosfera oppure al fabbisogno energetico.

Includere in una LCA anche gli impatti della fase del fine vita di un edificio, allargando quindi i confini di calcolo più diffusamente adottati, oltre a permettere di ottenere un calcolo più completo, che fornisca risultati più vicini agli effettivi impatti dell'intero ciclo di vita dell'edificio, consente anche di avere una visione completa degli impatti relativi alle scelte progettuali che si compiono. Infatti, considerare una singola fase del ciclo di vita di un edificio potrebbe mascherare

122 UNI EN 15978 – 2011: Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method.

123 Thiebat, Francesca. *Life Cycle Design*. Springer Nature, 2019.

124 Tra le tante vale la pena citare le linee guida pubblicate annualmente dall'IPCC (International Panel on Climate Change), la metodologia sviluppata dall'EPA (Enviromental Protection Agency) che trova applicazione nel software WARM e quella sviluppata dal team WRAP applicata nel software Design Out Waste.

possibili danni o vantaggi ambientali che si potrebbero verificare in altre fasi del ciclo di vita¹²³.

Tuttavia, stimare i fattori di emissione in questa fase del ciclo di vita è particolarmente complesso, poiché essi dipendono da moltissime variabili, quali ad esempio:

disponibilità di dati relativi all'edificio sufficientemente dettagliati: è infatti necessario stimare le tonnellate di rifiuti da C&D prodotte durante il processo di demolizione e suddividerli per tipo di materiale;

disponibilità di *fattori di emissione*, aggiornati e differenziati secondo i vari scenari di smaltimento possibili e secondo i diversi tipi di materiali di cui si compongono i rifiuti;

disponibilità di informazioni circa le modalità di smaltimento possibili dei tipi di rifiuto identificati a fine demolizione. Queste dipendono dalla disponibilità di impianti, dalla loro efficienza e dalla quantità di rifiuti.

Al giorno d'oggi in Italia non esiste una metodologia generalmente riconosciuta e condivisa per quanto riguarda il calcolo degli impatti di un edificio nella sua fase di fine vita; al più si dispone di alcune linee guida redatte da enti e organizzazioni che sviluppano e propongono una propria metodologia¹²⁴. Sviluppare una metodologia, oltre alla ricerca e/o quantificazione di fattori di emissione specifici per lo smaltimento dei materiali da costruzione, comporta di prendere decisioni rispetto a questioni metodologiche sulle quali, in assenza di direttive specifiche nazionali ed internazionali, il dibattito è sempre aperto, e la scelta di adottare un metodo rispetto ad un altro resta relativamente arbitraria. Una fra le questioni è ad esempio, l'allocazione degli impatti (o guadagni) ambientali che si verificano in questa fase, rispetto al ciclo di vita.

L'ALLOCAZIONE DEGLI IMPATTI

Si consideri il caso dello smaltimento del materiale A, che è stato separato dal resto dei rifiuti da C&D a seguito della demolizione dell'edificio; esso va incontro

a diverse possibilità di smaltimento: tra le più comuni-riuso, riciclo, incenerimento con recupero di energia e dismissione in discarica. Nel caso della dismissione in discarica gli impatti si verificano a causa del trasporto del materiale dal sito di demolizione al centro di smaltimento ed eventualmente, se il materiale non è classificato come inerte, a causa del rilascio di gas serra in atmosfera; invece, per gli altri scenari di smaltimento la questione è più complessa. Infatti, nel caso di riuso o riciclo il materiale A è soggetto a delle lavorazioni di trasformazione in materia prima secondaria, che chiameremo B. In questo caso, gli impatti legati allo smaltimento dal materiale A si compongono del trasporto fino al centro di riciclaggio e delle emissioni del processo di lavorazione a cui è soggetto per trasformarsi nel materiale B. Se è vero che il materiale A per essere smaltito viene sottoposto nella fase di fine vita a delle lavorazioni, è anche vero che quelle stesse lavorazioni non sono altro che le emissioni legate alla produzione del materiale B. È questa la questione della allocazione degli impatti: è meglio assegnare l'impatto al fine vita di A o alla produzione di B?

Inoltre, va anche considerato il fatto che, se il materiale A non venisse riciclato, e quindi non fosse possibile la produzione del materiale B, questo verrebbe sostituito da materiale nuovo, la cui produzione, nella maggior parte dei casi comporterebbe valori di impatto molto maggiori: in questo caso quindi più che di *impatti* ambientali si può parlare di *guadagni* o *risparmi* ambientali. Si tratta di una seconda questione metodologica, che riguarda la stima dei guadagni ambientali e che sarà approfondita nel paragrafo seguente.

GLI IMPATTI EVITATI — IL DOPPIO CONTEGGIO

Qualora lo scenario di smaltimento preveda un recupero di materiale o di energia, gli impatti saranno costituiti in parte da emissioni effettive, legate al processo di rilavorazione del materiale (vettore positivo) e in parte da emissioni evitate perché nel caso del riciclo si è evitata la produzione di nuovo materiale da zero o, nel caso della termovalorizzazione si è evitata la produzione di energia in modo

tradizionale (vettore negativo).

Assegnare nella fase di fine vita un valore di impatto negativo ad un certo materiale A, significa andare a ridurre, a saldo finale, quello che è l'impatto del suo intero ciclo di vita. Ciò è corretto a patto che le valutazioni del materiale A si concludano in questa fase. Qualora invece il materiale A, dopo essere stato trasformato nel materiale B, venga immesso in un nuovo ciclo di vita, è giusto non considerare di nuovo i vantaggi ambientali legati all'impiego di una materia prima secondaria rispetto ad un materiale vergine. Sarebbe infatti sbagliato poiché comporterebbe un doppio conteggio dei benefici del suo riciclo.

Anche rispetto a questo tema non esiste una metodologia unificata e condivisa. Quelle che vengono riportate di seguito sono tre metodologie di allocazione degli impatti da riciclo di un materiale¹²⁵ che sono maggiormente conosciute:

- Approccio del contenuto di riciclato metodo 100:0 (Recycled content approach)
- Metodo della sostituzione metodo 0:100 (Substitution method)
- Metodo 50:50 (50:50)

Ciascuno dei seguenti metodi presenta vantaggi e svantaggi e la sua applicazione è preferibile all'interno di precisi confini di sistema, ma la scelta del metodo da adottare resta ancora arbitraria.

APPROCCIO DEL CONTENUTO DI RICICLATO (100:0)

Questo primo metodo colloca tutti i benefici del riciclo dei materiali nella fase iniziale del sistema produttivo. In questo modo non è possibile calcolare i benefici legati alla riciclabilità del materiale a fine vita, che viene effettivamente trascurata. Con questo metodo il più basso impatto ambientale della produzione di un materiale riciclato può essere considerato come un beneficio ambientale che si presenta in maniera naturale. Per scegliere di utilizzare questo metodo è necessario conoscere la percentuale di materiale riciclato impiegato.

125 Jones, Embodied Impact Assessment: The Methodological Challenge of Recycling at the End of Building Lifetime, 2009, pp. 117-121.

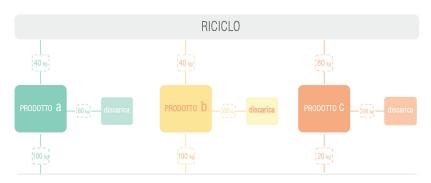


Figura 5 Esempio di un processo di riciclo di un prodotto a (rielaborazione da: AAVV, The inventor of carbon and Energy (ICE), 2011.

Tornando al caso dei materiali A e B, dalla *Figura 1* è possibile notare come gli input del sistema B siano gli output del sistema A. Allo stesso modo gli input del sistema C sono gli output del sistema B. L'approccio al contenuto di riciclato colloca l'intero beneficio del riciclo nei materiali nella fase iniziale del ciclo di vita di un prodotto, in entrata. Di conseguenza i benefici della riciclabilità a fine vita del prodotto B sono collocati nel ciclo del prodotto D – che riceve il materiale riciclato come input. Includere un ulteriore beneficio nel sistema di prodotto B legato ai materiali in uscita dal sistema a fine vita, comporterebbe il doppio conteggio del beneficio ambientale.

METODO DELLA SOSTITUZIONE (0:100)

Il metodo della sostituzione è l'opposto di quello appena presentato. In questo caso l'intero beneficio del riciclo viene collocato nella fase del fine vita, ed è legato alla produzione di materiale riciclabile, prendendo il nome di *riciclabilità*. Questo non permette di calcolare benefici del materiale riciclato in entrata, che sono effettivamente trascurati, poiché i vantaggi ambientali del materiale riciclato in entrata nel sistema B, sono stati già conteggiati in uscita nel sistema A. Conteggiare i vantaggi ambientali legati all'impiego di materia prima secondaria comporterebbe conteggiare due volte il beneficio ambientale.

METODO 50:50

Il metodo 50:50 si colloca esattamente a metà tra i due precedentemente illustrati: questo infatti colloca metà dei benefici legati all'uso di materiale riciclato (inizio vita) e metà dei benefici legati alla produzione di materiali riciclati (riciclabilità a fine vita). In questo modo sono riconosciuti sia l'impiego di una materia prima secondaria sia la produzione di un materiale riciclabile una volta giunto alla fine della vita utile.

Il *metodo della sostituzione* (0:100) colloca tutti i benefici ambientali nella fase del fine vita, quindi nel futuro. Questo metodo di calcolo è certamente valido ma è probabilmente più adatto per applicazioni a prodotti con una durata di vita breve (ad esempio una lattina di alluminio), mentre risulta meno indicato per prodotti con un'aspettativa di vita maggiore come appunto un edificio — la cui durata media di vita è di 50 anni. Il problema consiste nel fatto che porre tutti i vantaggi alla fine della vita dell'edificio significa proiettarli di 50 anni nel futuro e non considerare il loro carico ambientale al momento attuale. D'altra parte, con il *metodo del contenuto di riciclato* (100:0), opposto a questo, i benefici legati alla fase del fine vita vengono sempre spostati di un altro sistema, sottoforma di materia prima secondaria.

Entrambe le metodologie hanno punti forti e punti deboli, il criterio di scelta tra uno o l'altro può essere lo scopo del calcolo che si sta facendo. Sia gli impatti presenti sia i benefici futuri sono aspetti di cui è necessario tenere conto per una visione d'insieme, poiché tra essi esiste un equilibrio. Certo è che risulti molto complesso tenere conto di entrambi senza cadere in errori metodologici.

GHG Green House Gas Protocol

Se da un lato mancano linee guida ufficiali circa i metodi di valutazione degli impatti in questa fase del ciclo di vita di un edificio, dall'altro si riscontra una tendenza generale da parte dei maggiori enti e delle organizzazioni attive nel campo, a mantenersi coerenti alle linee guida che vengono pubblicate dal Green House Gas Protocol. Il Green House Gas Protocol è uno standard indipendente per il calcolo delle emissioni di gas effetto serra (GHG), che nasce dalla collaborazione tra il World Resources Institue (WRI) e il World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Il GHG Protocol lavora in collaborazione con governi, associazioni industriali, ONG, aziende e altre organizzazioni, stabilisce quadri standardizzati e globali per misurare e gestire le emissioni di gas effetto serra da operazioni di cantiere nel settore pubblico e privato.

Nato alla fine degli anni Novanta, quando WRI e WBCSD riconoscono la necessità di trovare un sistema standardizzato per la quantificazione e dichiarazione delle emissioni di gas serra, nel 2001 pubblica il primo documento: A Corporate Accounting and Reporting Standard, una guida rivolta a compagnie ed industrie che fornisce indicazioni per il calcolo. Questo documento, revisionato nel 2015, al momento risulta essere il più completo nel fornire informazioni e metodologie da applicare per chiunque abbia intenzione di calcolare in maniera volontaria le emissioni prodotte dalla propria attività. Al suo interno sono contenute informazioni circa il tipo di emissioni da comprendere nel calcolo, i confini di sistema da adottare a seconda del tipo di calcolo da effettuare e aspetti metodologici circa le modalità di calcolo. Lo standard è utilizzato come riferimento e garanzia dell'affidabilità del calcolo da numerosi enti ed organizzazioni¹²⁶.

126 Per citarne alcuni WARM, DEFRA, EPA. Questi vengono approfonditi nei paragrafi successivi.

Emissioni dirette, indirette e il concetto di Scope

Come in ogni sistema di calcolo, il GHG prevede innanzitutto che vengano definiti i confini del sistema che si desidera adottare, e di distinguere tra emissioni dirette ed emissioni indirette. Con emissioni dirette si intendono quelle provenienti da fonti che sono di proprietà o controllate dall'azienda; con emissioni indirette invece si intendono quelle che sono una conseguenza delle attività dell'azienda ma che vengono prodotte al di fuori del processo di produzione dell'azienda. Per aiutare a comprendere questa distinzione fra emissioni dirette ed indirette si definisce il concetto di "Scope", con il quale si suddividono le emissioni in tre ambiti: *Scope 1, Scope 2 e Scope 3* (Figura 2).

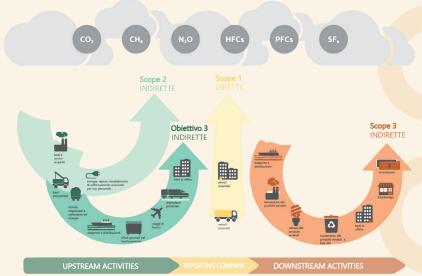


Figura 2: rielaborazione personale dal GHG Protocol.

Scope 1 – Emissioni dirette di gas serra

Le emissioni dirette di gas serra provengono da fonti che sono di proprietà o controllate dalla società: ad esempio le emissioni da combustione di caldaie, fornaci, veicoli, ecc;

Scope 2 – Emissioni di gas serra indirette da elettricità

Le emissioni di gas serra indirette da elettricità tengono conto delle emissioni di gas serra prodotte con la generazione di energia elettrica acquistata dalla società o direttamente prodotta da essa. Le emissioni dello Scope 2 si verificano fisicamente presso la struttura in cui viene prodotta l'energia.

Scope 3 – Altre emissioni di gas serra indirette

Questa categoria di reporting è opzionale, e include tutte le emissioni indirette, ovvero conseguenza delle attività della società, ma che hanno origine da risorse che non sono di proprietà o controllate da essa. Alcuni esempi di queste emissioni sono l'estrazione delle materie prime e la produzione dei materiali acquistati, il carburante utilizzato per il trasporto, l'uso dei prodotti e la gestione dei rifiuti a fine vita¹²⁷.

Scope 3 — Other Indirect GHG Emission

Le emissioni considerate nello studio oggetto di analisi, sono collocate all'interno dello *Scope 3.* Più precisamente, all'interno di questo ambito sono incluse le emissioni legate ai processi di:

estrazione e produzione dei materiali e del combustibile impiegati;

trasporti (dei materiali acquistati, del combustibile, viaggi di lavoro degli impiegati, trasporti di prodotti venduti, trasporti dei rifiuti);

attività relative all'uso dell'elettricità non comprese nello Scope 2;

gestione dei rifiuti (sia di quelli generati in fase di produzione sia di quelli venduti, in fase di fine vita).

La quantificazione delle emissioni in questo ambito viene approfondita all'interno di una terza guida, la *Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions* che è rilevante in quanto vengono esposte questioni metodologiche che riguardano aspetti più dibattuti come l'allocazione degli impatti e il doppio conteggio.

IL DOPPIO CONTEGGIO E L'ALLOCAZIONE DEGLI IMPATTI

127 WBCSD e WRI, Greenhouse Gas Protocol, *A Corporate Accounting and Reporting Standard*. Revisited edition, 2015. pp. 27-29.

128 vd. pagina 137.

Stando a quando riportato nella documentazione pubblicata dal GHG, il doppio conteggio si verifica quando una società considera lo stesso vantaggio ambientale due volte: nelle emissioni che si verificano nell'ambito 1 o 2 e in quelle dell'ambito 3. Nel caso in cui un'azienda che produce bottiglie di plastica acquisti della plastica derivante da processi di riciclo (che quindi porta con sé dei vantaggi ambientali), per evitare il doppio conteggio l'industria dovrebbe tenere conto dei vantaggi ambientali come parte degli ambiti 1 e 2, e nell'ambito 3 non dovrebbe né tenere conto delle emissioni del processo di riciclaggio né segnalare emissioni negative o evitate associate al riciclaggio.

La metodologia che viene consigliata per allocare le emissioni legate al processo di riciclo è quella dell'*approccio al contenuto di riciclato* poiché esso evita il doppio conteggio, è relativamente semplice da applicare ed è coerente con i fattori di emissione secondari disponibili per gli input dei materiali riciclati. Le emissioni negative dipendono da un confronto tra le emissioni della produzione di un materiale riciclato e quelle di produzione dello stesso materiale vergine. Eventuali emissioni evitate associate a processi come il riciclo non devono essere incluse nel calcolo, ma possono essere segnalate separatamente. Lo stesso discorso vale per i processi di incenerimento di rifiuti con recupero di energia: nemmeno in questo caso si devono inserire dei fattori di emissione negativi ma, se si vogliono evidenziare i vantaggi ambientali generati dal processo, è possibile riportarli separatamente.

In conclusione, la metodologia proposta dal GHG Protocol circa la quantificazione degli impatti legati alla fase del fine vita prevede di considerare gli impatti ambientali dei trasporti dei rifiuti in discarica e le eventuali emissioni di gas effetto serra dei rifiuti non inerti che vengono messi in discarica. Impatti e/o impatti evitati legati ad altri processi di smaltimento dei rifiuti non vanno inclusi in questa fase del ciclo di vita ma vanno e riportati separatamente, oppure inclusi nella prima fase del ciclo di vita come materia prima secondaria.

Attuali strumenti di valutazione degli impatti

Quella proposta dal GHG Protocol è una metodologia che certamente dà una risposta alle diverse problematiche esposte. Tuttavia, per risolvere questioni come il doppio vengono esclusi del tutto dal calcolo gli impatti relativi ai diversi tipi di trattamento dei rifiuti, valutando così allo stesso modo smaltimento in discarica e smaltimento come riciclo o termovalorizzazione i quali prevedono un recupero (rispettivamente di materiale e di energia).-

In questa sede, pertanto, nell'ambito dello sviluppo di una metodologia, si è ritenuto necessario indicare, seppure separatamente, il risparmio ambientale che deriva da alcune scelte progettuali e/o da altre legate alla fase di demolizione dell'edificio, per evidenziarne la virtuosità e preferibilità di alcune rispetto al altre. Questa scelta, peraltro, è stata fatta in conformità con quanto stabilisce la norma UNI EN 15978¹²⁹ che prevede la suddivisione del ciclo di vita dell'edificio in moduli associati ad ogni fase, includendo un modulo aggiuntivo "D" nel quale riportare i vantaggi legati alla scelta del tipo di dismissione, in termini di "Impatti evitati".

Per poter calcolare gli impatti ambientali è necessario, in primo luogo, disporre di *fattori di emissione*. Pertanto, nella fase iniziale dello studio, sono stati analizzati alcuni strumenti di calcolo noti a livello internazionale e totalmente *free to use*. Si tratta del *Carbon Factors* sviluppato da *Waste and Resources Action Programme* (WRAP) e del *Carbon Calculator* sviluppato dal *Department for Environment, Food & Rural Affairs* (DEFRA).

WRAP

Waste and Resources Action Programme è un'associazione britannica che nasce nel 2000 con lo scopo di promuovere una gestione sostenibile dei rifiuti. Negli anni che seguono l'associazione si rende sempre più attiva su diversi fronti,

129 UNI EN 15978, Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method, 2011

130 Nel 2017, il maggior contributo alla produzione complessiva dei rifiuti speciali è dato dal settore delle costruzioni e demolizioni, che con oltre 57,4 milioni di tonnellate, concorre al 41,3% del totale prodotto (Fonte dati: ISPRA, *Rapporto rifiuti speciali* 2019).

131 http://www.wrap.org.uk/content/design-out-waste-and-sa-ve-costs

compresi quelli di efficienza energetica, gestione del cibo e cambiamenti climatici. Per WRAP un mondo ideale è quello in cui le risorse vengono usate in maniera sostenibile.

Nello specifico della gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) - che contribuiscono in maniera incisiva all'inquinamento da rifiuti¹³⁰ - ha sviluppato uno strumento di calcolo degli impatti legati alla demolizione di un edificio: *Design Out Waste*.

DESIGN OUT WASTE131

Design Out Waste è un software online completamente gratuito per la valutazione degli impatti ambientali legati alla demolizione di un edificio. Inserendo i dati di progetto dell'edificio del quale si desidera effettuare la valutazione e le strategie di smaltimento dei rifiuti previste, il software calcola le emissioni di CO₂ equivalenti della gestione dei rifiuti da C&D. Inoltre, sulla base dei dati inseriti, il software calcola uno scenario base medio (baseline) e uno scenario di progetto ottimale (best practice): attraverso questi due valori chi effettua l'analisi può effettuare una prima valutazione del livello di sostenibilità ottenuto attraverso le scelte progettuali intraprese.

Questo sistema di valutazione, poi, associa agli impatti in termini di CO₂ equivalente e tonnellate di rifiuti prodotti, un dato sui costi di smaltimento, con l'indicazione di risparmi che si possono raggiungere avvicinandosi alle best practices. Il calcolo viene fatto sulla base di valori parametrici di costi medi di smaltimento di una tonnellata di rifiuti da C&D e, per quanto indicativo, fornisce un dato molto sensibile nell'ambito della gestione del progetto. Si tratta di un modo per valorizzare alcune scelte progettuali come ad esempio l'impiego di materiali riciclabili, in quanto essi nella fase del fine vita genereranno, non soltanto un guadagno ambientale, evitando la produzione di rifiuti, ma anche un guadagno in termini economici, evitando i costi di smaltimento in discarica. Disporre di questi valori è molto utile nel caso – molto comune – di un calcolo in parallelo *Life Cycle Cost*

(LCC) – *Life Cycle Assessment* (LCA).

CARBON FACTOR - WRAP132

Nel caso in cui si abbia a disposizione un maggior numero di informazioni legate al progetto, come ad esempio la quantità di materiale impiegato e quindi le tonnellate di rifiuti prodotti a fine vita, WRAP mette a disposizione un altro strumento di calcolo, anch'esso free to use e user friendly: si tratta di un carbon calculator, ovvero un foglio di calcolo in cui che, dopo aver inserito la quantità di rifiuti prodotti in tonnellate e aver associato ad ogni materiale lo scenario di smaltimento previsto, restituisce le emissioni di CO₂ equivalente generate. Il calcolo viene svolto utilizzando dei fattori di emissione di gas effetto serra, facendo uso di indici elaborati da WRAP che sono resi noti in una sezione dedicata del foglio di calcolo. Tra questi è stato possibile notare da subito una "standardizzazione" dei valori, che in alcuni casi non vengono diversificati per scenari di smaltimento differenti. Il motivo di guesta standardizzazione, come riportato nelle istruzioni d'uso del foglio¹³³, le emissioni legate allo smaltimento dei rifiuti vengono calcolate da WRAP in accordo con la metodologia del GHG Protocol, che prevede di tenere conto dei soli impatti legati al trasporto dei rifiuti, fatta eccezione per la messa in discarica di materiali non inerti, i quali vanno incontro a biodegradazione rilasciando metano (CH₄).

Dal momento che lo scopo della ricerca è reperire degli indici che permettano di calcolare le emissioni in base al tipo di materiale e di smaltimento, si prende atto del fatto che quelli sviluppati e utilizzati da WRAP sono troppo generici e non soddisfacenti ai fini della ricerca.

DEFRA – UK GOVERNMENT GHG CONVERSION FACTORS

Un altro possibile riferimento per gli indici di emissioni sono i Carbon Factors che vengono forniti e aggiornati ogni anno dal Department for Environment,

132 http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Carbon_Factors_for_CD Waste.xlsm

133 http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:7p1-vflsNlgJ:www.wrap.org. uk/sites/files/wrap/Carbon_Factors_for_CD_Waste.xlsm+&cd=1&hl=it&ct=clnk&gl=it

134 https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2019

135 2012 Guidelines to Defra / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting: Methodology Paper for Emission Factors, DEFRA, 2012, p. 74.

Food & Rural Affairs (DEFRA), un reparto esecutivo del Governo britannico che è responsabile – fra le altre – anche delle questioni legate al cambiamento climatico. Ogni anno, infatti, vengono pubblicate le linee guida per le imprese per la *quantificazione e comunicazione del loro consumo di energia e di gas serra*¹³⁴. Insieme alle linee guida vengono forniti i *conversion factors*, fattori di conversione per convertire le attività delle imprese in impatti energetico-ambientali. Questi sono pubblicati sottoforma di foglio di calcolo.

Lo *UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting* rappresenta il database ufficiale del Governo britannico per i fattori di emissione di diverse attività, tra cui l'uso di energia, il consumo di acqua, lo smaltimento e il riciclo dei rifiuti e i trasporti. Anche qui le categorie di impatto vengono suddivise nei tre ambiti stabiliti nel Greenhouse Gas Protocol Corporate Standard, a cui il metodo di calcolo fa diretto riferimento. Gli indici che riguardano la gestione dei rifiuti sono suddivisi per tipo di rifiuto e per modalità di smaltimento, e si trovano all'interno dello Scope 3.

Trattandosi dunque di una metodologia coerente a quella proposta dal GHG Protocol all'interno dello Scope 3, si può capire che i valori degli indici sono allo stesso modo standardizzati sulla base delle sole emissioni legate al trasporto in discarica e il rilascio di gas effetto serra per processi di biodegradazione che possono avvenire in discarica. Nel documento in cui viene esposta la metodologia di calcolo¹³⁵, poi, è riportato che, a partire dal 2012, essa si trova in linea con quanto previsto dal WRI all'interno del *GHG Protocol Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard*.

Di conseguenza un'azienda o organizzazione che sceglie di riciclare alcune tonnellate di rifiuti a fine vita, vedrà una riduzione negli impatti che dipende esclusivamente dalla minore quantità di rifiuti da gestire e non dalla scelta di smaltimento più attenta all'ambiente.

IMPATTI AMBIENTALI LEGATI AL TRASPORTO DEI RIFIUTI IN DISCARICA

La metodologia con la quale sono stati stimati, da WRAP e da DEFRA¹³⁶, gli impatti legati al trasporto dei rifiuti dal sito di demolizione al sito di smaltimento è basata su stime di dati medi di distanze e consumi dei diversi mezzi di trasporto, dalle quali è stato ricavato un valore di impatto per ogni tonnellata di rifiuto; pertanto la variazione dei valori di impatto dipenderà unicamente dalla quantità di rifiuti da trasportare e da smaltire.

Dal momento che uno degli obiettivi del presente studio è stato quello di sviluppare una metodologia specifica per il calcolo dei trasporti (descritta nel capitolo successivo) si è deciso di utilizzare questa anche nella fase del fine vita piuttosto che quelle precedentemente descritte, al fine di assicurare un calcolo più preciso e coerente.

EPA

L'EPA (*Enviromental Protection Agency*) è un'agenzia indipendente del Governo Federale degli Stati Uniti per la protezione ambientale. Fondata nel 1970, si occupa di valutazioni ambientali, ricerca e divulgazione scientifica. La missione di EPA è quella di proteggere la salute umana e l'ambiente. Per questo motivo EPA pubblica sul suo sito e rende disponibili a tutti i risultati delle proprie ricerche.

WARM - WASTE REDUCTION MODEL

Questo strumento sviluppato da EPA nasce come supporto per la gestione dei rifiuti solidi e per permettere ad aziende ed organizzazioni di dichiarare in maniera volontaria le emissioni di gas effetto serra e gli impatti energetici legati ai diversi sistemi di gestione. WARM calcola le emissioni o impatti evitati per comparazione tra due scenari che vengono configurati dall'utente stesso, che può scegliere come gestire i rifiuti tra le diverse alternative di riduzione delle risorse, riciclo, digestione anaerobica, incenerimento o dismissione in discarica.

136 ibidem.

137 https://www.epa.gov/warm/waste-reduction-model-warm-material-descriptions-and-data-sources

In questo modo è quindi possibile evidenziare la differenza di impatti ambientali che esiste tra una gestione responsabile e virtuosa dei rifiuti, rispetto ad una gestione più sommaria e meno attenta.

L'aspetto che distingue il lavoro di WARM rispetto quelli precedentemente descritti è la totale trasparenza che deriva dalla pubblicazione di tutti i dati necessari a comprendere le modalità di sviluppo del loro sistema¹³⁷. Infatti, dalla sezione dedicata del sito web è possibile scaricare tutti i documenti che descrivono metodologie di calcolo e di sviluppo dei fattori di emissione per ogni singolo materiale o gruppo di materiale, ognuno dei quali viene descritto all'interno di un capitolo dedicato.

Sono disponibili, poi, documenti che trattano questioni a monte del calcolo come confini di sistema, definizioni, acronimi e altre questioni complesse come quella del sequestro di carbonio, e documenti che approfondiscono le diverse strategie possibili di gestione dei rifiuti (riduzione delle risorse, digestione anaerobica, compostaggio, incenerimento e messa in scarica). I documenti che entrano nel merito delle questioni di calcolo degli indici vengono suddivisi in base alla tipologia di materiali e si trovano capitoli dedicati a: metalli, prodotti a base di carta, plastiche, biopolimeri, rifiuti derivanti dal cibo, personal computer, pneumatici. Nello specifico della categoria dei materiali da costruzione e demolizione si trovano poi: asfalto, calcestruzzo, tappeti, mattoni, cartongesso, isolamento in fibra di vetro, ceneri volanti, pavimenti in resina, pavimenti in legno, prodotti a base legno.

Ultimi ma non per importanza altri documenti aggiuntivi che forniscono informazioni su fattori di energia e di emissioni applicati in WARM. Quello più rilevante è una guida su come trattare i materiali che non si trovano all'interno di questi capitoli e dove possono essere collocati, ai fini del calcolo, in base alle proprie caratteristiche.

Sviluppo di una nuova metodologia

Dopo aver analizzato la metodologia sviluppata da alcuni dei più importanti enti ed organizzazioni nel campo della valutazione degli impatti ambientali, ai fini dello sviluppo dello strumento di calcolo EURECA, si è ritenuto opportuno elaborare una metodologia propria avendo riscontrato lacune e semplificazioni in quelle già presenti in letteratura.

I motivi che hanno portato a prendere questa decisione sono riportati di seguito: scarsa rappresentatività dei dati presi in esame: molti di questi infatti, per i motivi precedentemente trattati, considerano solo gli impatti relativi al trasporto al centro di smaltimento, fornendo un dato medio e parziale;

origine dei dati variabile/variabilità dell'origine dei dati: i consumi di energia e le emissioni di gas serra possono variare di molto a seconda del paese nel quale avviene la valutazione; infatti, le modalità di alimentazione energetica degli impianti possono variare dal combustibile fossile all'energia rinnovabile, con impatti sensibilmente differenti;

difficoltà di interpretazione dei dati: nella maggior parte dei casi l'impatto, nonostante sia costituito da diversi contributi parziali (trasporto, lavorazione, emissioni di gas da decomposizione, ecc.), viene presentato come un numero unico, un dato aggregato che non permette di distinguere il valore dei diversi contributi parziali;

scarsa trasparenza: per poter stimare gli impatti, enti ed organizzazioni lavorano in collaborazione con industrie e aziende, dalle quali, per motivi di privacy, non sempre sono autorizzati a pubblicare dati e informazioni ritenute sensibili.

L'obiettivo di EURECA è quello di proporre un metodo di valutazione degli impatti energetico-ambientali più intuitivo ed immediato per l'utente, ma costruito sulla base di una solida metodologia di calcolo che sia al contempo trasparente e coerente. Tale metodologia deve mantenersi coerente e compatibile con le linee guida proposte dal GHG Protocol, fornendo un'ulteriore informazione relativa al

valore degli impatti *effettivi* delle scelte progettuali, che, in conformità con la UNI EN 15978, riporti, a parte, i valori degli impatti evitati: con queste informazioni è possibile analizzare in maniera critica le scelte progettuali effettuate e valutare eventuali alternative.

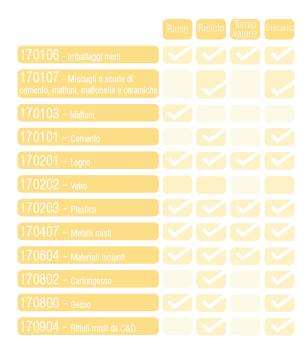
I valori di emissioni di GHG e quelli legati agli impatti energetici utilizzati nel modello di calcolo sono stati (in parte) estrapolati dalla documentazione del *Waste Reduction Model* pubblicata dall'EPA. Le modalità con cui questi sono stati applicati nel software vengono esposte nei paragrafi che seguono.

ASPETTI TEORICI

I tipi di rifiuto presi in considerazione dal software sono quelli che più comunemente vengono prodotti all'interno di un cantiere di demolizione, organizzati secondo il codice di riferimento del Catalogo Europeo dei Rifiuti (CER)¹³⁸.

Rispetto al codice CER i materiali che sono stati presi in considerazione sono: Imballaggi misti (150106), Miscugli o scorie di cemento (170107), mattoni mattonelle e ceramiche (170107), Mattoni (170103), Cemento (170101), Legno (170201), Vetro (170202), Plastica (170203), Metalli misti (170407), Materiali isolanti (170604), Gesso (170802), Cartongesso (170800), Altri rifiuti pericolosi (compreso amianto) (170903*), Rifiuti misti da C&D (170904), Terra e rocce, non contenenti sostanze pericolose (170504).

138 "II CER Codice Europeo dei Rifiuti, è un codice identificativo, posto in sostituzione al codice italiano, che viene assegnato ad ogni tipologia di rifiuto in base alla composizione e al processo di provenienza. II CER (in vigore dal 1 gennaio 2002) è composto da sei cifre. [...] I nuovi codici CER, decisione 2014/955/UE, sono in vigore dal 01.06.2015 (fonte www. aerecologia.it).



Gli scenari di smaltimento prefigurati sono riuso, riciclo, incenerimento con recupero di energia e dismissione in discarica. Per ogni tipologia di rifiuto sono disponibili solo alcuni scenari di smaltimento, che dipendono dalle caratteristiche proprie del materiale. In Figura 4 sono riportati i possibili scenari di smaltimento e/o recupero associati ad ogni categoria di rifiuto.

RICICLO

L'EPA definisce il riciclo come

the separation and collection of wastes, their subsequent transformation or remanufacture into usable or marketable products or materials, and the purchase of products made from recyclable materials (EPA, 2012)

la separazione e raccolta dei rifiuti, la loro conseguente trasformazione e lavorazione in prodotti o materiali usabili o vendibili, e l'acquisto di prodotti fatti da materiali riciclabili (EPA, 2012).

Il riciclo è un processo che prevede recupero di materiale giunto a fine vita, che può essere effettuato in due modalità: nel primo caso un prodotto viene trasformato e reimmesso nel medesimo processo produttivo e si parla di riciclo a ciclo chiuso; nel secondo caso il materiale viene immesso in un processo diverso da quello da cui è stato prodotto e si parla di riciclo a ciclo aperto. Quando un materiale viene riciclato, esso viene usato al posto di materiale vergine nel processo di produzione, piuttosto che essere dismesso e trattato come rifiuto. Di conseguenza il riciclo può ridurre gli impatti energetici e le quantità di gas effetto serra emesse in due modi, che dipendono dal tipo di materiale: in un caso esso sostituisce una parte degli impatti prodotti durante l'estrazione delle materie prime, la loro lavorazione e il trasporto del materiale vergine; nel caso invece di prodotti a base legno e carte, il loro riciclo aumenta la quantità di carbonio stoccato nelle foreste¹³⁹.

Un prodotto per cui è previsto il recupero non potrà mai essere riciclato completamente, a causa di perdite di materiale durante il processo di demolizione e/o durante il processo di riciclo; la metodologia di calcolo degli impatti di WARM tiene conto di queste perdite.

139 U.S. Environmental Protection Agency Office of Resource Conservation and Recovery, Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model (WARM), Construction and Demolition Materials Chapters, 2016.

TERMOVALORIZZAZIONE

L'incenerimento di rifiuti solidi all'interno di strutture *Waste to Energy* (WTE) comporta emissioni di CO₂ e N₂O. Le strutture WTE possono essere suddivise

in tre categorie:

a combustione di massa;

modulare;

Refuse-Derived Fuel (RDF)

L'impianto a combustione di massa è l'unico che EPA utilizza per lo sviluppo degli indici di impatto, e si tratta di un impianto che genera elettricità e/o vapore dalla combustione di rifiuti solidi misti. Questo studio ha analizzato le emissioni nette di gas serra derivanti dalla combustione di rifiuti singoli e misti, ad eccezione del calcestruzzo per asfalto, del muro a secco e dell'isolamento in fibra di vetro, i quali tipicamente non vengono bruciati a fine vita.

PRODUZIONE DI ENERGIA DA INCENERIMENTO (WASTE TO ENERGY)

La maggior parte degli impianti WTE negli Stati Uniti produce elettricità. Solo pochi co-generano elettricità e vapore. In questa analisi, l'EPA presuppone che l'energia recuperata con la combustione di Rifiuti Solidi Urbani (RSU) sia sotto forma di elettricità. Vengono utilizzati tre fattori per stimare le emissioni di CO₂ legate alla produzione di energia elettrica che sono evitate grazie alla combustione di rifiuti in un impianto di incenerimento con recupero di energia: il *contenuto energetico* dei rifiuti misti e di ciascun materiale di scarto considerato separatamente, *l'efficienza del sistema* e *le emissioni* che si avrebbero se la produzione di quella stessa elettricità avvenisse per mezzo di metodi tradizionali.

DISMISSIONE IN DISCARICA

Quando rifiuti organici (alimentari, carta e legno) vengono dismessi in discarica i batteri anaerobici degradano il materiale, producendo metano (CH₄) e anidride carbonica (CO₂). Nel caso invece di materiali inerti, si considera che i rifiuti, non generando emissioni in atmosfera, non comporteranno alcun impatto ambientale se non quello del consumo del suolo, di cui non si tiene conto in questa sede. Non tutte le discariche lavorano allo stesso modo, poiché alcune prevedono il

recupero del gas metano e il suo stoccaggio, altre prevedono lo smaltimento del metano tramite combustione e recupero di elettricità, altre ancora non ne prevedono il recupero. Gli indici di riferimento sono stati calcolati secondo le modalità di una discarica che non recuperi il metano emesso. Per la maggior parte dei rifiuti da C&D dunque le emissioni per la dismissione in discarica sono molto basse perché includono solo le emissioni legate ai trasporti dalle apparecchiature di discarica

La stima delle emissioni nette di gas a effetto serra derivanti dalla messa in discarica dei materiali viene effettuata sommando le emissioni di $\mathrm{CH_4}$, quelle di $\mathrm{CO_2}$ dovute al trasporto, le emissioni di carbonio stoccato e le emissioni di GHG evitate.

Embodied Energy di fine vita

Con impatto energetico si intende il fabbisogno energetico dei processi di smaltimento e lavorazione dei rifiuti. Essi sono strettamente connessi con gli impatti ambientali. Gli impatti energetici sono costituiti dalla somma dei contributi parziali, che vengono suddivisi in questo modo:

apporti che dipendono dal materiale

apporti legati ai processi di lavorazione

apporti che dipendono dal trasporto dei rifiuti

Apporti che dipendono dal materiale

Questi contributi si verificano nel caso di scenari di smaltimento che prevedano recupero di materiale o di energia, per i quali sia quindi possibile quantificare gli impatti evitati o i guadagni ambientali. Nel caso di riuso e riciclo tale apporto è rappresentato dal *fabbisogno di energia primaria diretta e indiretta*, riportato con segno negativo, in quanto la lavorazione del riciclo del materiale evita la produzione del materiale vergine. Nel caso di termovalorizzazione, invece, gli apporti che dipendono dal materiale sono rappresentati dall'*energia di feedstock* o *contenuto energetico del materiale*, ovvero il potere calorifico del materiale che verrà trasformato, tramite il processo di termovalorizzazione verrà trasformato in energia elettrica.

Apporti legati ai processi di lavorazione

Il fabbisogno energetico della lavorazione dei rifiuti¹⁴⁰ si presenta solo in scenari che prevedano un recupero di materiale o di energia previo processo di trasformazione, quindi il riciclo e la termovalorizzazione. Per il riuso e la dismissione in discarica si assume che i rifiuti non siano soggetti ad alcun tipo di trasformazione se non eventualmente spostamenti interni alla discarica, il cui fabbisogno energetico è considerato trascurabile.

Nel caso del proces<mark>so di</mark> incene<mark>rimen</mark>to, viene riportato un valore negativo che corrisponde al quantitativo di energia elettrica prodotta dall'impianto di termova-

140 U.S. Environmental Protection Agency Office of Resource Conservation and Recovery, *Documenta*tion for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model (WARM), Construction and Demolition Materials Chapters, 2016 lorizzazione bruciando una tonnellata di rifiuto.

Apporti che dipendono dal trasporto dei rifiuti

Con trasporto dei rifiuti si intende il tragitto dal sito di demolizione al sito di smaltimento. Il fabbisogno energetico di questa componente dipende dalla quantità di carburante consumata per trasportare i rifiuti, che a sua volta dipende dalla quantità di rifiuti trasportati, dal tipo di mezzo impiegato e dalla distanza percorsa. La stima degli impatti viene effettuata adottando la metodologia sviluppata in questo stesso studio a partire dalla norma UNI EN 16258:2013, descritta nel capitolo precedente. Per semplicità di calcolo all'interno di EURECA si presenta uno scenario in cui tutti i rifiuti sono trasportati presso un'unica centrale di smaltimento, a partire dalla quale poi saranno trattati secondo i diversi tipi di scenario configurati. Il fabbisogno energetico è suddiviso nella sua quota diretta ed indiretta.

Embodied Carbon di fine vita

Come visto per gli impatti energetici, anche nel caso degli impatti ambientali generati dallo smaltimento di un rifiuto vengono calcolati come la somma dei valori che rappresentano gli impatti di tutti i trasporti e delle lavorazioni che portano il rifiuto alla conclusione del suo ciclo di vita. Anche questi contributi vengono suddivisi in tre tipi, ciascuno dei quali può essere composto da una quota indiretta ed una quota totale. Essi sono:

- · apporti che dipendono dal materiale;
- apporti legati ai processi di lavorazione;
- apporti che dipendono dal trasporto dei rifiuti.

APPORTI CHE DIPENDONO DAL MATERIALE

Questi contributi si verificano nel caso di scenari di smaltimento che prevedano recupero di materiale o di energia, per i quali sia quindi possibile quantificare gli impatti evitati o i guadagni ambientali. Nel caso di riuso e riciclo tale apporto

è rappresentato dagli impatti generati dai processi di produzione del materiale da materie prime con segno negativo, in quanto impatti non generati grazie alla sostituzione del materiale vergine con materiale riciclato. Le emissioni vengono riportate nella loro quota diretta e indiretta.

Negli scenari di termovalorizzazione e dismissione in discarica gli apporti ambientali vengono identificati con il quantitativo di *carbonio incorporato* nel materiale, dal momento che questi tipi di smaltimento comportano il rilascio in atmosfera della ${\rm CO_2}$ incorporata o la produzione di ${\rm CO_2}$ in seguito a processi di biodegradazione.

Apporti legati al processo di lavorazione

Gli impatti dei processi di lavorazione dei rifiuti¹⁴¹ si presentano solo in scenari che prevedano un recupero di materiale o di energia previo processo di trasformazione, quindi il riciclo e la termovalorizzazione. Per il riuso e la dismissione in discarica si assume che i rifiuti non siano soggetti ad alcun tipo di trasformazione se non eventualmente spostamenti interni alla discarica, i cui impatti vengono considerati trascurabili.

Il valore di impatto ambientale legato al processo di lavorazione per lo smaltimento dei rifiuti è stato calcolato a partire dal fabbisogno energetico degli stessi, considerando – in mancanza di indicazioni più precise – che il combustibile impiegato nella produzione di energia elettrica fosse il gas naturale: dunque è stato utilizzato il fattore di emissione relativo al gas naturale fornito dall'International Panel On Climate Change (IPCC) [fonte]:

impatto ambientale $[kgCO_2eq]$ = impatto energetico [MWh] * 277 $[kgCO_2eq/MWh]$ Anche in questo caso gli impatti vengono scomposti nella loro quota diretta ed indiretta.

Nel caso del processo di termovalorizzazione in questa parte viene riportato il saldo tra le emissioni di gas effetto serra che derivano dalla produzione di energia elettrica per mezzo della termovalorizzazione del legno, rispetto a quelle che

141 U.S. Environmental Protection Agency Office of Resource Conservation and Recovery, *Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model (WARM), Construction and Demolition Materials Chapters*, 2016 deriverebbero dalla produzione della stessa quantità di energia elettrica facendo uso di metodi tradizionali (si assume che venga prodotta tramite combustione di gas naturale). Se il saldo è negativo, ci si trova nel caso di un risparmio ambientale:

Apporti che dipendono dal trasporto dei rifiuti

Con trasporto dei rifiuti si intende il tragitto dal sito di demolizione al sito di smaltimento. L'impatto di questa componente dipende dalla quantità di rifiuti trasportati, dal tipo di mezzo impiegato e dalla distanza percorsa. La stima degli impatti viene condotta mediante la metodologia sviluppata da questo stesso gruppo di ricerca a cui è dedicato il capitolo precedente. Per semplicità di calcolo all'interno dello strumento di calcolo si presenta uno scenario in cui i rifiuti sono trasportati tutti presso un'unica centrale di smaltimento a partire dalla quale poi saranno trattati secondo i diversi tipi di scenario configurati. In questo modo è possibile inserire un solo numero di chilometri come distanza dal centro di smaltimento, e semplificare i dati di input.

Gli impatti sono distinti fra fonte rinnovabile e fonte non rinnovabile: la distinzione è fatta nell'ottica di un sempre maggiore impiego di mezzi elettrici anche per trasporti pesanti anche se al momento attuale la prassi continua ad essere quella di impiegare mezzi che fanno uso di combustibile fossile (diesel o benzina).



CASO STUDIO

Solar Decathlon LAC 2019



142 https://www.solardecathlon.gov/about.html

Il Solar Decathlon è una competizione universitaria internazionale nata nel 2002 su iniziativa del Dipartimento di Energia degli Stati Uniti (U.S. Department of Energy). In ogni competizione un minimo di 20 squadre composte da studenti di tutto il mondo si sfidano a progettare e costruire edifici altamente efficienti ed innovativi, alimentati unicamente da energia solare.

Gli obiettivi della competizione sono¹⁴²:

fornire agli studenti una preparazione approfondita sull'energia pulita, in vista della loro vita professionale;

educare gli studenti e il pubblico sulle tecnologie e sui materiali più recenti nel campo dell'efficienza energetica;

dimostrare a un pubblico – a volte scettico – il comfort che si può ottenere anche nel campo della costruzione ad alta efficienza energetica.

Storia

A partire dal 2002, con cadenza biennale, si sono tenute le prime edizioni della competizione negli Stati Uniti: le prime 6 (2002 – 2013) si sono svolte nel *Villaggio Solare* del National Mall di Washington D.C. Dopo questa edizione il Solar Decathlon, vista la risonanza che ha avuto nelle altre parti del mondo, si diffonde internazionalmente fino ad organizzare la sua struttura secondo cinque categorie geograficamente distinte:

- Solar Decathlon China: si sono già effettuate due edizioni, una nel 2013, vinta dall'università australiana di Wollongong, e una nel 2018, vinta dal team composto dall'Università Tecnologica della Cina del Sud e Politecnico di Torino;
- Solar Decathlon Europa: di cui si sono già svolte tre competizioni, delle quali due a Madrid in Spagna (2010, 2012) e una in Francia (2014), ed una è in previsione per il 2019 in Ungheria;
- Solar Decathlon Latino America e Caraibi: di cui una edizione si è già svolta nel 2015 in Colombia, a Santiago de Cali vinta dall'università dell'Uruguay

e una è in previsione per il 2019 sempre in Colombia a Cali;

 Solar Decathlon Medio Oriente: di cui è prevista un'edizione che si terrà a Dubai nel 2020.

La partecipazione alle diverse competizioni è aperta a tutte le università di tutti gli Stati: ciò che distingue le competizioni delle cinque categorie sono i requisiti specifici che vengono calibrati sulla base della collocazione geografica della competizione.

DI seguito uno schema in cui vengono presentate tutte le edizioni passate del Solar Decathlon e i rispettivi vincitori. Ad oggi hanno partecipato alla competizione 160 team di studenti è un totale di 19000 persone provenienti da tutto il mondo.

Competizione

Come anticipa il nome stesso, gli studenti si sfidano nell'ambito di 10 discipline, organizzate in 10 gare, che permettono di ottenere, sulla base della valutazione di una giuria di esperti, un massimo di 100 punti ciascuna, per un totale di 1000 punti.

Gli ambiti valutati sono i seguenti:

Architettura

Architettura

Ingegneria e costruzione

Energia

Efficienza energetica

Bilancio di energia elettrica

Comfort

Condizioni di comfort

Funzionamento dell'abitazione

Ambito socioeconomico

Comunicazione, marketing e consapevolezza sociale

Disegno urbano, trasporti e accessibilità economica

Strategie

Innovazione

Sostenibilità

La competizione prevede una fase di progettazione, della durata di alcuni mesi (normalmente più di un anno) durante la quale i team sono tenuti a rispettare delle scadenze e a inviare delle relazioni di avanzamento del progetto. Sia le date sia i contenuti dei documenti da consegnare sono comunicati all'inizio del concorso. La mancata o ritardata consegna di questi documenti porta dei punti di penalità alla squadra. Per ogni relazione consegnata si riceva un documento di risposta, che consiste in una valutazione dello stato di avanzamento del progetto ed eventuali dubbi ed osservazioni su di esso.

In questi mesi che precedono la fase di cantiere, oltre a studiare soluzioni progettuali innovative e competitive, è compito dei team anche trovare delle aziende *sponsor*, che in cambio di visibilità in questo concorso internazionale, forniscono materiali in maniera gratuita o con agevolazioni. Questa possibilità se da un lato è chiaramente un grande vantaggio economico per le università che partecipano al concorso dall'altro lato è in parte vincolante per il progetto, dal momento che si rischia facilmente di scegliere un prodotto rispetto ad un altro (magari anche con prestazioni energetico-ambientali migliori) solamente per la sua fornitura gratuita o agevolata.

La fase di cantiere dura due settimane, durante le quali i 40 decatleti costruiscono l'edificio. È importante in questa fase saper coordinare tempi di lavoro e tempi di consegna dei materiali, dal momento che l'area della competizione è la stessa per tutti, e all'interno di essa ad ogni team viene assegnata un'area di competenza dalla quale non è possibile sforare nemmeno per il deposito temporaneo dei materiali da costruzione.

L'ultima fase della competizione, a cantiere concluso, consiste nella verifica e

monitoraggio delle prestazioni dell'edificio che sono state dichiarate in fase di progetto. Ci sono poi alcuni eventi da organizzare al suo interno (ad esempio l'organizzazione di una festa e di una cena) a dimostrazione dell'effettiva abitabilità e del funzionamento dell'edificio. Durante questa fase gli edifici sono aperti al pubblico, per cui sarà permesso ai turisti di visitare le abitazioni.

La competizione si chiude con la proclamazione del progetto vincitore ed infine con la fase di smontaggio degli edifici.

Solar Decathlon Latino America and Caribbean 2019

Nel 2016 è stata approvata (da parte del Governo della Colombia, del Dipartimento di Pianificazione Nazionale e del Dipartimento di Energia del Governo degli Stati Uniti) l'organizzazione della seconda edizione del Solar Decathlon Latino America and Caribbean, che si terrà nel dicembre 2019 a Santiago de Cali, in Colombia.

Una volta ufficializzato il contest viene pubblicato sul sito della competizione il documento contenente tutte le informazioni necessarie alla competizione 143: gli obiettivi del contest, le regole, i requisiti del progetto, le modalità di valutazione dei diversi ambiti. Inoltre sono già presenti anche informazioni circa le date del concorso e delle consegne intermedie. Infatti la partecipazione al Solar Decathlon prevede un percorso lungo mesi, durante il quale ogni team dovrà rispettare delle scadenze e inviare degli stati di avanzamento del progetto, per un totale di 5 consegne intermedie, il cui grado di dettaglio e di definizione del progetto aumenta sempre più.

143 SOLAR DECATHLON, Draft Rules Latin America and Caribbean, Cali, December 2019, Version 1.0



Approfondimento: le regole del concorso Draft Rules Latin America and Caribbean, Cali, December 2019

Introduzione

In questa parte viene fornita una breve descrizione del concorso internazionale e vengono delineati gli obiettivi per cui il concorso è stato concepito e i principi che lo regolano.

In particolare, il regolamento dichiara che lo scopo generale dell'organizzazione è quello di contribuire alla conoscenza e alla diffusione di abitazioni solari sostenibili e industrializzate, e gli obiettivi di base sono i seguenti:

- Accrescere la conoscenza degli studenti partecipanti sui benefici e le opportunità offerte dall'uso di energie rinnovabili e la costruzione sostenibile;
- Sfidare i professionisti a utilizzare materiali e sistemi che riducano l'impatto ambientale dell'edificio lungo tutto il ciclo di vita;
- Educare il pubblico all'uso responsabile dell'energia, all'energia rinnovabile e all'efficienza energetica;
- Enfatizzare il corretto ordine di intervento: in primo luogo ridurre il consumo dell'edificio e aumentare la sua efficienza energetica e, solo in seguito, integrare sistemi solari attivi e altre tecnologie rinnovabili;
- Incoraggiare l'uso di tecnologie solari;
- Promuovere soluzioni architettonicamente gradevoli, per sostituire i materiali da costruzione convenzionali nell'involucro dell'edificio (tetto, lucernari o facciate) con tecnologie solari;
- Dimostrare che le case ad alta prestazione solare possono essere confortevoli, gradevoli e accessibili.

Il regolamento verte ad incoraggiare una progettazione che sia in linea con quattro principi fondamentali:

- Social Housing: il primo principio è quello di eliminare le diseguaglianze sociali, dimostrando che le case sostenibili, basate su fonti di energia alternative, possono essere accessibili a tutta la popolazione, e non ad una minoranza privilegiata.
- Urban Density: vengono valorizzati progetti che ottimizzano l'impronta architettonica e urbana. Devono essere affrontati il tema dell'accessibilità delle persone con disabilità agli spazi pubblici e dei piani superiori degli edifici. È richiesto un masterplan urbano che dimostri chiaramente la distribuzione dei blocchi, delle aree pubbliche, dell'accessibilità e delle attrezzature urbane. La sfida è ottenere la massima densità possibile. Inoltre, il costo diretto dell'intera costruzione non deve superare i \$50.000.
- Uso razionale delle risorse ambientali: la competizione incoraggia strategie di progettazione a supporto di un bilancio ambientale che garantisca la disponibilità permanente delle risorse, per raggiungere alti livelli di sostenibilità energetica, disponibilità idrica e controllo dei rifiuti.
- Importanza regionale: anche se sono ammessi progetti pensati per il contesto di origine dei progettisti, sono preferibili progetti che siano appropriati alle condizioni culturali, economiche e climatiche dell'area Tropicale.

Infine, in questa parte introduttiva viene fornito un elenco di definizioni generali utili alla lettura del regolamento e vengono definiti i ruoli degli organizzatori e dei team partecipanti.

Sezione 1: Regole Generali

Vengono delineate le regole relative agli aspetti generali della competizione, con una descrizione dell'organizzazione, dei team partecipanti, del sito, delle case, del periodo di esibizione e concorso in loco. Sono messe in evidenza regole generali sulla partecipazione al concorso, sull'organizzazione e amministrazione, norme di comportamento nel Solar Village e atteggiamenti adeguati da mantenere durante la fase di evento nel sito, nonché alcune norme generali sulla monitorizzazione del prototipo da parte delle giurie.

Sezione 2: Gare

Vengono definite le singole gare e sotto-gare, inclusa la distribuzione dei punteggi, i criteri di valutazione e le procedure associate.

 Contest 1: Architettura – 100 punti. Obiettivo principale è valutare l'efficienza spaziale, l'uso di materiali appropriati in relazione alle strategie bioclimatiche per il futuro del social housing nel contesto latino americano e caraibico.

La valutazione è effettuata da una giuria multidisciplinare composta da tre membri, professionisti riconosciuti nell'ambito dell'architettura, architettura bioclimatica, urban planniq ecc...

Contest 2: Ingegneria e costruzione – 100 punti. L'obiettivo è valutare la costruzione e il progetto del sistema ingegneristico e la realizzazione in sito.
 Le squadre dovranno dimostrare la viabilità, l'adeguata integrazione e l'alto livello di funzionalità della struttura, dell'involucro, dell'elettricità, della costruzione e progetto del sistema solare e delle tubature.

La valutazione è effettuata da una giuria multidisciplinare composta da tre membri, professionisti riconosciuti in diversi ambiti dell'ingegneria, come ingegneria civile, energetica, edilizia residenziale ecc...

Contest 3: Efficienza energetica

- Sub-contest 3.1: limite di consumo energetico 50 punti. Il punteggio massimo sarà conferito agli edifici che, al termine del periodo specificato per il bilancio energetico, misurerà un consumo elettrico ≤90kWh
- Sub-contest 3.2: Correlazione temporanea generazione-consumo 50 punti. Il punteggio massimo è conferito se la quantità di energia generata e simultaneamente consumata equivale alla quantità totale di energia generata.

Contest 4: Bilancio di energia elettrica

L'obiettivo è misurare l'energia elettrica autosufficiente della casa attraverso un bilancio tra generazione elettrica e consumo.

- Sub-contest 4.1: Bilancio di energia quasi zero 60 punti. Il massimo dei punti è conferito nel caso in cui si misuri un bilancio di energia elettrica netta di almeno 0 kWh ma inferiore a 20kWh;
- Sub-contest 4.2: Picchi energetici 40 punti. Limitare i picchi di richiesta energetica a 3kWh al giorno per ottenere il punteggio massimo.

Contest 5: Condizioni di comfort

L'obiettivo è misurare le condizioni interne come temperatura, umidità, acustica e illuminamento per calcolare la sensazione di comfort interno in ogni soluzione abitativa.

- Sub-contest 5.1: Temperatura 50 punti;
- Sub-contest 5.2: Umidità 20 punti;
- Sub-contest 5.3: Illuminazione naturale 20 punti;
- Sub-contest 5.4: Ambiente sonoro e prestazione acustica.
- Isolamento acustico da rumori esterni 5 punti
- Tempo di riverberazione nel soggiorno 5 punti.

Contest 6: Funzionamento dell'abitazione

L'obiettivo è misurare a funzionalità di un insieme di apparecchiature per assicurare la normale operatività dell'abitazione.

- Sub-contest 6.1: Refrigerazione 8 punti;
- Sub-contest 6.2: Congelamento 8 punti;
- Sub-contest 6.3: Lavaggio e asciugatura vestiti 12 punti;
- Sub-contest 6.4: Microonde − 5 punti;
- Sub-contest 6.5: Frullatore 5 punti;

- Sub-contest 6.6: Cucina 10 punti;
- Sub-contest 6.7: Elettronica domestica (PC, TV, video DVD) − 7 punti;
- Sub-contest 6.8: Attività sociali 15 punti;
- Sub-contest 6.9: Consumo acqua 12 punti;
- Sub-contest 6.10: Prelievo di acqua calda (PC, TV, video DVD) 18 punti;

Contest 7: Comunicazione, Marketing e consapevolezza sociale – 100 punti

L'obiettivo è valutare le migliori strategie di comunicazione per generare consapevolezza sociale riguardo al progetto e ai benefici della sostenibilità di sistemi solari utilizzati in edilizia.

Contest 8: Urban Design e accessibilità – 100 punti

L'obiettivo è incoraggiare una ricerca per un denso progetto urbano applicato al contesto Latino-Americano e Caraibico per realizzare una proposta sia innovativa che pratica per una casa a basso costo.

- Sub-contest 8.1: Urban Design 50 punti;
- Sub-contest 8.2: Accessibilità e redditività del mercato 20 punti;
- Sub-contest 8.3: Dimostrazione dei costi di sviluppo del prototipo
 punti;

Contest 9: Innovazione – 100 punti

L'obiettivo è stimare l'incorporazione di soluzioni creative per migliorare lo status convenzionale di vivibilità dell'architettura, dell'ingegneria e dell'edilizia, dell'Efficienza energetica, dell'urbanistica e della convenienza, aumentandone il valore e/o migliorando le sue prestazioni ed efficienza.

Contest 10: Sostenibilità – 100 punti

L'obiettivo è quello di focalizzare il progetto sulle riduzioni degli impatti ambientali a lungo termine. Saranno valutati:

- Sostenibilità in Architettura: valutazione dell'origine, rinnovabilità e la convenzionalità delle risorse utilizzate per la costruzione del prototipo. L'integrazione architettonica dei principi bioclimatici e di eco-efficienza. L'ottimizzazione di caratteristiche naturali per ridurre il consumo di energia (uso ottimale della luce naturale, ventilazione, involucro trasparente) e la selezione dei materiali (enfatizzando gli aspetti ecologici e l'eventuale riuso o riciclo degli stessi).
- Sostenibilità in Ingegneria e nella Costruzione: flessibilità della struttura e possibilità di essere riutilizzata, gestione della generazione dei residui del processo di costruzione, dalla produzione dei materiali (compresa l'energia) alla configurazione finale. Le simulazioni di Ciclo di Vita proposte dai gruppi saranno valutate al fine di comprendere quanto a lungo termine ogni gruppo abbia concepito la sua abitazione.
- Sostenibilità nell'efficienza energetica: valutazione valutare il grado di autoapprovvigionamento locale e le strategie di adattamento del consumogenerazione di correlazione temporanea.
- Sostenibilità nella progettazione urbana e accessibilità: valutare i fattori che influenzano direttamente la sostenibilità della produzione industriale delle case, il grado di flessibilità d'uso, le esigenze di manutenzione, l'ottimizzazione dei processi di costruzione, nonché la sostenibilità della strategia di mobilità direttamente correlata alle case e al loro contesto. Sarà valutata la redditività economica dell'industrializzazione per ridurre i costi di costruzione, tenendo conto delle diverse possibilità del modello e dell'estensione del sistema per una maggiore densità e migliori condizioni di sostenibilità.

Sezione 3: Consegne

Include informazioni dettagliate relative a tutti i documenti, disegni e altro materiale che i team sono tenuti a consegnare agli organizzatori nelle date comunicate e secondo i format richiesti.

Sono specificati la lingua ufficiale della competizione, l'inglese e le unità di misura conformi per ogni team partecipante:

- Sistema metrico decimale per le misure;
- Gradi Celsius (°C) per le temperature;
- Watt (W), kilowatt (kW) o kilowattora (kWh) per l'energia elettrica.

In questa sezione è inserito un calendario con tutte le consegne intermedie da effettuare prima dell'inizio della competizione.

n°	Fecha	Actividad
1	16 abr 2018	Envio formao minuta "Acuerdo de Participacion en SDLAC 2019"
2	18 may 2018	Plazo maximo firma "Acuerdo de Participacion en SDLAC 2019"
3	1 jun 2018	Sorteo asignaciòn Lote para equipos
4	17 - 30 sept 2018	Actualizacion del "Team members and Team crew"
5	10 ago 2018	Entregable n°1
6	5 y 6 oct 2018	Workshop n°1
7	14 dic 2018	Entregable n°2
8	26 Feb y 2 mar 2019	Workshop n°2 y aprobacion desemoldo n°1 por COL\$100 000 000
9	25 may 2019	Entregable n°3
10	21 y 22 junio 2019	Workshop n°3
11	21 oct a 6 nov 2019	LLegada y recibo de Contenedores en la Villa Solar
12	28 sep 2019	Entregable n°4
13	8 nov 2019	Acto de inauguracion y apertura Villa Solar para los equipos
14	8 - 28 de nov 2019	Periodo de Ensamble y montaje de prototipos en la Villa Solar
15	29 y 30 nov 2019	Inspección Tecnica y emisión certificado de partecipación
16	1 dic 2019	Cerimonia INAUGURACION SDLAC 2019
17	2 - 15 dic 2019	COMPETENCIA
18	13 dic 2019	Entregable n°5
19	15 dic 2019	Ceremonia CLAUSURA
20	16 - 22 dic 2019	Desmonte Prototipos y entrega de Terreno. Emision Acta de Cierre

La partecipazione del Politecnico di Torino è prevista a supporto della *Pontificia Universidad Javeriana*, PEI "MÁQUINA VERDE – EL ARCA," Colombiacon sede a Bogotà, in Colombia. In particolare la partecipazione del Politecnico di Torino ha l'obiettivo di contribuire al progetto circa i temi della sostenibilità ambientale, in parte con proposte progettuali e in parte con valutazione degli impatti del progetto. Il team del Politecnico di Torino, coordinato dai professori *Roberto Giordano* e *Lorenzo Savio*, insieme alla dottoranda *Monica Munoz Veloza*, si compone di due coppie di tesisti (*Federica Gallina* con *Benedetta Quaglio*, *Marco D'Amico* con *Maria Caterina Dadati*) e una coppia di studenti (*Andres Felipe Cruz Rodri*-

guez con Juliana Jimenez Camacho). Coordinati dai professori, ciascun gruppo affronta diverse tematiche di sostenibilità ambientale finalizzate alla partecipazione al Solar Decathlon I AC 2019.

Benedetta Quaglio e Federica Gallina: questo è il gruppo della presente tesi, il cui contributo per il Solar Decathlon LAC sarà la valutazione degli impatti energetico-ambientali del progetto, ovvero quantificazione dell'Embodied Energy e Embodied Carbon tramite l'applicazione dello strumento di calcolo EURECA.

Contest 2 — Ingegneria e costruzione — Efficienza energetica, Analisi dell'Embodied Energy ed Embodied Carbon

Contest 10 – Sostenibilità – Sostenibilità in architettura – materiali e principi utilizzati

Marco D'amico e Maria Cristina Dadati: il gruppo approfondisce il tema del *raingarden* studiando i vantaggi che derivano dalla sua applicazione in architettura, i possibili metodi di integrazione tecnologica con essa.

Contest 2 – Ingegneria e costruzione – Strategie per il risparmio di energia

Contest 9 – Innovazione – In efficienza energetica

Andres Felipe Cruz Rodriguez e Juliana Jimenez Camacho: il gruppo si occupa della valutazione dell'efficienza energetica dell'edificio mediante l'utilizzo del software Edge. La certificazione Edge è un requisito obbligatorio per la partecipazione al concorso.

Contest 10 – Sostenibilità – In efficienza energetica









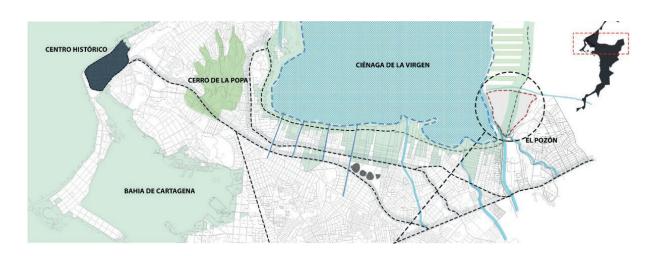


hacia punamid pacifico CARTAGRIA DE INOAS BARRAMA PRANAMA PRAN

localizzazione di cartgena

Progetto per il Solar Decathlon LAC 2019 CALI

Il materiale che è riportato in questo capitolo è stato interamente prodotto dal team per il Solar Decathlon LAC composto da studenti dell'Unuiversità Javeriana di Bogotà e studenti del Politecnico di Torino. Tale materiale viene allegato alla presente tesi di laurea, con l'autorizzazione del suddetto team progettuale, al fine di presentare il caso studio e contestualizzare la valutazione di impatto ambientale per cui è stato sviluppato lo strumento di calcolo EURECA.





il contesto della Ciénaga de la Virgen

Màquina Verde - El Arca

Il progetto proposto dalla Pontificia Universidad Javeriana affronta la sfida dell'abitabilità per le popolazioni più vulnerabili dei Caraibi colombiani come intervento strategico di grande opportunità per ripensare gli schemi urbani e architettonici convenzionali di questi territori.

Gli elementi fondanti del progetto sono due: *L'Arca* come elemento culturale di riparo, salvaguardia e coesione sociale, e la *Macchina verde* come dispositivo di









riattivazione produttiva. La Màquina Verde è pensata per

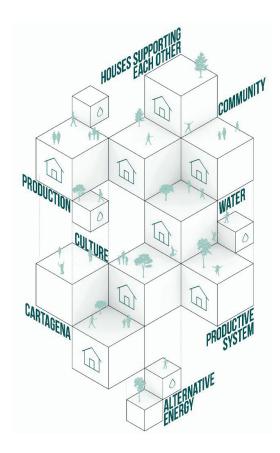
la zona in espansione di "El Pozón", un quartiere con gravi problemi sociali e rischio imminente di inondazioni, situato nel sud-est di "La Ciénaga de La Virgen" dove il più grave episodio di inondazioni è avvenuto nel 2011.

Il quartiere di *El Pozón*, a Cartagena, si trova infatti in una delle aree più fragili dal punto di vista ambientale: il 60% dei suoi edifici è a rischio di inondazioni dirette. Il quartiere ha ora più di 40.000 persone distribuite in 3 settori, di cui 2 formalizzati e con accesso ai servizi pubblici. Secondo l'amministrazione distrettuale della città, il 70% degli abitanti del quartiere vive in condizioni di povertà.

IL SITO DI PROGETTO

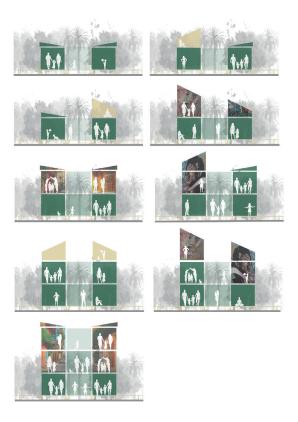
La *Cienaga de la Virgen* è una struttura ecologica e ambientale composta principalmente da grandi aree di mangrovie ai suoi bordi e un grande specchio d'acqua al suo interno che raggiunge 7 km alla sua massima lunghezza e 4,5 km alla sua massima larghezza, con profondità tra 1,5 m e 1,7m. È una laguna costiera collegata al Mar dei Caraibi e, quindi, un caso studio esclusivo, riguardante il problema continuo del cambiamento climatico globale.

Una delle qualità paesaggistiche più straordinarie di Cartagena, e che storicamente l'ha distinta in questo aspetto, è la sua posizione tra i bordi naturali che hanno trasformato l'insediamento storico della città in una vera fortezza per la città coloniale in tempi del Regno spagnolo: la palude di mangrovie, costeg-



giando l'intero ecosistema della *Ciénaga de la Virgen*, ha generato un'importante parete vegetale.

Questo ecosistema naturale è di grande valore e potenziale ecologico dal momento che ha ospitato una ricca diversità di specie e che funge anche da sistema di smorzamento delle maree e controllo delle inondazioni naturali delle coste. Tuttavia, oggi in questi luoghi di presenta una situazione critica principalmente causata dall'inquinamento e dall'elevata fragilità ambientale a causa di tre motivi principali: la ricezione del 60% delle acque reflue della città, la scarsa protezione ambientale dell'ecosistema e lo sviluppo informale delle abitazioni di Cartagena.



PRODUZIONE PRODUZIONE PRODUZIONE

L'intera proposta, dal suo intervento urbano all'unità abitativa, ha un solo obiettivo: la produzione. La vera sostenibilità fa un passo oltre il bilancio energetico zero e crea un nuovo modello scalabile e replicabile che lo rende praticabile. Uno dei grandi problemi di Pozón, a Cartagena è la quantità di pioggia che ha. Enormi strati d'acqua mensili coprono il territorio causando inondazioni e, con essi, danni alle comunità che lo abitano. La Maquina Verde trasforma il problema dell'acqua in un punto di forza, pensando ad un sistema produttivo in cui l'acqua viene utilizzata per produrre energia. Il sistema produttivo è pensato in maniera tale che ciascuna unità abitativa contribuisca alla produzione, creando un sistema all'interno del quale si riducono gli sprechi, e lavoro e guadagno vedono equamente divisi nella comunità.

RAGGRUPPARE

Il modello di abitazione presentato per il concorso si colloca nel contesto urbano come una abitazione generica di 9x9 m. inizialmente essa può contenere 2 abitazioni al primo piano. Successivamente, congiuntamente alle condizioni architettoniche iniziali e alle contingenze ed eventualità di sviluppo progressivo, tipiche degli habitat popolari, queste e altre abitazioni possono essere sviluppate in senso orizzontale e verticale, raggiungendo 6 abitazioni per casa; in questo modo è possibile consentire un sistema urbano che preservi la scala urbana e umana senza implicare un rischio per le strutture.



ABITARE

La "Macchina Verde — L'Arca" è un prototipo di edilizia popolare, il risultato di una riflessione sull'edilizia popolare nei Caraibi colombiani del presente. La proposta dal punto di vista architettonico e tecnico è il risultato di una riflessione su 4 domande specifiche che sono rilevanti per la discussione dell'architettura che viene costruita oggi e che, nella migliore delle ipotesi, deve essere pensata e proiettata da altri punti di vista.

1. Architettura assoluta e chiusa o architettura effimera e aperta?

Di fronte a uno stile di vita che è cambiato e in costante evoluzione, qual è la forma coerente costruita o le possibilità in cui l'architettura può essere iscritta? Il principio architettonico della *Máquina Verde – El arca* è quello di una forma costruita che non intende stabilire soluzioni spaziali definitive. Di fronte a una domanda mobile, le risposte sono mobili.

In termini pratici e specifici, proponiamo rinnovate riflessioni su quegli elementi dell'architettura caraibica che offrono nuove tecniche e risposte spaziali. Per esempio il tetto, oltre ad essere un importante sistema strutturale, è un disposi-



tivo spaziale che protegge gli utenti dalle intemperie. Il tetto può offrire maggiori possibilità architettoniche, bioclimatiche e culturali? Progettato come un dispositivo mobile basato su giunti articolati e con materiali leggeri e a basso costo, il

tetto diventa la grande opportunità della casa per ricreare gli scenari più coerenti e appropriati mentre la casa viene costruita.

Il patio, poi, è un elemento spaziale che cerca di generare una relazione interessante tra interno ed esterno. Lo spazio pubblico può essere integrato con quello privato in modo che la cucina e lo spazio sociale o comune possano espandere i propri confini e assumere la piattaforma e la strada come spazi che possono essere utilizzati dagli utenti e dai non utenti.

2.ARCHITETTURA SOSTENIBILE O ARCHITETTURA AUTOSUFFICIENTE?

In relazione al termine sostenibilità, il progetto non solo propone un'architettura a basso impatto ambientale, ma si spinge oltre, dove l'architettura è più di questo: un'architettura autosufficiente. La *Máquina Verde – El arca* utilizza diverse strategie che promuovono un atteggiamento più autosufficiente che solo sostenibile.

La parete divisoria e il pavimento, contrariamente a quanto accade con il tetto del progetto, sono elementi del progetto che non consentono determinanti di variazioni spaziali, poiché l'alloggiamento è inteso in questo caso come uno spazio contenuto da 2 pareti. Tuttavia, non dovrebbero essere elementi minori. In termini di bioclimatica, la costruzione del muro è una risposta efficace all'isolamento termico e acustico, alla conduzione dell'acqua piovana e ad un modo efficiente di condurre le reti dell'abitazione; evitando in questo modo il condizionamento che può generare elementi come condutture o torri di servizio. Per le sue dimensioni costruttive, le pareti possono essere pensate da materiali diversi coerenti con un nuovo modello di costruzione con un minore impatto ambientale.

Il cortile, o in generale, quegli spazi che inizialmente vengono proiettati come spazi vuoti, sono la grande opportunità di pensare all'edilizia popolare caraibica come una forma costruita che continua a valorizzare gli elementi culturali e tradizionali di ogni casa, dove vengono generati ambienti piacevoli che ti consentono di concepire la casa come un dispositivo intelligente che non utilizza energia inutile a tale scopo.

Il patio è inteso come l'opportunità di stabilire stretti rapporti tra architettura e natura, nonché un elemento di miglioramento che migliora qualitativamente le condizioni climatiche dentro alla casa. Il recinto, inteso come l'insieme di elementi architettonici che definiscono i confini degli spazi architettonici (facciata, pareti divisorie, porte, ecc.) è un sistema artigianale fatto di materiali a basso costo che hanno una relazione culturale con l'utente. I pannelli mobili, le divi-

sioni e la facciata stessa sono proiettate come un sistema versatile in grado di offrire aperture interessanti e modifiche spaziali in tutta la casa, che articolano e allo stesso tempo dividono i diversi spazi della casa.

3. Architettura del nido o architettura della caverna?

L'architetto giapponese, Sou Fujimoto, riesce a ricreare 2 archetipi che rappresentano realtà opposte. Il nido è la figura dell'architettura funzionale e costruita per uno scopo specifico. La grotta, d'altra parte, è la figura del luogo in cui è possibile scoprire o trovare diverse forme di vita e abitabilità. Qual è l'architettura più appropriata da progettare e offrire oggi?

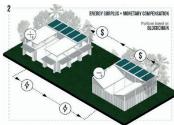
Invece di formulare metodi coercitivi per creare l'architettura, dobbiamo formulare strategie per abitare l'architettura in un modo più stimolante. Di fronte a domande aperte, proposte aperte e inaspettate che vanno oltre lo scopo iniziale. Pertanto, intendiamo l'abitazione come un dispositivo spaziale destinato alla vita e all'habitat in modo dignitoso e che può offrire possibilità in cui la qualità della vita viene migliorata attraverso strategie diverse come produttività, autosufficienza e progressività.

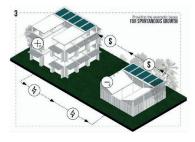
4. ARCHITETTURA COME EVENTO STATICO O COME FENOMENO EVOLUTIVO?

La costruzione di alloggi sociali, così come l'edilizia abitativa in generale, dovrebbe essere collocata in una posizione in cui sia possibile valutarla e consentire che vengano apportate modifiche a beneficio dei suoi utenti o in cui vengano offerte soluzioni statiche che non consentono tali processi e che può anche essere impoverito? La progressività delle abitazioni è una strategia fondamentale nello sviluppo di questa architettura.

La scala, oltre alla sua disposizione, orientamento, misura e comfort è il primo passo, o la prima decisione di innescare una serie di strategie in cui la progressività può avvenire in modo flessibile, aperto e senza restrizioni importanti. Il progetto propone di individuare una scala funzionale, leggera e confortevole in uno spazio strategico, a cui sia possibile accedere in modo dignitoso sia dal







primo piano che dall'accesso alla costruzione stessa, facilitando così l'indipendenza degli spazi nelle case che possono essere costruite in seguito. Separare le piante, così come i diversi spazi della casa in modo confortevole, può offrire un mezzo di progressività non solo in m² ma anche termini economici.

In sintesi, la "Green Machine-The Ark" è un'alternativa che cerca di rispondere alla preoccupazione per il progetto architettonico di *social housing* in modo coerente con le circostanze di un ambiente contemporaneo; in termini di adattabilità, relazione autosufficiente e armoniosa con l'ambiente, dignità e relazione orizzontale e culturale con le persone.

ENERGIA DI PROFITTO PER TUTTI UNA SOCIETÀ SOSTENIBILE



Cosa accadrebbe se non ci fossero sprechi nella raccolta di energia? Se le case di una comunità si supportano a vicenda, per smettere di pensare a un'unità di raccolta e iniziare invece a pensare a un sistema produttivo. La grande sfida è utilizzare il 100% dell'energia catturati da una comunità, i modelli tradizionali sono limitati nello spazio di archiviazione, a seconda della capacità massima di una batteria, e tutta l'energia generata quando questa batteria è piena, viene sprecata, ciò che vogliamo fare è cambiare il modo in cui l'energia è distribuito, per farlo in modo più intelligente, mappando la domanda in tempo reale e reindirizzando il surplus di energia in base alle esigenze della comunità.

Insieme a Cycle, vogliamo integrare la tecnologia all'avanguardia e il potenziamento della comunità per consentire ai proprietari di case di generare surplus di energia pulita e condividerli in comunità in cambio di gettoni. Il sistema Cycle mira a fornire energia pulita, economica ed efficiente in luoghi dove non è mai esistita. Un sistema decentralizzato basato su una rete intelligente di case off-the-grid fonti rinnovabili installate. Questo sistema sa chi ha un surplus di energia, chi ha bisogno di energia e lascia che fluisca attraverso la rete.

Tutte le transazioni sono protette su una Blockchain e la famiglia che condivide la sua energia riceve immediatamente una compensazione monetaria per essa. Il progetto mira a generare una copertura totale per le esigenze degli abitanti attraverso una proposta che soddisfi le loro esigenze economiche e sociali in modo equo e che abbia una portata ambientale per il loro sviluppo. La casa, per il concetto di sostenibilità del progetto, è un elemento fondamentale.

Attraverso un sistema, verrà riconosciuta l'intera comunità, che genererà questa produzione di servizi di base, come l'elettricità; Questo metodo ci aiuterà a verificare quanta energia genera o consuma ogni famiglia. Allo stesso modo, le famiglie che hanno un consumo più elevato, che dipende da un certo tipo di attività, come negozi, parrucchieri, ecc. saranno in grado di acquistare energia dai loro vicini. In questo modo, viene generato un ritorno monetario per le famiglie che hanno un basso consumo, con la possibilità di immagazzinare l'energia e venderla. La casa rispetterà l'ambiente e creerà la propria energia in base al numero di persone che la occupano. Infine, ciò che otterremo da questa strategia è un aiuto collettivo che genererà denaro in sé per il risparmio e un'opzione per migliorare la qualità della vita, in armonia con i mezzi per migliorare la qualità della vita e la sostenibilità della comunità.

STRATEGIE BIOCLIMATICHE

Il design principale del progetto è quello di un guscio che conterrà tutte le sue funzioni e servizi tecnologici. Sono presenti due zone *sociali*, una è il patio e l'altra il portico, progettato per la ventilazione della casa e la sua permeabilità alla comunità; sarà una costruzione parzialmente ermetica a causa del clima del luogo, poiché questa zona presenta temperature intorno ai 28°C o 32°C. Per la maggior parte dell'anno piove e l'umidità è intorno al 78% e 82% e può generare problemi ai materiali se la casa non ha una buona ventilazione.

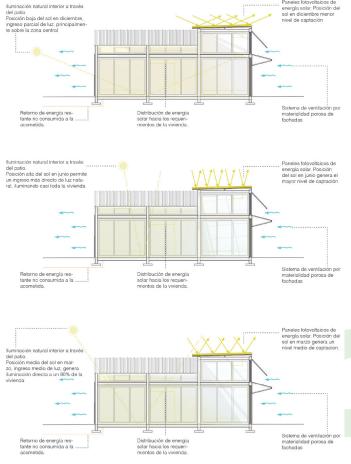
I progetti sono orientati in modo che l'abitazione sia naturalmente ventilata, rialzata di 50 cm da terra, cosa che consente il passaggio dell'aria che raffreddi le parti frontali della casa che si presentano più umide e calde, anche sul retro. Il patio, aperto nelle ore di massimo calore, consente di ventilare le stanze e le officine. Le finestre saranno costituite da un vetro e da una zanzariera, per la protezione solare verrà aggiunta una misura di SPF come vetro polarizzato e gli scuri varieranno radialmente per ciascuna delle aree della casa in base al loro scopo (camere da letto, cucina e bagni).

La distribuzione della casa è un corridoio aereo che va dalla parte anteriore al centro, rendendo una distribuzione stabile ed equa a ciascuno degli spazi. I materiali della facciata sono a prova d'acqua, in modo che non facciano passare l'acqua piovana e danneggiare qualsiasi elemento della casa, ma nella parte superiore si pensa un giunto dilatato in modo che l'aria possa anche passare in entrambe le direzioni creando un sistema ciclico all'interno della casa; Il portico è uno spazio che assorbe la luce solare diretta evitando un improvviso aumento della temperatura.

La casa non avrà alcun tipo di riscaldamento a causa delle alte temperature che l'area ha durante tutto l'anno; La cattura della luce solare è pensata attraverso i pannelli solari che aiutano a produrre energia elettrica sufficiente e sostenibile. Un deumidificatore si trova nella parte inferiore della casa per un controllo ottimale della temperatura, poiché i suoi cambiamenti di temperatura sono estremi in alcuni casi. Questa acqua verrà raccolta dall'acqua piovana per un consumo inferiore della casa.

La cucina è la stanza più complessa, poiché è l'area con la più alta energia radiante e con un alto livello di umidità; per questo ha la proprietà di poter aprirsi al portico per avere una ventilazione efficace e anche rendere l'architettura più flessibile grazie ai suoi cambiamenti climatici.

Secondo il piano generale, la distribuzione delle case sarà configurata da 3 canali artificiali che fungono da ammortizzatori ambientali. Nonostante le complicate condizioni meteorologiche di alcuni periodi dell'anno, i quartieri periferici come El Pozón sono gravemente colpiti dall'inverno, sia la pianificazione urbana che l'architettura di questi territori sono risposte precarie a assumere i cambiamenti del clima.

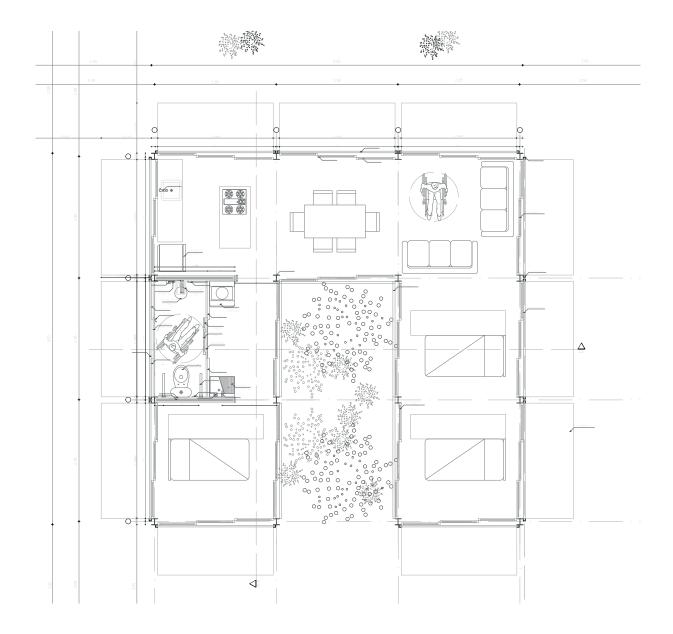


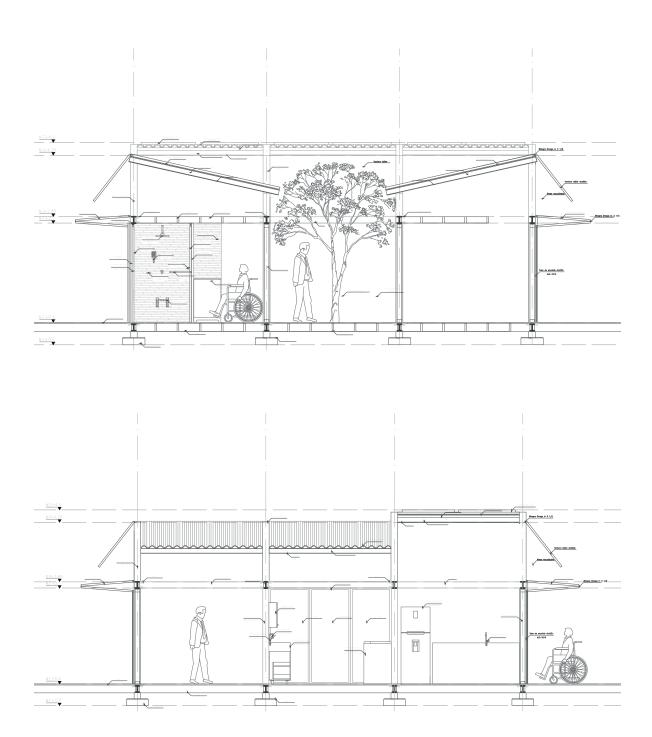
IL PROGETTO architettonico

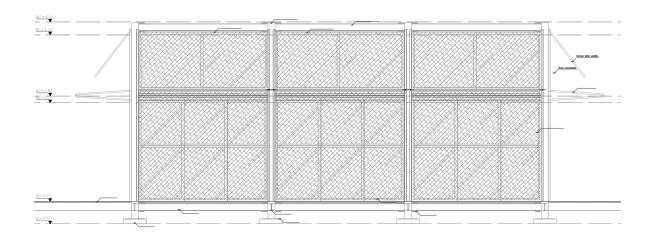
Maquina Verde è il risultato del lavoro svolto durante tre anni di ricerche dal gruppo PEI, facoltà di architettura della PUJ. La destinazione d'uso prevista è quella della residenza sociale, pensata per il quartiere El Pozòn della città di Cartagena, in Colombia. La dinamica della permeabilità tra vita privata e pubblica data dalle condizioni climatiche e dalle configurazioni spaziali si traduce nella casa in elementi architettonici, come il patio e il portico, portando ad una reinterpretazione della casa caraibica, nei limiti richiesti dalle regole di concorrenza.

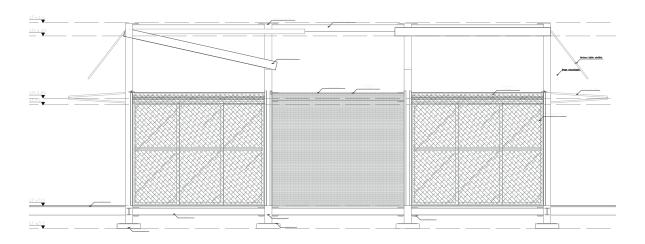
Da concorso è stabilito un limite di superficie utile di 81 m² (9m x 9m); l'edificio è costituito da un piano fuori terra, composto da una zona giorno a doppia altezza (soggiorno, sala da pranzo e cucina), bagno e zona notte. ed un secondo livello per un eventuale ampliamento a seconda delle esigenze dell'utente, posto all'altezza di 2,20m. Tutti gli spazi affacciano sono aperti da un lato su un patio centrale e dall'altro verso lo spazio pubblico esterno.

Di seguito viene riportata una descrizione degli elementi tecnici che costituiscono l'edificio.









STRUTTURA

La struttura, sollevata da terra di 0,50 m da plinti in cemento armato (0,50 m x 0,50 m), è pensata in travi e pilastri in acciaio. L'edificio e il patio hanno una struttura con pilastri e travi in acciaio e travetti in legno; la piattaforma con scale e rampe dello spazio esterno, invece, ha una struttura indipendente in acciaio.

Copertura

Il sistema di copertura dell'edificio prevede due soluzioni distinte: una copertura inclinata, posta in corrispondenza dei moduli che ospitano la zona notte, che, con un sistema di movimentazione, può essere portata in posizione orizzontale, per permettere di sfruttare lo spazio sottostante e fungere da base per un'eventuale sopraelevazione; una copertura orizzontale, posta sopra la zona giorno, sopra la quale sono collocati i pannelli fotovoltaici.

La copertura inclinata è composta da un sistema di travi in legno, cassoni in legno su cui poggia la lastra grecata di rivestimento in PVC. La copertura fissa, invece, ha una struttura in travi di acciaio e travetti in legno di pino amarillo su cui poggia la lastra grecata di rivestimento in PVC.

Partizioni orizzontali

Il solaio del primo livello, sopraelevato di 0,50 m rispetto al suolo, è composto da una struttura in travi in acciaio e travetti in legno, su cui poggia la pavimentazione in teak di pino amarillo.

Il solaio del secondo livello è composto da travi in acciaio e travetti in legno, su cui poggia la pavimentazione in quadua.

SISTEMA DI FACCIATA

NVOLUCRO TRASPARENTE

L'involucro trasparente dell'edificio è costituito da infissi con telai in PVC e vetri a doppia lastra con interposta una pellicola riflettente, per il controllo della radiazione solare.

SCHERMATURA

Per la facciata è stato pensato un sistema mobile pieghevole in corrispondenza del

primo e basculante in corrispondenza del secondo livello, realizzato con tessuto vegetale di Palma Seje, proveniente dalla regione di Ayapel nel dipartimento di Cordoba in Colombia, intrecciato e sostenuto da una cornice di travetti in legno: questo sistema, oltre ad essere ottimale in questa zona climatica in termini di comfort termico, agevolando la ventilazione naturale, e per il controllo dell'ingresso di luce naturale, consente alla casa di poter essere completamente apribile e configurabile in base alle esigenze dell'utente.

Sostenibilità

Vengono proposte diverse strategie in accordo con gli obiettivi del concorso, a partire dal sistema autosufficiente di energia elettrica dall'installazione e dal funzionamento dei pannelli solari. Inoltre, è incluso un sistema complementare che consente all'acqua di riscaldarsi. È stato condotto uno studio solare in base alle possibili città in cui verrà collocata la casa, per posizionare la casa in modo da controllare il corretto ingresso della luce naturale e controllare la temperatura interna. In termini di materiali, l'abitazione cerca di stabilire un equilibrio tra dispendio energetico e conseguenti emissioni dal processo di produzione, incorporando materiali di produzione industriale compensati da elementi artigianali.

RENDER

APPLICAZIONE DI EURECA AL CASO STUDIO

Risultatti e report tecnico



Informazioni sul calcolo LCA

Un approccio al ciclo di vita dell'edificio implica una progettazione che tenga conto di tutte le fasi della costruzione dell'edifico, dall'estrazione

delle materie prime alla previsione degli scenari di smaltimento futuri dei suoi componenti. Per effettuare l'analisi del ciclo di vita dell'edificio progettato dal Team per il Solar Decathlon LAC 2019 è stato utilizzato uno strumento di calcolo ideato da un gruppo di ricerca del Politecnico di Torino, EURECA, che consente di effettuare una analisi LCA che restituisce due indicatori di impatto: Embodied Energy, relativo al fabbisogno energetico incorporato di tutti i materiali che compongono l'edificio, ed Embodied Carbon, legato alle emissioni di gas serra incorporate nei materiali. I principi che hanno orientato la progettazione fanno riferimento a:

- uso di materie prime naturali, come il materiale vegetale derivante dalla Palma Seje, per i sistemi di facciata, il legno utilizzato per i travetti che sostengono i Tejidos e il sistema strutturale secondario dell'edificio e la guadua di rivestimento per i solai interni;
- uso di materiali riciclabili, come l'acciaio e il pvc, i quali pur essendo caratterizzati da alti valori di Embodied Energy, hanno ormai raggiunto alti tassi di riciclabilità (anche all'80%);
- impiego di sistemi componibili a secco, per agevolare lo smontaggio ed il reimpiego dei componenti al termine del concorso: l'edificio infatti è pensato per essere completamente smontato dal sito di Cali ed essere rimontato a Cartagena de Indias come modello di buone pratiche di sostenibilità.

Unità funzionale

Secondo lo standard ISO 14044: 2006, l'unità funzionale è l'unità di riferimento su cui di norma si basa un'analisi del ciclo di vita di un prodotto o di un processo. La sua definizione è funzionale alla determinazione degli impatti e degli effetti ambientali, così come al confronto fra prodotti o sistemi di produzione. Il calcolo

degli impatti energetico-ambientali dell'intero edificio è normalizzato rispetto alla sua superficie di riferimento energetico, pertanto l'unità dichiarata equivale ad 1 m^2 . Il ciclo di vita stimato è pari a 50 anni.

Confini del sistema

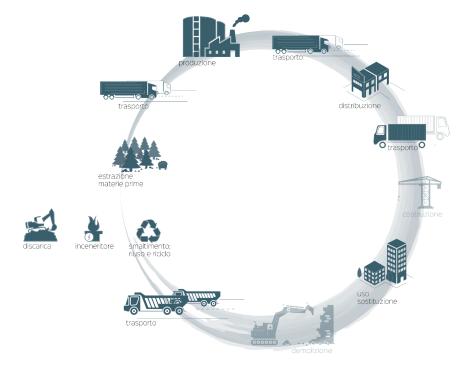
I confini del sistema determinano le unità di processo che devono essere incluse nell'LCA. In accordo con la UNI 15978 del 2011¹⁴⁴, il foglio di calcolo EURECA consente di eseguire una analisi LCA lungo tutto il ciclo di vita dell'edificio. Le fasi incluse nel calcolo sono:

- A1-A3: Fase di produzione fuori opera di materiali, componenti, impianti, serramenti (gli indicatori calcolati sono: Embodied Energy iniziale, Embodied Carbon iniziale e indice di rinnovabilità (EErin/EEtot));
- A4: Fase di trasporto dal sito di produzione del materiale o componente al sito di costruzione, oppure dal sito di produzione al luogo di distribuzione, e da questo al sito di costruzione (gli indicatori sono EE ed EC di trasporto). Come si vedrà in seguito, molti dei componenti dell'edificio sono prodotti a partire da materie prime provenienti da aree molto distanti rispetto al sito di costruzione; si prevede, pertanto, che la fase di trasporto inciderà in maniera significativa rispetto agli impatti totali;
- B3-B5: Fase di manutenzione e sostituzione dei componenti dell'edifico, inserendo il valore di cicli di sostituzione (gli indicatori sono EE ed EC periodica). Per questa fase sono stati stimati i valori di vita utile dei materiali impiegati ricavata da schede tecniche o, in assenza di queste, da dati medi di letteratura;
- C2-C4, e D: Fase di fine vita, ipotizzando i possibili scenari di smaltimento, al termine della vita utile dell'edificio. Il *Greenhouse Gas Protocol* dal 2012 stabilisce che il calcolo degli impatti legati alla fase di fine vita tenga conto solo di quelli dovuti al trasporto dei rifiuti dal sito di demolizione al centro di smaltimento più vicino. In accordo con la UNI 15978, però, è stato calcolato a parte anche il cosiddetto *modulo D* che riporta gli *impatti evitati*, e cioè tutte le emissioni in atmosfera e l'energia non consumata

144 UNI EN 15978, Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method, 2011.

grazie all'utilizzo di soluzioni che permettono il riuso, riciclo o recupero di materiali e componenti dell'edificio, risparmiando i costi energetici ed atmosferici dovuti alla produzione di nuovi prodotti da materiale vergine o la produzione di energia da fonti tradizionali, sostituite dall'energia recuperata tramite *termovalorizzazione*.

Fig. x Fasi del ciclo di vita prese in cosiderazione per il calcolo



Criteri di esclusione

In questo paragrafo vengono riportate le semplificazioni e/o assunzioni stabilite nell'elaborazione dell'analisi.

Non sono state prese in considerazione le seguenti fasi del ciclo di vita: A5 – Costruzione, B6, B7 – Fase d'uso, C1 – Demolizione. Per un numero limitato di materiali, in mancanza di dati diretti, sono stati presi dati medi e generali da banche dati e da riferimenti della letteratura scientifica.

Per la definizione dei trasporti dei materiali, le distanze sono state stimate

STRUTTURA IN ACCIAIO

Specifiche tecniche

densità: 7850 kg/m²

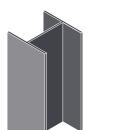
 EE_{min} : 1,072 MJ/kg

 EE_{TOT} : 18,148 MJ/kg

EC : 1,2553 kgCO₂eq/kg







HEB 15*15*330

x 12

Produttore

Gerdau[®] Midlothian Steel Mill 300 Ward Road, Midlothian, TX

Fornitore

CYRGO®

Carrera 1H # 37 - 16

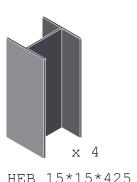
Cali, CO

Itinerario

Gerdau[®], Porto Alegre (Brasile) Cyrgo[®] SAS, Cali Universidad Del Valle, Cali

Distanza di viaggio e tipo di trasporto

7000 km - trasporto su strada



PALMA DE SEJE (intelaiatura tejidos)

x 9



tejido 2,8*1,27

x 32



tejido 2,8*1,20

Ayapel Bogotà

Specifiche tecniche

densità: 600 kg/m³

 EE_{TOT} : 1,81 MJ/kg

EC: -1,69 kgCO_seq/kg

Luogo di coltivazione della palma

Ayapel Dipartimento di Cordoba, CO

Produttore

INMUNIZADORA DE MADERAS SERRANO GÓMEZ S.A.

Carrera 68B No.22 -13

Bogotá, Colombia.

Itinerario

Ayapel, Dipartimento di Cordoba SERRANO GÓMEZ S.A., Bogotà Universidad Del Valle, Cali

Distanza di viaggio e tipo di trasporto 1340 km - trasporto su strada

VETRO PLANILUX

Jacareì

Specifiche tecniche Cali

Soacha

densità: 2500 kg/m²

 EE_{rinn} : 10,62 MJ/m²

 EE_{mom} : 298,62 MJ/m²

EC: 26 kgCO₂eq/kg

Produttore 1

Saint Gobain[®]
Avenida do Cristal, 540
Jacareí/SP - Brasil

Fornitore 2

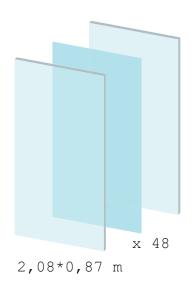
Vidrio Andino[®]
Km 6.5 vía Soacha - Mondoñedo
Soacha - Cundinamarca Colombia

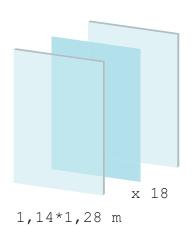
Itinerario

Saint Gobain[®], Jacareí (BZ) Vidrio Andino[®], Soacha (CO) AZEMBLA[®] S.A.S., Cartagena (CO) Universidad Del Valle, Cali (CO)

Distanza di viaggio e tipo di trasporto

7898 km - trasporto su strada





TELAIO PVC





peso al m lineare: 2,21 kg/m

 EE_{ring} : 3,58 MJ/kg

 EE_{TOT} : 62,60 MJ/kg

EC: 10,41 kgCO₂eq/kg

Produttore

AZEMBLA® S.A.S. Cr. A Mamonal #14 Cartagena, Colombia

Itinerario

AZEMBLA® S.A.S., Cartagena (CO) Universidad Del Valle, Cali (CO)

Distanza di viaggio e tipo di trasporto 1062 km - trasporto su strada

PAVIMENTO IN GUADUA

Cali Tello Huila

Specifiche tecniche

densità: 700 kg/m³

 EE_{rinn} : 19,17 MJ/kg

 EE_{mom} : 30,55 MJ/kg

EC : $-1,15 \text{ kgCO}_2\text{eq/kg}$

Luogo di coltivazione della guadua

Tello
Dipartimento di Huila (CO)

Produttore

INMUNIZADORA DE MADERAS SERRANO GÓMEZ S.A.[®] Carrera 68B No.22 -13 Bogotá, Colombia.

Itinerario

Tello, Dipartimento di Huila (CO) SERRANO GÓMEZ S.A.®, Bogotà (CO) Universidad Del Valle, Cali (CO)

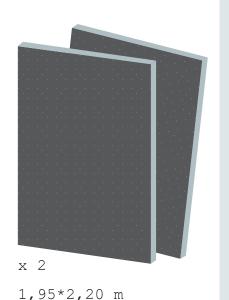
Distanza di viaggio e tipo di trasporto

340 km - trasporto su strada



 $1.3 \, \text{m}^2$

ISOLANTE BLACK THEATER



Cali

Specifiche tecniche

densità: 48 kg/m³

 EE_{rinn} : 11 MJ/m²

 EE_{TOT} : 60 MJ/m²

EC: $2,90 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^2$

Produttore

Fiberglass® Colombia Cl. 3 #3 Este-40 a 3 Este-120 Bogotà, Colombia

Itinerario

Fiberglass® Colombia, Bogotà (CO) Universidad Del Valle, Cali (CO)

Distanza di viaggio e tipo di trasporto 465 km - trasporto su strada

STRUTTURA IN PINO AMARILLO

Houston

Specifiche tecniche

densità: 434 kg/m³

 EE_{rinn} : 3,78 MJ/kg

Barranquilla

 EE_{TOT} : 6,61 MJ/kg

Cali

EC: $-0,95 \text{ kgCO}_2\text{eq/kg}$

Luogo di coltivazione del legno

Average* USA (USA)

Produttore

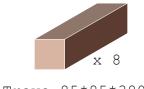
INMUNIZADORA DE MADERAS SERRANO GÓMEZ S.A.® Carrera 68B No.22 -13 Bogotá, Colombia.

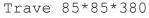
Itinerario

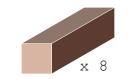
Average* (USA)
Huston Port (USA)
Barranquilla Port (CO)
SERRANO GÓMEZ S.A.®, Bogotà (CO)
Universidad Del Valle, Cali (CO)

Distanza di viaggio e tipo di trasporto

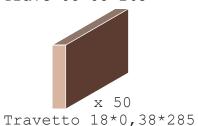
3607 km - trasporto su strada 2943 km - trasporto via nave

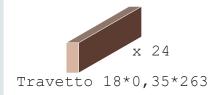


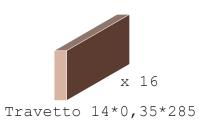




Trave 85*85*263







TEGOLA IN PVC AZEMBLA

Cartagena

Cali

x 2

22,5*3,75 m



9*3,30 m

Specifiche tecniche

peso al m^2 : 4,9 kg/ m^2

 EE_{rinn} : 4,68 MJ/kg

 EE_{TOT} : 70,80 MJ/kg

EC: 2,56 kgCO₂eq/kg

Produttore

AZEMBLA[®] S.A.S. Cr. A Mamonal #14 Cartagena, Colombia

Itinerario

AZEMBLA® S.A.S., Cartagena (CO) Universidad Del Valle, Cali (CO)

Distanza di viaggio e tipo di trasporto 1062 km - trasporto su strada

TEAK IN PINO AMARILLO

Houston

Specifiche tecniche

densità: 383 kg/m³

 EE_{rinn} : 0,95 MJ/kg

Barranquilla

 EE_{TOT} : 3,27 MJ/kg

Cali

EC: $-1,20 \text{ kgCO}_2\text{eq/kg}$

Luogo di coltivazione del legno

Average* USA (USA)

Produttore

INMUNIZADORA DE MADERAS SERRANO GÓMEZ S.A.® Carrera 68B No.22 -13 Bogotá, Colombia.

Itinerario

Average* (USA)
Huston Port (USA)
Barranquilla Port (CO)
SERRANO GÓMEZ S.A.®, Bogotà (CO)
Universidad Del Valle, Cali (CO)

Distanza di viaggio e tipo di trasporto

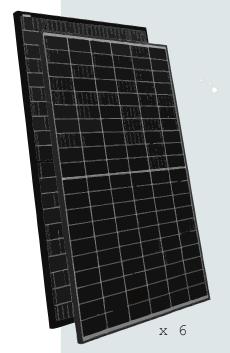
3607 km - trasporto su strada 2943 km - trasporto via nave



tavole 14*25*300

FOTOVOLTAICO

CINA



1,68*1,00 m

Specifiche tecniche

dimensioni: 1*1,68 m

peso: 109 kg

 EE_{TOT} : 1517 MJ/m²

EC: 31 Ryanaventura

Produttore

Jinko Solar Co.® CWP2+G3 Xingyuan Residential District, Shangrao, Jiangxi, Cina

Itinerario

Jinko Solar Co.®, Jiangxi, (CN)

Wenzhou Port (CN)

Buenaventura Port (CO)

Universidad Del Valle, Cali

Distanza di viaggio e tipo di trasporto

540 km - trasporto su strada 16524 km - trasporto via nave attraverso servizi di visualizzazione di carte geografiche e calcolo di itinerari quali Google Maps e Bing nel caso di trasporti su strada, e Marine Traffic¹⁴⁵ per i trasporti via mare.

145 https://www.marinetraffic. com/en/ais/home/centerx:104.7/ centery:2.4/zoom:8

Raccolta dati

Vengono di seguito riportati tutti i materiali impiegati nel progetto, riportando le informazioni fondamentali utilizzate per la compilazione dello strumento di calcolo EURECA:

- Specifiche tecniche del materiale: densità/peso, embodied energy iniziale
 (MJ) suddivisa nelle quote rinnovabile e totale, embodied carbon iniziale
 (kgCO₂eq);
- Informazioni sulla produzione del materiale: luogo di coltivazione/estrazione, produttore, fornitore;
- Itinerario, distanza e tipo di trasporto al sito di progetto.

Categorie di impatto

La scelta di calcolare Embodied Energy ed Embodied Carbon come indicatori di impatto rispetto ad altri è legata all'importanza che rivestono a livello globale e alla necessità di quantificare le due categorie di impatto di maggiore importanza nel settore edilizio, consumo di risorse ed emissioni di CO₂ in ambiente.

Interpretazione dei risultati

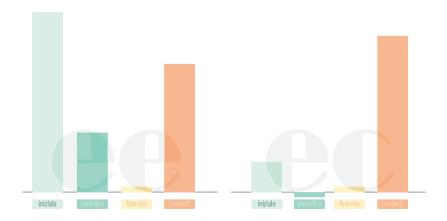
IMPATTI PER FASE

A seguito dell'analisi LCA si è riscontrato che le fasi che incidono maggiormente lungo il ciclo di vita del caso studio sono quella iniziale nel caso dell'Embodied Energy e quella di trasporto nel caso dell'Embodied Carbon. Quest'ultimo risultato dimostra quanto precedentemente ipotizzato (vedi paragrafo *Confini del sistema*), ovvero che la scelta di materiali provenienti da aree molto distanti rispetto al sito di costruzione comporta un forte aumento di emissioni di CO₂ in atmosfera in fase di trasporto. Nella fase iniziale, invece, si riscontra un valore di Embodied Carbon piuttosto ridotto, per via del largo impiego di materiali

naturali in grado di assorbire CO₂ durante la crescita, generando così un credito di carbonio noto come *feedstock carbon*.

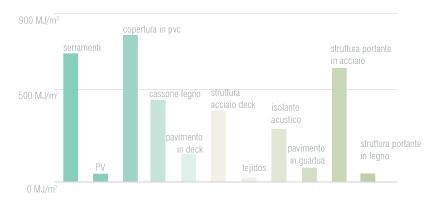
La trascurabilità del valore degli impatti generati dalla fase di fine vita è dovuta alle modalità di calcolo che prevedono di considerare i soli impatti dovuti dal trasporto dei rifiuti al sito di smaltimento (in questo caso solo 30km di distanza). In questo modo si considerano i confini del sistema *cradle to grave*, senza considerare la possibilità di reimmettere i rifiuti generati in un nuovo ciclo di vita. Volendo invece considerare questa possibilità si estendono i confini del sistema oltre la demolizione, adottando i confini *cradle to cradle*. Per fare ciò, ad ogni materiale, sulla base delle sue caratteristiche e delle modalità di assemblaggio all'interno dei componenti dell'edificio, è stato associato uno scenario di smaltimento; dai

	EMBODIED ENERGY [MJ/m²]	EMBODIED CARBON [kgCO ₂ eq/m²]	
TOTALE	3 . 780,70	116,50	
FASE INIZIALE	1 .855,99	1 . 607,59	
FASE PERIODICA	604,94	-184,56	
FASE DI FINE VITA	2,35	16,33	
FASE DI TRASPORTO	1 · 317,41	9 · 138,98	
IMPATTI EVITATI	2.725,62	-106,17	

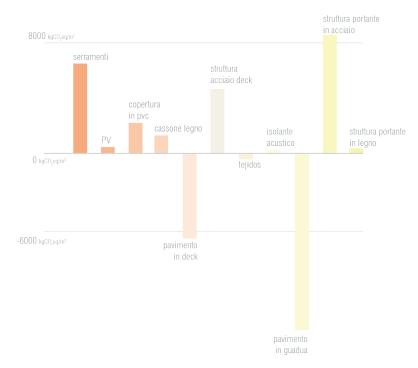


risultati ottenuti risulta che, per quanto riguarda l'Embodied Energy, ipotizzando di riciclare, riutilizzare o termovalorizzare gran parte dei materiali, gli impatti così evitati permetterebbero di compensare quasi completamente quelli generati in fase iniziale e periodica. Ciò è possibile grazie al largo impiego di materiali naturali, come legno e simili, riciclabili, come PVC e acciaio. Per quanto riguarda l'Embodied Carbon, valgono le medesime considerazioni, ma, in questo caso gli impatti evitati permettono di compensare quasi completamente anche gli impatti generati in fase di trasporto, avvicinandosi al concetto di edificio a emissioni quasi zero.

IMPATTI PER MATERIALE

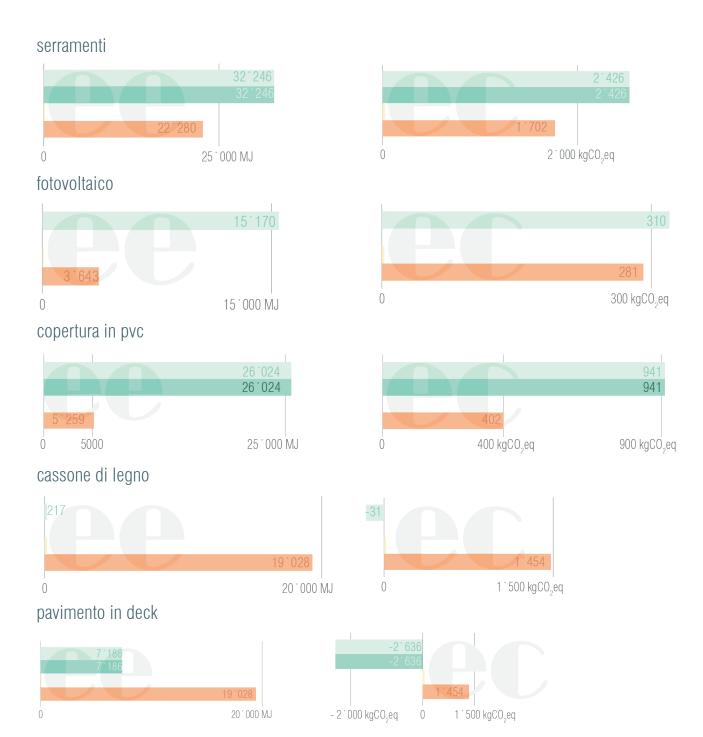


Con riferimento all'unità funzionale, il componente che risulta avere l'impatto energetico maggiore sul totale dell'edificio è la lastra grecata di rivestimento della copertura in PVC, seguita dai serramenti composti da telaio in PVC e vetro accoppiato riflettente. A seguire si colloca la struttura portante in acciaio.

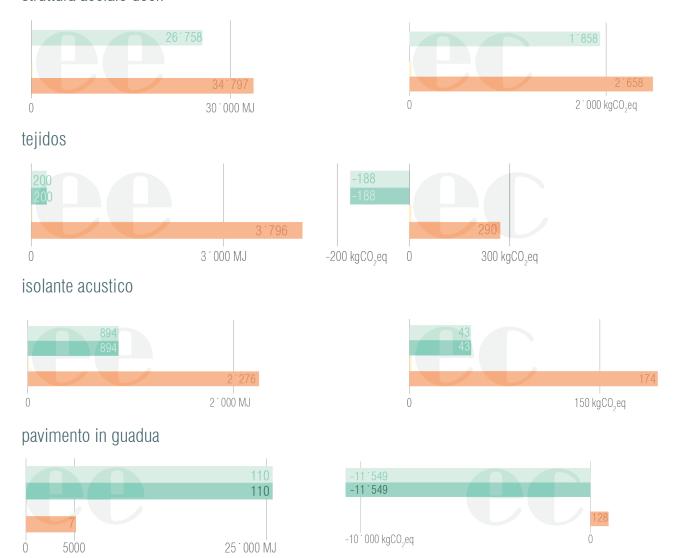


Per quanto riguarda l'impatto ambientale, si riscontrano valori negativi dovuti ai crediti di CO_2 incorporati nei materiali naturali: ciò si verifica nel caso della pavimentazione in guadua e del deck in legno. Negli altri componenti a base legno, invece, non risulta un valore negativo, poiché nel bilancio complessivo di tutte le fasi, le emissioni dovute al trasporto, non solo annullano il credito di CO_2 , ma incrementano il valore di impatto al punto da renderli, dopo la struttura in acciaio e i serramenti, i componenti più impattanti.

Per ciascuna materiale si riportano di seguito i risultati parziali riferiti a ciascuna fase. Dalla lettura di questi grafici risulta che la fase con il maggior impatto è, nella maggior parte dei casi, quella di trasporto.



struttura acciaio deck

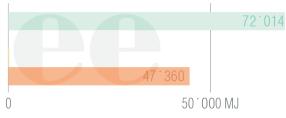


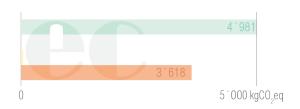
pavimento in guadua





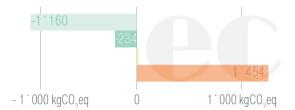
struttura portante in acciaio





struttura portante in legno





Conclusioni

L'obiettivo principale della presente tesi di laurea magistrale è stato quel-

lo di sviluppare uno strumento di supporto decisionale per il progettista, in grado di quantificare la sostenibilità delle scelte progettuali, tenendo conto di tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio.

Per raggiungere tale obiettivo si è partiti dall'implementazione di uno strumento di calcolo esistente, IREEA, che permetteva di calcolare l'Embodied Energy iniziale e periodica di un edificio. L'implementazione ha riguardato l'aggiunta di un indicatore di impatto, l'Embodied Carbon, e l'ampliamento dei confini del sistema: a tale scopo è stata sviluppata una metodologia per la valutazione delle fasi di trasporto e di fine vita, generalmente escluse o trascurate a causa della complessità di quantificazione e di reperimento dei dati, per dimostrarne l'incidenza rispetto agli impatti totali.

Lo strumento, testato in un primo momento nell'ambito del *Master delle costruzioni in legno del Politecnico di Torino*, è stato applicato nel concorso internazionale Solar Decathlon LAC 2019 per la valutazione degli impatti della Vivienda Social, progettata dal team PEI dell'Università Javeriana di Bogotà, ha dimostrato l'incidenza sul bilancio complessivo degli impatti energetico-ambientali delle due fasi aggiunte. Inoltre, analizzare il progetto da più punti di vista per comprendere quale fase, quale materiale e quale componente ha il maggiore impatto sull'intera costruzione, ha dimostrato che progettare con un'ottica deterministica, ovvero basando le scelte progettuali su valori numerici, permette di esercitare un maggiore controllo sull'intero edificio ed effettuare scelte progettuali con maggiore consapevolezza.

Le applicazioni effettuate, tuttavia, hanno evidenziato anche alcune limitazioni dello strumento, che aprono a possibili sviluppi futuri. In primo luogo, per quanto le intenzioni fossero quelle di sviluppare un foglio di calcolo di facile compilazione, user-friendly ed intuitivo, si è riscontrato che il suo utilizzo implica

comunque delle conoscenze tecniche di base in tema di analisi LCA e di valutazione degli impatti. In secondo luogo, il software può essere impiegato fin dalle prime fasi della progettazione, a condizione che si disponga almeno dei primi dati quantitativi del progetto. Infine, il software presenta ancora alcuni limiti: da un lato potrebbero essere integrate le fasi mancanti che in questa sede sono state considerate come trascurabili (costruzione e demolizione) ed eventualmente inserita una sezione che permetta di sommare gli impatti incorporati con quelli legati alla fase d'uso (calcolata con un software a parte). Dall'altro, così come si è riscontrato rilevante aggiungere un secondo indicatore d'impatto (Embodied Carbon), sarebbe altrettanto interessante aggiungere gli altri indicatori, permettendo di effettuare un'analisi LCA sempre più completa, in grado di conferire al progettista una visione più ampia degli impatti, alle diverse scale. Infatti, alla luce della graduale presa di coscienza delle problematiche ambientali, il progettista non può ignorare le responsabilità e le conseguenze che derivano dalle sue scelte: è necessario invece che prenda coscienza delle potenzialità che possono derivarne, applicando i principi dell'economia circolare.

In questo capitolo vengono definiti gli indicatori di impatto energetico-ambientale stabiliti in base alla documentazione fornita dall'*Environ- mental Protection Agency*. Ogni paragrafo descrive il materiale cui si fa
riferimento e indica quali categorie del catalogo CER rientrano nel materiale descritto. Per ogni materiale vengono specificati gli scenari di smaltimento possibili; per ciascuno scenario vengono descritte le modalità di
lavorazione, le potenzialità di recupero nel caso di riciclo, riuso e termovalorizzazione e vengono fornite informazioni dettagliate su come sono stati
considerati gli impatti energetici e ambientali.



- 17 01 07 Miscugli o scorie di cemento, mattoni, mattonelle e ceramiche, diverse da quelle di cui alla voce 17 01 06
- 17 01 01 Cemento
- 17 09 04 Rifiuti misti dell'attività di costruzione e demolizione, diversi da quelli di cui alle voci 17 09 01, 17 09 02 e 17 09 03

Per queste categorie di rifiuti la presente metodologia prevede gli scenari di smaltimento di riciclo e dismissione in discarica.

RICICLO

Il cemento dopo la sua demolizione può essere triturato e utilizzato come aggregato in sistemi di costruzione; allo stesso modo i miscugli di materiali inerti possono essere impiegati come riempimenti e sagomature del terreno, come sottofondi stradali e persino, previa rimozione di impurità, miscelati all'interno del composto per il confezionamento del calcestruzzo. Il riciclo di questi materiali permette di risparmiare gli impatti ambientali che si verificano, ad esempio, durante l'estrazione di materiale inerte in cava.

DISMISSIONE IN DISCARICA

Dal momento che il cemento (come in generale i materiali inerti) non è soggetto a digestione di batteri aerobici e non degrada all'interno della discarica, non produce alcuna emissione di metano (CH4). Alcuni studi, poi, dimostrano che il cemento con il tempo è in grado di assorbire CO₂, ma la quantità assorbita dipende dall'età e dall'area che resta esposta, risultando quindi un dato difficile da calcolare . Per questo motivo nel seguente metodo di calcolo non si tiene conto di questo aspetto.







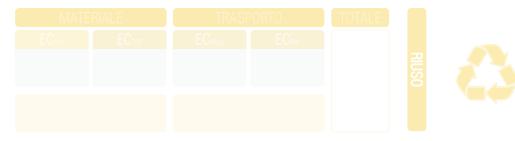


MATE		PROC		TRASE	PORTO	TOTALE
-4,97	-0,11	0,06	0,05	da calcolare	-	-4,86
fabbisogno energetico all'estrazione di mater	'	fabbisogno energetico di processo per la trasformazione dei materiali in aggregati		fabbisogno energetico di dismissione all'imp	1	

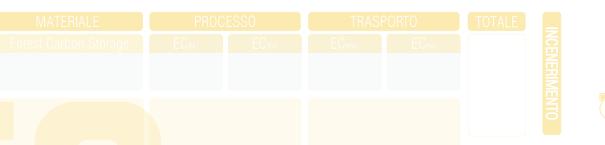




PROC	ESS0	TRASE	PORTO	TOTAL
0	-	da calcolare	-	0
fabbisogno energetico dei processi di spostamento o lavorazione in discarica		fabbisogno energetico luogo di dismissione a		









MATERIALE	TRASPORTO		TOTALE
-	da calcolare	-	0
reimmissione in ambiente di CO ₂ incorporata ("-" se materiale inerte)	emissioni di gas effett dal luogo di dismissio	'	





17 01 02 Mattoni

Per questa categoria di rifiuti la presente metodologia prevede gli scenari di smaltimento di riuso e dismissione in discarica. Per un eventuale scenario di riciclo ci si può rifare agli indici presentati per il riciclo dei rifiuti misti da C&D.

RIUS0

I mattoni recuperati a fine vita non possono essere reimpiegati in nuovo progetto con funzione strutturale, poiché potrebbero non possedere le medesime caratteristiche di resistenza strutturale di un elemento di nuova produzione. Per questo essi vengono reimpiegati principalmente come elementi non strutturali o a scopo decorativo. Nel caso del riuso, i mattoni sono tra i pochi materiali che possono essere recuperati senza essere sottoposti ad alcuna trasformazione.

DISMISSIONE IN DISCARICA

Generalmente gli impatti da emissioni in discarica sono legati ad emissioni di $\mathrm{CO_2}$ e $\mathrm{CH_4}$. Dal momento che i mattoni non sono soggetti a digestione di batteri aerobici e non degradano all'interno della discarica, non producono alcuna emissione di metano (CH4). Pertanto, in questo scenario il fabbisogno energetico e le emissioni di gas a effetto serra vengono prodotte unicamente dalla fase di trasporto dei rifiuti dal luogo di dismissione alla discarica.



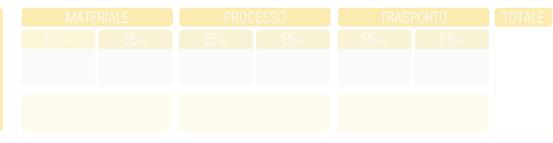


BILISO





RICICLO





NGENERIMENTO

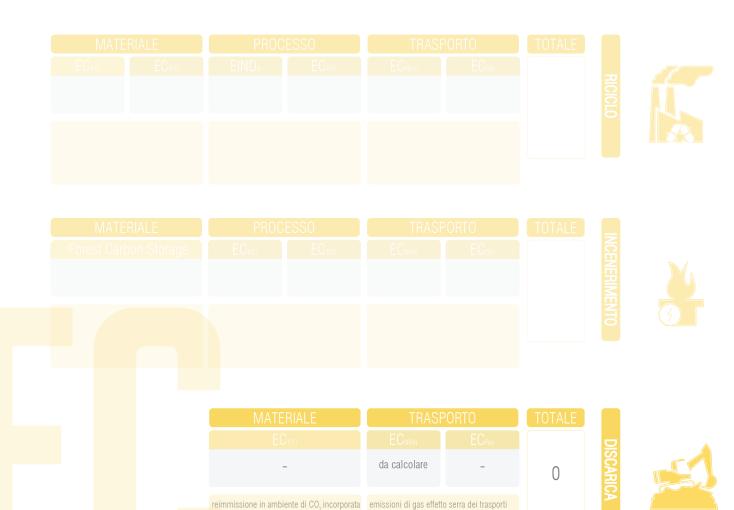
INCENERIMENTO

ISCARICA

PROCESSO TRASPORTO	
O – da calcolare –	







dal luogo di dismissione alla discarica

("-" se materiale inerte)



• 17 02 01 Legno

Per questa categoria di rifiuti la presente metodologia prevede gli scenari di smaltimento di *riuso*, *riciclo*, *termovalorizzazione*, e *smaltimento in discarica*.

RIUS0

Il riuso prevede il reimpiego di un elemento dismesso in un nuovo progetto, come ad esempio pannelli in legno o in truciolare (*Oriented Strand Board* – OSB – o *Medium Density Fireboard* –MDF – ad esempio), pannelli di rivestimento, travi in legno da impiegare come elementi decorativi. Il riuso del legno permette di ridurre gli impatti energetico-ambientali in quanto riutilizzarne significa non doverne produrre di nuovo. Inoltre, aumenta anche la quantità di carbonio stoccato nelle foreste, pur diminuendo quella di carbonio stoccato nei prodotti a base legno.

RICICLO

Il riciclo del legno può essere *a ciclo aperto* o *a ciclo chiuso*. Nel primo caso elementi come tavolati, porte, serramenti, imposte, pavimenti possono essere trasformati in truciolati, oppure triturati e inseriti in impasti di calcestruzzo o laterizi come alleggerimento. Nella presente metodologia si considera solo il caso del riciclo a ciclo chiuso, ovvero il caso in cui un elemento, giunto a fine vita venga riciclato per creare uno nuovo elemento della stessa tipologia. Lo smaltimento tramite riciclo permette di ridurre in parte gli impatti, poiché risparmia

quelli necessari per produrre un elemento da materiale 100% vergine. Gli impatti evitati infatti vengono calcolati facendo la differenza tra gli impatti della produzione utilizzando il 100% di materiale vergine e quella che fa uso di una percentuale di materiale riciclato.

TERMOVALORIZZAZIONE

Con la termovalorizzazione gli elementi a base legno giunti alla fase di fine vita vengono bruciati per recuperare energia: l'uso di appositi impianti permette di trasformare il contenuto energetico del materiale (energia di feedstock) in energia utile. Gli impatti energetici per questo scenario di smaltimento consistono nel saldo tra il fabbisogno energetico dell'impianto per la combustione e la quantità di energia generata dalla combustione. Se il saldo è negativo, significa che l'energia prodotta è maggiore di quella consumata e si è dunque di fronte ad un impatto evitato. Anche gli impatti ambientali sono costituiti da un saldo tra le emissioni di gas effetto serra prodotti dalla combustione del legno per ogni MWh di elettricità generato dalla combustione, e quelle che sarebbero emesse facendo uso di fonti tradizionali (gas naturale). Anche in questo caso se il saldo è negativo ci si trova davanti ad un guadagno ambientale.

DISMISSIONE IN DISCARICA

Il legno, essendo un materiale di origine naturale, in discarica va incontro a biodegradazione naturale. Di conseguenza una volta in discarica non solo rilascerà la quota di carbonio stoccato al suo interno, ma le reazioni chimiche di biodegradazione produrranno anche metano (CH₄).



MATERIALE		TRASF	PORTO
-30,55	-19,17	da calcolare	-
fabbisogno energetico evitato rispetto alla		ffabbisogno energetico dei trasporti dal	
produzione di nuovi el	ementi a base legno	luogo di dismissione a	al luogo di progetto

TRASPORTO				
da calcolare	-			
ffabbisogno energetico dei trasporti dal				

-30,55



MATE	RIALE	PROC	ESSO)	TRASE	PORTO	TOTALE
-30,55	-19,17	5,015	3,687	da calcolare	-	-21,85
fabbisogno energetico produzione di nuovi e		fabbisogno energetico produzione di un nuov prima secondaria	o di processo per la vo elemento da materia	fabbisogno energetico luogo di dismissione a riciclaggio	legato al trasporto dal	



MATE	RIALE	PROC	ESSO	TRASE	PORTO	TOTALE
0	18,5	-11,37	-8,36	da calcolare	-	-19,73
energia di <i>feedstock</i> o materiale	potere calorifico del	energia di processo (f dell'impianto per la co di energia generata da	ombustione - quantità	fabbisogno energetico luogo di dismissione a termovalorizzazione	legato al trasporto dal	

Risultato negativo =risparmio energetico)



PROCESSO PROCESSO		TRASF	PORTO
0	-	da calcolare	-
fabbisogno energetico dei processi di spostamento o lavorazione in discarica		fabbisogno energetico luogo di dismissione a	



MATE		
-1,15	-1,15	da
nissioni di gas effett	o serra <i>evitate</i> rispetto	emissi

alla produzione di nuovi elementi in legno

sioni di gas effetto serra dei trasporti dal luogo di dismissione al luogo di

calcolare

da calcolare

MATE		
-1,15	-1,15	
	n sarra avitata risnetto	amies

alla produzione di nuovi elementi in legno da 100% materiale vergine

0,30 0,52

sioni di gas effetto serra legati all'impiego di combustibile fossile per alimentare gli impianti durante il processo di produzione del vetro riciclato

emissioni di gas effetto serra dei trasporti dal luogo di dismissione all'impianto di riciclaggio

-0.98



2,79			

re-immissione in atmosfera della CO, stoccata nel legno

-0.68

-1,18

emissioni di gas effetto serra per produzione en. elettrica da termovalorizzazione emissioni da produzione di en. elettrica tradizionale. Risultato negativo = risparmio energetico

da calcolare

emissioni di gas effetto serra dei trasporti dal luogo di dismissione all'impianto di riciclaggio

2,11



INCENERIMENTO

da calcolare rilascio di CO, stoccata e di metano CH, in emissioni di gas effetto serra dei trasporti seguito alla degradazione batterica naturale dal luogo di dismissione alla discarica





17 02 02 Vetro

Per questa categoria di rifiuti la presente metodologia prevede gli scenari di smaltimento di riuso, riciclo e dismissione in discarica.

RIUS0

Il caso del riuso del vetro in architettura si verifica quando esso è prelevato dal sito di demolizione e reimpiegato tale e quale all'interno di un altro progetto: è il caso del reimpiego dei serramenti. Si tratta certamente di una pratica poco comune che tuttavia, visto il risparmio energetico-ambientale che comporta, vale la pena prendere in considerazione.

RICICLO

Molto più comune è il processo di riciclo del vetro, che può essere a ciclo chiuso o a ciclo aperto. Nel caso del riciclo aperto i vetri (vetri di finestre, mattonelle in fibrocemento, tegole in vetro) possono essere riciclati per produrre schiume isolanti, lane di vetro o vetro cellulare. Nella presente metodologia si considera solo il caso del riciclo a ciclo chiuso, ovvero il caso in cui il vetro, giunto a fine vita, venga fuso per produrre nuovo vetro.

La valutazione degli impatti evitati attraverso questo tipo di smaltimento avviene per comparazione tra gli impatti da produzione del vetro utilizzando il 100% del materiale vergine e gli impatti da produzione del vetro utilizzando una parte di materiale riciclato.

DISMISSIONE IN DISCARICA

Dal momento che il vetro non è un materiale organico soggetto a biodegradazione, il fabbisogno energetico e le emissioni di gas serra per questo scenario sono costituiti da quelli del trasporto dal luogo di dismissione alla discarica e degli spostamenti all'interno di essa.









	MATE	RIALE	PROCESSO		TRASPORTO		TOTALE
	-19,9	-0,003	6,834	5,025	da calcolare	-	-8,041
fabbisogno energetico <i>evitato</i> rispetto alla produzione di nuovo vetro da 100% di produzione di vetro da materiale vergine fabbisogno energetico produzione di vetro da secondaria			fabbisogno energetico di dismissione all'imp	dei trasporti dal luogo ianto di riciclaggio			

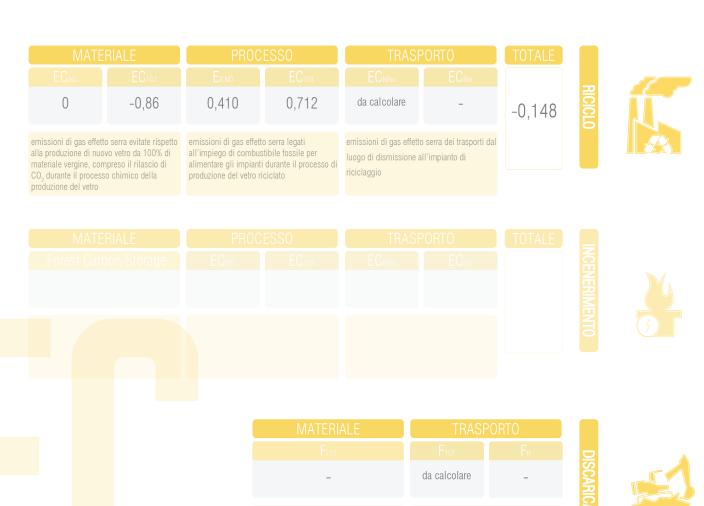
-19,9





		TRASP	
0	-	da calcolare	-





reimmissione in ambiente di CO, incorporata

("-" se materiale inerte)

APPENDICE: schede di impatti per rifiuti da C&D - VETRO

emissioni di gas effetto serra dei trasporti

dal luogo di dismissione alla discarica



• 17 02 03 Plastica

Per questa categoria di rifiuti la presente metodologia prevede gli scenari di smaltimento di *riuso*, *riciclo*, termovalorizzazione, e *dismissione in discarica*.

Per la costruzione della presente metodologia, si è scelto di inserire un unico valore di impatto per tutti i tipi di plastiche, prendendo a riferimento, laddove presente, un valore medio aggregato di plastiche miste, dove non presente, invece si è preso a riferimento, in maniera cautelativa, il tipo di plastica con l'impatto più alto.

RIUS0

Le materie plastiche sono durevoli e resistenti a molti tipi di degrado legato all'usura. Per questo motivo è molto probabile che un materiale plastico alla fine del ciclo di vita dell'edificio non sia ancora giunto al suo di fine vita. Il riuso è un ottimo sistema per risparmiare gli impatti ambientali legati alla produzione di nuovo materiale plastico che comporta l'impiego di materie fossili; un esempio di riuso è quello dei serramenti in PVC. Anche in questo caso si tratta di una pratica poco comune, tuttavia, visto il risparmio energetico-ambientale che comporta, vale la pena prendere in considerazione.

RICICI O

Il riciclo dei materiali plastici può essere a ciclo aperto o a ciclo chiuso. Nel caso di ciclo aperto, materiali plastici monomaterici non poliaccoppiati come PE, PET, PVC possono essere riciclati per produrre profili per controsoffittature, tubi di drenaggio o guaine protettive. Nella presente metodologia si considera solo il caso del riciclo a ciclo chiuso, ovvero il caso in cui un elemento, giunto a fine vita venga riciclato per creare un nuovo elemento della stessa tipologia. I valori di riferimento circa gli impatti di lavorazione derivanti dal riciclo della plastica si rifanno in particolare a due tipi di plastica, che sono l'HDPE e il PET.

TERMOVALORIZZAZIONE

La termovalorizzazione di materiali plastici, trattandosi di materiale di origine fossile, rilascia in atmosfera grandi quantità di CO₂. Le emissioni variano a seconda del tipo di plastica, della composizione chimica e quindi della quantità di carbonio contenuta nel materiale e convertita in CO₂ durante il processo di combustione; l'EPA stima che la quantità di carbonio che viene convertita in anidride carbonica ammonti al 98%. Gli impatti (o risparmi) energetici vengono calcolati sulla base del contenuto energetico della plastica, dell'efficienza dell'impianto di termovalorizzazione e del fabbisogno energetico dello stesso impianto.

DISMISSIONE IN DISCARICA

Dal momento che le plastiche non sono materiali organici soggetti e biodegradazione, e non presentano sequestro di carbonio, il fabbisogno energetico e le emissioni di gas serra per questo scenario sono costituiti da quelli del trasporto dal luogo di dismissione alla discarica e degli spostamenti all'interno di essa.



RIUSO

MATERIALE				
-67,71	-1,35			
fabbisogno energetico evitato rispetto alla				

produzione di nuovi materiali plastici

da calcolare	-			
fabbisogno energetico dei trasporti dal				

luogo di dismissione al luogo di progetto

-67,71



RICICLO

	MATE	RIALE	PROC	ESSO	TRASE	PORTO	TOTALE
	-67,71	-1,35	19,015	13,981	da calcolare	-	-34,714
ı	fabbisogno energetico produzione di nuove n 100% di materiale ver	naterie plastiche da	fabbisogno energetico produzione di materie prime secondarie	1	fabbisogno energetico di dismissione all'imp	dei trasporti dal luogo ianto di riciclaggio	





MA	TERIALE	PROC	CESSO	TRASI	PORTO	TOTALE
20	0	-19,625	-14,43	da calcolare	-	-14,055
energia di <i>feedsto</i> materiale	ck o potere calorifico del	energia di processo (fabbisogno energetico dell'impianto per la combustione – quantità di energia generata dalla combustione.		fabbisogno energetico luogo di dismissione a termovalorizzazione	legato al trasporto dal all'impianto di	

Risultato negativo =risparmio energetico)



PROC	ESSO	TRASPORTO		
0	-	da calcolare	-	
fabbisogno energetico spostamento o lavoraz		fabbisogno energetico luogo di dismissione a		

-2,45

-2.55

da calcolare

-2,55

emissioni di gas effetto serra evitate rispetto alla produzione di nuovi elementi in plastica

emissioni di gas effetto serra dei trasporti dal luogo di dismissione al luogo di

-2,55

1,141

-1,177

1.980

-2,043

da calcolare

-0,570

emissioni di gas effetto serra evitate rispetto alla produzione di nuove materie plastiche da 100% di materiale vergine

-2.45

emissioni di gas effetto serra legati all'impiego di combustibile fossile per alimentare gli impianti durante il processo di produzione di materie plastiche riciclate

emissioni di gas effetto serra dei trasporti dal luogo di dismissione all'impianto di riciclaggio



2,32

emissioni di gas effetto serra evitate rispetto

all'estrazione di materiale inerte vergine

emissioni di gas effetto serra per produzione en. elettrica da termovalorizzazione emissioni da produzione di en. elettrica tradizionale. Risultato negativo = risparmio energetico

da calcolare

emissioni di gas effetto serra dei trasporti dal luogo di dismissione all'impianto di termovalorizzazione

1,143

NCENERIMENTO



da calcolare

reimmissione in ambiente di CO, incorporata ("-" se materiale inerte)

emissioni di gas effetto serra dei trasporti dal luogo di dismissione alla discarica



APPENDICE: schede di impatti per rifiuti da C&D - PLASTICHE



17 04 07 Metalli misti

Per questa categoria di rifiuti la presente metodologia prevede gli scenari di smaltimento di riuso, riciclo e dismissione in discarica.

I metalli rispetto ai materiali plastici sono maggiormente soggetti a degrado nel tempo. A seconda del tipo di lega, il metallo potrà essere riciclato un numero variabile di volte: l'alluminio ad esempio è un materiale che apparentemente potrebbe essere riciclato infinite volte considerando la qualità del materiale riciclato rispetto a quello vergine.

RIUS0

Alcuni componenti edilizi in materiali metallici possono essere reimpiegati tali e quali in nuovi progetti. In Danimarca ad esempio il valore di mercato di componenti in acciaio ben conservati provenienti da demolizioni ha raggiunto un valore di 10 volte superiore a quello dei rottami. Nel caso di reimpiego di materiali metallici per usi strutturali (laddove la normativa lo permetta) bisogna essere a conoscenza delle possibili prestazioni inferiori del materiale reimpiegato rispetto ad uno nuovo: le capacità di resistenza dell'elemento vanno testate prima

che esso venga reimpiegato .

RICICLO

Ghisa, acciaio, alluminio e zinco — per citarne solo alcuni — sono materiali metallici che si prestano a riciclo a ciclo chiuso o a ciclo aperto, per esempio riciclandone rottami per la produzione di nuovi metalli. La produzione del metallo comporta impatti energetico-ambientali molto elevati, da un lato a causa dell'estrazione delle materie prime e, dall'altro, per via delle alte temperature necessarie per la sua lavorazione In questo senso, Il riciclo dei metalli generalmente consente di ottenere grandi risparmi, perché può ridurre il quantitativo di estrazione di materie prime e in alcuni casi anche abbassare la temperatura di fusione della lavorazione degli stessi.

DISMISSIONE IN DISCARICA

Dal momento che i metalli non sono materiali organici soggetti e biodegradazione, e non presentano sequestro di carbonio, il fabbisogno energetico e le emissioni di gas serra per questo scenario sono costituiti da quelli del trasporto dal luogo di dismissione alla discarica e degli spostamenti all'interno di essa.



RIUSO

MATERIALE				
ЕЕітот				
-84,89	-17,92			
fabblicagns energetics avitate rispette alla				

fabbisogno energetico *evilato* rispetto alla produzione di nuovi materiali metallici

TRASPORTO

EEnrin EErin

da calcolare –

fabbisogno energetico dei trasporti dal luogo di dismissione al luogo di progetto TOTALE

-84,89



RICICLO

-84,89	-17,92		

emissioni di gas effetto serra *evitate* rispetto alla produzione di nuovi materiali metallici da 100% di materiale vergine

PROCESSO

26,2 19,265

fabbisogno energetico di processo per la produzione di materiali metallici da materie prime secondarie

TRASPORTO

da calcolare –

luogo di dismissione all'impianto di

riciclaggio

emissioni di gas effetto serra dei trasporti dal



ENERIMENTO

MATERIALE F_{NRin} F_{Rin}

Frin Frin O

energia di *feedstock* o *potere calorifico* del materiale

PROCESSO

EEIND EEDIR 15,830 11,64

energia di processo (fabbisogno energetico dell'impianto per la combustione - quantità di energia generata dalla combustione. Risultato negativo = risparmio energetico)

TRASPORTO

EENRin EERin

da calcolare –

fabbisogno energetico legato al trasporto dal luogo di dismissione all'impianto di termovalorizzazione

ΤΩΤΔΙΕ

27,47





PROCESSO EE rot EE Riin E O - da c

fabbisogno energetico dei processi di spostamento o lavorazione in discarica

TRASPORTO EENRIN EERIN da calcolare – fabbisogno energetico dei trasporti dal

fabbisogno energetico dei trasporti dal luogo di dismissione alla discarica emissioni di gas effetto serra evitate rispetto alla produzione di nuovi materiali metallici

emissioni di gas effetto serra dei trasporti dal luogo di dismissione al luogo di

da calcolare

da calcolare

-3.05 -3.53

emissioni di gas effetto serra evitate rispetto alla produzione di nuovi materiali metallici da 100% di materiale vergine

emissioni di gas effetto serra legati all'impiego di combustibile fossile per

alimentare gli impianti durante il processo di riciclaggio produzione di materiali metallici riciclati

2.728

emissioni di gas effetto serra dei trasporti dal

-0,802 luogo di dismissione all'impianto di



-1,147

energia di feedstock o potere calorifico del

0,950

1.572

1,648

emissioni di gas effetto serra per produzione en. elettrica da termovalorizzazione emissioni da produzione di en. elettrica tradizionale. Risultato negativo = risparmio energetico

da calcolare

emissioni di gas effetto serra dei trasporti dal luogo di dismissione all'impianto di riciclaggio

-3,53

-0,197

NCENERIMENTO



da calcolare reimmissione in ambiente di CO, incorporata emissioni di gas effetto serra dei trasporti ("-" se materiale inerte) dal luogo di dismissione alla discarica







• 17 06 04 Materiali isolanti diversi da quelli di cui alle voci 17 06 01 e 17 06 03.

Per questa categoria di rifiuti la presente metodologia prevede gli scenari di smaltimento di riuso, riciclo, termovalorizzazione e dismissione in discarica.

I materiali isolanti sono solitamente molto voluminosi e leggeri e raramente superano il 2% del peso totale di un edificio. Tuttavia, molti materiali isolanti comportano impatti energetico-ambientali molto elevati, che dipendono dal consumo delle materie prime e dalle lavorazioni cui queste vengono sottoposte; alcuni materiali isolanti necessitano di un trattamento speciale a fine vita e solo in casi eccezionali questi possono essere reimpiegati o riciclati. Ciononostante, considerando il risparmio energetico-ambientale che comporta, vale la pena prendere in considerazione gli scenari di riuso e riciclo.

RIUS0

Il riuso dei materiali isolanti in architettura è applicabile in casi davvero isolati. Laddove possibile, tuttavia, comporta grandi risparmi di impatti energetici e ambientali.

RICICLO

I materiali isolanti possono essere soggetti a processi di riciclaggio, ma si tratta più di sperimentazioni che di procedure consolidate. Gli isolanti si trovano spesso in una condizione di degrado tale da renderli inutilizzabili anche nei processi di riciclo. Inoltre, questi materiali sono spesso posati in opera con collanti e malte che li rendono solidali con gli altri strati funzionali .

La tipologia di riciclo presa in considerazione in questa sede è quella del riciclo chiuso, ovvero quando un elemento viene riciclato per produrre lo stesso tipo di elemento. Le emissioni legate a questo processo sono calcolate confrontando quelle derivanti dalla produzione di plastica utilizzando 100% di materiale vergine e quelle derivanti dalla produzione di plastica utilizzando il 100% di materiale riciclato. Durante il processo di produzione non si dovrebbero verificare emissioni di altri gas effetto serra al di fuori della CO₂.

TERMOVALORIZZAZIONE

La termovalorizzazione di materiali isolanti, laddove possibile, rilascia in atmosfera grandi quantità di ${\rm CO}_2$. Gli impatti (o risparmi) energetici vengono calcolati sulla base del contenuto energetico del materiale, dell'efficienza dell'impianto di termovalorizzazione e del fabbisogno energetico dello stesso impianto.

DISMISSIONE IN DISCARICA

I materiali isolanti hanno generalmente origine sintetica e non sono soggetti e biodegradazione, per questo motivo non presentano sequestro di carbonio. Il fabbisogno energetico e le emissioni di gas serra per questo scenario sono costituiti da quelli del trasporto dal luogo di dismissione alla discarica e degli spostamenti all'interno di essa.



MATERIALE		TRASPORTO		
-65,52	-1,38	da calcolare	-	
fabbisogno energetico evitato rispetto alla		fabbisogno energetico dei trasporti dal		
produzione di nuovi m	nateriali isolanti	luogo di dismissione al luogo di progetto		

TRASPORTO			
da calcolare	-		
fabbisogno energetico dei trasporti dal			

-65,52



-65,52	-1,38		

19,02

IRASPURIU		
da calcolare	-	

-32,52

fabbisogno energetico evitato rispetto alla produzione di nuovi materiali isolanti da 100% di materiale vergine

fabbisogno energetico di processo per la produzione di materiali isolanti da materie prime secondarie

13,98

fabbisogno energetico dei trasporti dal luogo di dismissione all'impianto di riciclaggio



materiale

MATERIALE			
34,57	0		
energia di <i>feedstock</i> o potere calorifico del			

19,62	-14,43		

energia di processo (fabbisogno energetico

dell'impianto per la combustione - quantità

Risultato negativo = risparmio energetico)

di energia generata dalla combustione.

da calcolare

termovalorizzazione

0,52 fabbisogno energetico legato al trasporto dal luogo di dismissione all'impianto di

		TRASPORTO		
0	-	da calcolare	-	
fabbisogno energetico dei processi di		fabbisogno energetico	'	



-1,51

emissioni di gas effetto serra evitate rispetto alla produzione di nuovi materiali isolanti

emissioni di gas effetto serra dei trasporti dal luogo di dismissione al luogo di

da calcolare

da calcolare

da calcolare

riciclaggio

MATERIALE			
-1,41	-1,51		

emissioni di gas effetto serra evitate rispetto alla produzione di nuovi materiali isolanti da 100% di materiale vergine



1,98

emissioni di gas effetto serra legati all'impiego di combustibile fossile per alimentare gli impianti durante il processo di produzione di materiali isolanti riciclati

femissioni di gas effetto serra dei trasporti dal luogo di dismissione all'impianto di

0.47



2,32

energia di feedstock o potere calorifico del

-1,18

1,14

-2,04

emissioni di gas effetto serra per produzione en. elettrica da termovalorizzazione emissioni da produzione di en. elettrica tradizionale. Risultato negativo = risparmio energetico

emissioni di gas effetto serra dei trasporti dal luogo di dismissione all'impianto di termovalorizzazione

1,14



NCENERIMENTO

da calcolare reimmissione in ambiente di CO, incorporata emissioni di gas effetto serra dei trasporti ("-" se materiale inerte) dal luogo di dismissione alla discarica





- 17 06 00 Materiali da costruzione a base di gesso
- 17 08 02 Materiali da costruzione a base di gesso diversi da quelli di cui alla voce 17 08 01.

Per questa categoria di rifiuti la presente metodologia prevede gli scenari di smaltimento di riuso, riciclo e dismissione in discarica.

Gesso e cartongesso sono due materiali che trovano largo impiego in architettura; si tratta di materiali che possono essere riciclati efficientemente in un processo a ciclo chiuso, e per questo motivo hanno un potenziale di riduzione degli impatti energetico-ambientali non indifferente.

RIUS0

Quando il cartongesso viene impiegato con tecniche a secco, le lastre possono essere smontate dalle guide e rimontate in un altro luogo. In questo caso vengono considerati gli impatti evitati e quindi il risparmio ambientale.

RICICLO

Nella presente metodologia il riciclo del cartongesso viene considerato a ciclo semichiuso: in parte infatti il cartongesso può essere tritato e trasformato nuovamente in cartongesso (19%), mentre un'altra parte, una volta triturata può trasformarsi in gesso con impiego nell'agricoltura (81%).

DISMISSIONE IN DISCARICA

Nel caso in cui il prodotto sia stato incollato o sia stato demolito e non smontato e le lastre di cartongesso non siano più utilizzabili, è possibile la dismissione discarica. Non essendo un materiale organico non vengono prodotte né emissioni diretta di ${\rm CO_2}$ né emissioni di metano. Tuttavia, i fogli di carta del cartongesso contengono una minima quota di seguestro di carbonio.



RIUSO

MATERIALE		TRASPORTO		
-9,79	-4,92	da calcolare	-	
fabbisogno energetico evitato rispetto alla produzione di nuovi materiali a base gesso		fabbisogno energetico di dismissione al luog	dei trasporti dal luogo o di progetto	

TOTALE

-9,79



RICICLO

MATE	ERIALE	PROCESSO PROCESSO		TRASPORTO		TOTALE
-9,79	-4,92	5,05	3,71	da calcolare	-	-1,03
fabbisogno energetico evitato rispetto alla produzione di nuovi materiali a base gesso da 100% di materiale vergine fabbisogno energetico di processo per produzione di materiali a base gesso da materie prime secondarie		li a base gesso da	fabbisogno energetico di dismissione all'imp	dei trasporti dal luogo ianto di riciclaggi		



INCENERIMENTO



DISCARICA

PROC	ESS0	TRASPORTO		
0	-	da calcolare	-	
0 0	tico dei processi di orazione in discarica	fabbisogno energetico dei trasporti dal luogo di dismissione alla discarica		



da calcolare

fabbisogno energetico dei trasporti dal luogo di dismissione alla discarica





APPENDICE: schede di impatti per rifiuti da C&D - GESSO/CARTONGESSO

reimmissione in ambiente di CO, incorporata

("-" se materiale inerte)

Bibliografia

- MEADOWS D., MEADOWS D., RANDERS J., BEHRENS III W., I limiti dello sviluppo. Rapporto del System
 Dynamics Group Massachusetts Institute of Technology (MIT) per il progetto del Club di Roma sui dilemmi
 dell'umanità, Milano, Mondadori, 1972.
- MEADOWS D., MEADOWS D., RANDERS J., Oltre i limiti dello sviluppo, Milano, Il Saggiatore, 1993.
- CROWTHER P., *Design for disassembly to recover embodied energy*, in: The 16th Annual Conference on Passive and Low Energy Architecture, Melbourne/ Brisbane/Cairns, Australia, 1999.
- BERGE B., The Ecology of Building Materials, Architectural Press, Amsterdam, 2000.
- MOLINARI C., Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia, Vol. 1, Sistemi Editoriali, 2002.
- GAUZIN-MÜLLER D, Moro M. [a cura di], Architettura sostenibile, Milano, Ed. Ambiente, 2003.
- MEADOWS D., MEADOWS D., RANDERS J., I nuovi limiti dello sviluppo. La salute del pianeta nel terzo millennio, Milano, Oscar Mondadori, 2005.
- LANZA A., Lo sviluppo sostenibile, Bologna, Il Mulino, 2006.
- GASPARI J., TRABUCCO D., ZANNONI G., Involucro edilizio e aspetti di sostenibilità. Riflessioni sul comportamento energetico di pareti massive e stratificate iperisolate: performances ambientali ed embodied
 energy, Ricerche di tecnologia dell'architettura Franco Angeli, Milano, 2010.
- GIORDANO R., I prodotti per l'edilizia sostenibile: la compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio, Napoli, Sistemi Editoriali, 2010.
- PAULI G., *Blue Economy*, Edizioni Ambiente, 2010.
- DEMARIA, E., DUZEL A., Embodied Energy versus Operational Energy in un caso studio "Nearly Zero Energy Building": ideazione e sviluppo del software IREEA: strumento per il calcolo dell'Embodied Energy iniziale e periodica, rel. Roberto Giordano, Valentina Serra, Politecnico di Torino, Corso di Laurea Magistrale Architettura per il progetto sostenibile, febbraio 2016.
- PELLIZZARI A., GENOVESI E., Neomateriali nell'economia circolare, Milano, Edizioni Ambiente, 2017.
- CANEPA M., MAGLIOCCO A., Riflessioni sullo sviluppo sostenibile in architettura: a trent'anni dal Rapporto Brundtland, Milano; Udine, Mimesis, 2018.
- RAU T., OBERHUBER S., Material Matters. L'importanza della materia Un'alternativa al sovrasfruttamento,
 Edizioni Ambiente, 2019.

• THIEBAT F., Life cycle design: an experimental tool for designers, Springer Nature Switzerland; 2019.

Articoli

- HASELTINE B. A., Comparison of energy requirements for building materials and structures, in The structural engineer, 53(9), 357, 1975.
- MONTPELLIER A., ROGERS B., The business case for sustainable office design, Urban land, 2006.
- SARTORI I., HESTNES A. G., Energy use in the life cycle conventional and low energy buildings: A review article, Energy and buildings, vol 39, 2007.
- UPTON B., MINER R., SPINNEY M., HEATH L. S., The greenhouse gas and energy impacts of using wood instead of alternatives in residential construction in the United States. Biomass and Bioenergy, 2008.
- JONES C., Embodied Impact Assessment: The Methodological Challenge of Recycling at the End of Building Lifetime, 2009.
- JONES C. I., Life cycle energy consumption and environmental burdens associated with energy technologies and buildings, PhD Thesis, University of Bath, 2011.
- KNIGHT D., ADDIS B., *Embodied carbon dioxide as a design tool a case study*. In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering (Vol. 164, No. 4, pp. 171-176), Thomas Telford Ltd, 2011.
- MONAHAN J., POWELL J. C., An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework, in Energy and Buildings, 2011.
- ANDERSON J., CIRIA Carbon leader briefings Materials, products and carbon, Construction Industry Research and Information Association, 2012.
- IWAN S., KIJEWSKA K., KIJEWSKI D., *Possibilities of Applying Electrically Powered Vehicles in Urban Freight Transport*, in 1st International Conference Green Cities 2014 Green Logistics for Greener Cities, 2014.
- DALLA VALLE A., LAVAGNA M., CAMPIOLI A., Change management and new expertise in AEC firms: improvement in environmental competence, in 41st IAHS WORLD CONGRESS Sustainability and Innovation for the Future 13-16th September 2016 Albufeira, Algarve, Portugal, 2016.
- CAMPIOLI A., DALLA VALLE A., GANASSALI S., GIORGI S., *Progettare il ciclo di vita della materia: nuove tendenze in prospettiva ambientale*, in Techne, n.16, 2018.

Report

- SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY SETAC, Code of Practice, 1993.
- ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION EIA, Voluntary Reporting of Greenhouse Gases. Method for Calculating Carbon Sequestration by Trees in Urban and Suburban Settings, 1998
- SUSTAINABLE HOMES, Embodied energy in residential property development A Guide for Registered Social Landlords, 1999.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PRORAMME UNEP, Buildings and Climate Change, 2007.
- CLECAT, Calculating GHG emissions for freight forwarding and logistics services in accordance with EN 16258—Terms, Methods, Examples, 2012.
- DEFRA, Guidelines to Defra / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting: Methodology Paper for Emission Factors, 2012.
- EUROPEAN COMMISSION, Roadmap: Communication on Sustainable Buildings. DG ENV C1, 2012.
- ROYAL INSTITUTION OF CHARTERED SURVEYORS (RICS), Methodology to calculate embodied carbon of materials, London, 2012.
- COMMISSIONE EUROPEA, Quadro per il clima e l'energia 2030 conclusioni, 24 ottobre 2014.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC, *Global Warming Potential values*, in Fifth Assessment Report, 2014.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC, Fifth Assessment Report. Technical Summary, 2015.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, Circularity in the Built Environment: Case Studies. A compilation of case studies from the CE100, 2016.
- EUROPEAN COMMISSION, A European Strategy for Low-Emission Mobility, Brussels, 2016.
- EUROPEAN ENERGY AGENCY EEA, Verso una mobilità pulita e intelligente I trasporti e l'ambiente in Europa, pp. 9-10, 2016.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY EBC, Annex 57: Evaluation of Embodied Energy & CO2 Equivalent Emissions for Building Construction, 2016.
- ÖKO-INSTITUT, How additional is the Clean Development Mechanism? Analysis of the application of current tools and proposed alternatives, Berlin, 2016.

- U.S. EPA Environmental Protection Agency Office of Resource Conservation and Recovery, *Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model (WARM), Construction and Demolition Materials Chapters*, 2016.
- U.S. EPA Environmental Protection Agency Office of Resource Conservation and Recovery, *Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model (WARM) Containers, Packaging, and Non-Durable Good Materials Chapters*, 2016.
- WBCSD e WRI, Greenhouse Gas Protocol, A Corporate Accounting and Reporting Standard. Revisited edition, 2015.
- CONSORZIO NAZIONALE IMBALLAGGI CONAI, Scenari dell'economia circolare: il ruolo di Conai nel sistema nazionale, 2016.
- MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO, Relazione annuale sull'efficienza energetica Risultati conseguiti e obiettivi al 2020, 2018.
- NORDIC COUNCIL OF MINISTERS, Reducing CO2 emission from freight, recent developements in freight transport in the Nordic countries and instruments for CO2 reduction, 2018.
- EUROPEAN ENERGY AGENCY EEA, Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2017 and inventory report 2019. Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol, 2019.
- GREEN BUILDING COUNCIL ITALIA, Life Cycle Assessment in edilizia, 2019.
- ISPRA, Rapporto rifiuti speciali, 2019.
- SOLAR DECATHLON, Draft Rules Latin America and Caribbean, Cali, December 2019, Version 1.0.

Normativa

- UNI 8290-1, Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia, 1981.
- UNI EN ISO 14040, Gestione ambientale; Valutazione del ciclo di vita; Principi e quadro di riferimento, 2006.
- QUADERNO TECNICO SIA 2032, Energia grigia negli edifici. Associazione svizzera di ingegneri e architetti (SIA), Zurigo, 2010.
- UNI EN ISO 14025 Dichiarazioni ambientali di Tipo III. Principi e procedure, 2010.

- ISO 15686-1, Buildings and constructed assets Service life planning, Part 1: General principles and framework, 2011.
- UNI EN 15978, Sustainability of construction works Assessment of environmental performance of buildings Calculation method, 2011.
- EN 15804 Sustainability of construction works Environmental product declarations Core rules for the product category of construction products, 2012.
- MINERGIE, Gli indicatori per la valutazione del ciclo di vita dell'edificio, Svizzera Energia, 2013.
- ISO 21930, Sustainability in buildings and civil engineering works -- Core rules for environmental product declarations of construction products and services, 2017.
- SVIZZERA ENERGIA, Energia Grigia negli edifici nuovi, guida per gli specialisti nel settore costruzioni,
 2017.

Sitografia

http://www.treccani.it/enciclopedia/green-economy %28Lessico-del-XXI-Secolo%29/

- https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept
- https://research.arup.io/story/circular-buildings
- https://www.arup.com/news-and-events/news/the-circular-building-the-most-advanced-reusable-building-yet
- www.annex57.org
- www.environdec.com
- www.minambiente.it/pagina/i-criteri-ambientali-minimi#2.
- www.studiogammaonline.it/codice-appalti-pronto-il-decreto-sblocca-cantieri
- https://inhabitat.com/scientists-confirm-tree-planting-is-our-best-solution-to-climate-change/?fbclid=IwAR2ggLooAWhRC4Wemkw7i_IVILoah890tPwuIP-JsF_gG3LBpb1AxILMWMU
- www.azzeroco2.it/forestazione
- https://interestingengineering.com/filipino-students-will-now-have-to-plant-10-trees-to-graduate
- https://www.lifegate.it/persone/news/etiopia-piantati-350-milioni-di-alberi-un-giorno-contro-la-crisi-climatica

- https://www.flixbus.it/azienda/sostenibilita
- http://www.greenews.info/pratiche/compensazione-co2-strumento-etico-e-di-marke-ting-per-le-pmi-20110825/
- www.reteclima.it
- www.rinnovabili.it/ambiente/crediti-carbonio-emissioni-333/
- www. solardecathlonlac.com
- http://www.isprambiente.gov.it/it/certificazioni/ipp/lca
- www.ipcc.ch
- https://www.lifegate.it/persone/news/etiopia-piantati-350-milioni-di-alberi-un-giorno-contro-la-crisi-climatica
- https://www.flixbus.it/azienda/sostenibilita
- www.greenews.info/pratiche/compensazione-co2-strumento-etico-e-di-marketing-per-le-pmi-20110825/
- https://hls-dhs-dss.ch/it/articles/017026/2012-10-30/
- https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_generation_statistics_%E2%80%93_first_results#Production_of_electricity
- http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC90402
- http://www.wrap.org.uk/content/design-out-waste-and-save-costs
- http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Carbon_Factors_for_CD_Waste.xlsm
- $\label{eq:cache:p1-vflsNlgJ:www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Carbon_Factors_for_CD_Waste.xlsm+&cd=1&hl=it&ct=clnk&gl=it$
- https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2019
- https://www.epa.gov/warm/waste-reduction-model-warm-material-descriptions-and-data-sources
- www.aerecologia.it
- www.annex57.org
- www.nzeb.in/definitions-policies/definitions
- www.store.uni.com