

# Analisi comparativa del ciclo di vita di un tipico edificio monopiano



Acciaio



Calcestruzzo



Legno

## Premessa

Il Comitato Tecnico Europeo CEN/TC 350: **Sustainability of construction works** è stato istituito per sviluppare metodi standardizzati per valutare la sostenibilità di opere costruite nuove ed esistenti; si occupa inoltre di definire la piattaforma comune per la redazione di Dichiarazioni Ambientali di Prodotto per prodotti da costruzione.

Tra i suoi lavori lo standard prEN15804: **Sustainability of construction works — Environmental product declarations — Core rules for the Product category of construction products**, ormai in fase di pubblicazione e per il quale l'industria dell'acciaio ha "investito" molte energie e risorse. Lo standard europeo si occupa di definire i contenuti essenziali delle PCR (Product Category Rules) per le dichiarazioni ambientali di Tipo III (per la redazione delle quali è necessario eseguire una analisi di tipo LCA). In altre parole, esso fornisce una struttura che possa assicurare che tutte le Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (EPD, Environmental Product Declarations) siano derivate, verificate e presentate in maniera armonizzata.

In particolare, un flusso di massa di un sistema richiede l'analisi di quanto c'è in ingresso e in uscita dal sistema stesso. A tal riguardo, i produttori di acciaio hanno più volte proposto, senza i risultati sperati, di mettere in conto l'intero ciclo di vita del prodotto, in quanto lo standard, nella versione attuale, si focalizza sulle informazioni in "ingresso", attribuendo crediti solo per il contenuto di materiale riciclato all'interno del prodotto finale.

Il flusso di massa in uscita è invece trattato nel cosiddetto "modulo D", che sfortunatamente è opzionale e non obbligatorio all'interno dello standard prEN15804. Tale condizione, di fatto, costituisce una discriminazione per tutti i prodotti metallici che, come è noto, sono facilmente riciclabili.

Da qui la proposta, sostenuta dall'industria dell'acciaio, di rendere obbligatorio il modulo D all'interno delle analisi ambientali dei prodotti da costruzione, per poter giungere in futuro a una revisione dello standard prEN15804.

Un esempio di quanto sopra riassunto è visibile nel documento che vi si propone sulle LCA comparative. Una LCA comparativa, infatti, viene eseguita per rendere numericamente confrontabili le prestazioni ambientali di diversi materiali da costruzione, in modo da poter scegliere quello più idoneo per una determinata applicazione.

*Il presente documento è stato redatto in lingua italiana partendo dall'analisi: **Ökobilanzieller Vergleich von Hallen** pubblicata da Bauforumstahl – [www.bauforumstahl.de](http://www.bauforumstahl.de) – [zentrale@bauforumstahl.de](mailto:zentrale@bauforumstahl.de).*

*Fondazione Promozione Acciaio ringrazia Bauforumstahl per la preziosa collaborazione.*

## Indice

1.Introduzione.....	4
2.Base dati per informazioni ecologiche.....	5
3.Sistemi strutturali.....	5
4.Informazioni per le analisi del ciclo di vita (LCA).....	9
5.Telaio e fondazioni - sistema strutturale.....	15
6.Pilastro senza fondazioni - singolo elemento strutturale.....	19
7.Trave - singolo elemento strutturale.....	21
8.Involucro edilizio.....	23
9.Trasporto.....	26
10.Conclusioni.....	28
11.Bibliografia.....	29

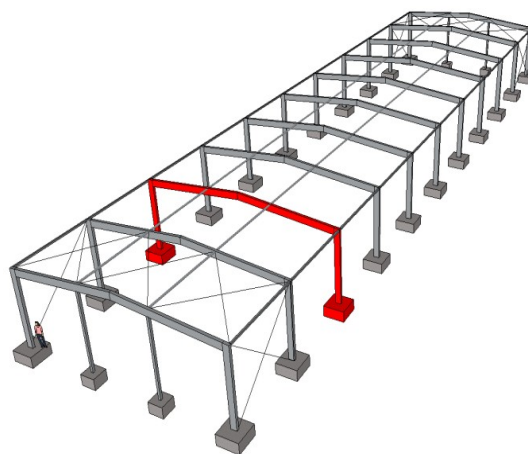
## 1. Introduzione

Con l'introduzione delle certificazioni sulla sostenibilità ambientale delle costruzioni, come la "Leadership in Energy and Environmental Design" (LEED), e ancora di più con la seconda generazione di certificazioni per gli edifici sostenibili, come la "Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen" (DGNB), l'analisi del ciclo di vita (LCA, Life Cycle Assessment) è diventata parte integrante delle analisi di sostenibilità negli edifici. La stessa valutazione ed etichettatura di tipo DGNB, iniziata nel 2009 per gli edifici industriali in Germania, richiede gli studi LCA per questa tipologia edilizia.

Per comprendere gli impatti ambientali di differenti metodologie costruttive per edifici industriali ad un solo livello, in questo studio vengono considerati vari tipi di strutture. Lo studio viene focalizzato sul telaio strutturale e i relativi prodotti da costruzione impiegati. Inoltre, vengono confrontate le LCA di diversi tipi di involucro edilizio, così come gli effetti dei trasporti.

Non è possibile comparare differenti materiali o prodotti da costruzione solamente sulla base delle loro informazioni ambientali. Basi dati come la Ökobau.dat del Ministero dello sviluppo urbano, dell'edilizia e dei trasporti della Germania Federale (BMVBS) o le Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (EPD, Environmental Product Declaration) impiegano unità di riferimento come 1 kg o 1 m<sup>3</sup>. Ma solamente confrontando tra loro complete unità funzionali, come ad esempio intere strutture o un modulo di base che si ripete, tenendo conto della situazione specifica, si può giungere a risultati significativi. Pertanto, con differenti quantità, dipendenti da concetti strutturali per funzioni paragonabili tra loro e con dati unitari come menzionato prima, possono essere ottenuti risultati realistici.

Per un edificio comune a singola elevazione (figura 1), il singolo telaio strutturale può essere considerato come una unità funzionale. Il telaio strutturale sopporta sforzi normali, di taglio e flessione, ed è pertanto sollecitato in vari modi.



*Figura 1: Vista prospettica del sistema strutturale di un edificio a singola elevazione, con la struttura base intelaiata, vista come unità funzionale*

## 2. Base dati per informazioni ecologiche

Le basi di dati per questa comparazione sono costituite dalla dichiarazione ambientale di prodotto (EPD-BFS-2010111) per l'acciaio da costruzione (bauforumstahl.de) e da Ökobau.dat 2009 (nachhaltigesbauen.de) del Ministero dello sviluppo urbano, dell'edilizia e dei trasporti della Germania Federale (BMVBS). I principali prodotti menzionati nell'EPD provengono dai produttori di acciaio europei – i redattori di questa dichiarazione. In Ökobau.dat, basato su informazioni medie di mercato, sono rappresentati anche produttori non europei. Quello che emerge è che quelli europei, influenzati dai nostri standard sociali ed ambientali, hanno investito pesantemente in nuove tecnologie negli ultimi decenni. Per questa ragione, gli specifici dati EPD sono di gran lunga migliori dei valori medi di mercato, come evidenziato in Ökobau.dat. Per informazioni dettagliate, si veda la tabella 6.

## 3. Sistemi strutturali

Il sistema strutturale per un edificio a singola elevazione può essere pensato con diversi schemi statici. In base alle scelte progettuali, i relativi materiali impiegati possono variare nelle loro quantità al mutare delle dimensioni dell'edificio. Analogamente, sulla base dei materiali da costruzione impiegati, un diverso sistema strutturale può rappresentare la soluzione ottimale.

Il seguente confronto riguarda il sistema strutturale principale di un tipico edificio a un solo livello, avente una luce di 15 m, altezza di gronda pari a 5 m, pendenza in copertura di 5°, distanza tra le campate di 6 m, carichi neve e vento pari a 75 kg/m<sup>2</sup> (figura 2). Vengono considerati due differenti schemi statici e relativi materiali costruttivi (tabella 1).

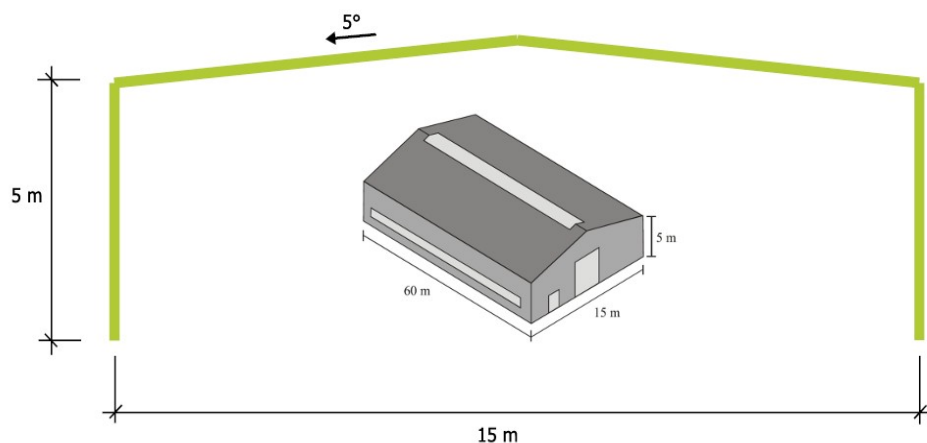


Figura 2: Dimensioni dell'edificio a singola elevazione e del relativo telaio strutturale

Sistema portante	Materiali
1. Telaio a portale incernierato alla base, fondazione a plinti	<b>Acciaio da costruzione</b>
	Telaio: gradi S235 ed S460
2. Pilastri incastrati alla base, trave incernierata, fondazioni a plinti a bicchiere	<b>Calcestruzzo armato</b>
	Pilastri, travi: classe di resistenza C30/37
	<b>Calcestruzzo armato, legno lamellare</b>
	Pilastri: classe di resistenza C30/37 Travi in legno lamellare: BS 16

Tabella 1: Schemi statici e possibili sistemi costruttivi

Di seguito vengono presentati alcuni dettagli dei diversi sistemi strutturali. Le quantità di materiali associate costituiscono la base per le successive LCA. In aggiunta al fatto di avere un telaio come unità funzionale, pilastri e travi vengono considerati individualmente. Qui, per gli scopi di questa ricerca, il confronto viene effettuato su un livello di membratura individuale.

Il progetto delle fondazioni (in calcestruzzo classe C25/30, con armature di tipo BSt 500, queste ultime indicate secondo la nomenclatura tedesca) dipende dalle diverse strutture soprastanti. Pertanto le fondazioni vengono incluse nel confronto, come è giusto che sia. Ogni eventuale componente aggiuntivo di secondaria importanza, che può servire per costruire le diverse tipologie strutturali (come ad esempio viti, barre, armature di collegamento, ecc.), non viene considerato per semplicità. Tutte e quattro le diverse tipologie costruttive forniscono le stesse funzionalità per l'edificio a singola elevazione.

### Telaio a portale incernierato alla base, fondazione a plinti

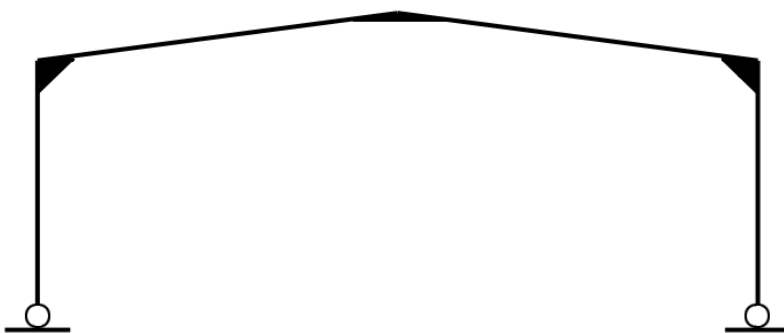


Figura 3: Schema statico di telaio a portale incernierato alla base

Telaio in acciaio	Grado S235	Armature in acciaio BSt 500	Grado S460	Armature in acciaio BSt 500
Pilastrini	IPE 400	-	IPE 400	-
Travi	IPE 450	-	IPE 330	-
Plinti di fondazione C 25/30	150 cm x 150 cm x 35 cm	20.3 kg/m <sup>3</sup>	160 cm x 150 cm x 40 cm	16.7 kg/m <sup>3</sup>

Tabella 2: Telaio strutturale in acciaio, in gradi S235 ed S460



Figura 4: Edificio monopiano con telaio in acciaio e relativi simboli per acciaio S235 (a sinistra) ed S460 (a destra)

**Pilastri incastrati alla base, trave incernierata, fondazioni a plinti a bicchiere**

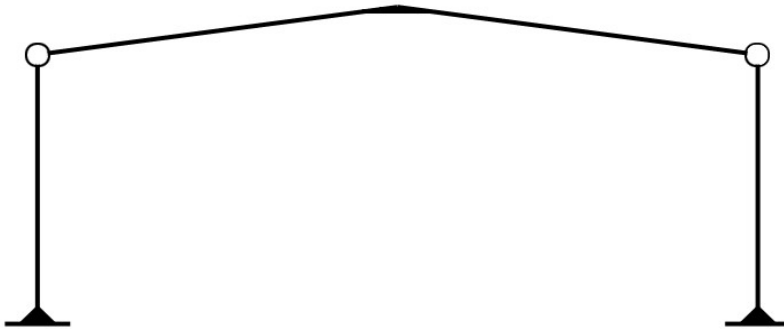


Figura 5: Schema statico di trave incernierata a pilastri incastrati alla base

Telaio in calcestruzzo armato		Armature in acciaio BSt 500
Pilastri C30/37	40 cm x 40 cm	108.1 kg/m <sup>3</sup>
Travi in calcestruzzo armato C30/37	Elemento in calcestruzzo prefabbricato T 80	202.5 kg/m <sup>3</sup>
Fondazione a plinti a bicchiere C25/30	185 cm x 185 cm x 26 cm altezza bicchiere 80 cm	48.1 kg/m <sup>3</sup>

Tabella 3: Telaio in calcestruzzo armato (c.a.)



Figura 6: Edificio monopiano con telaio in calcestruzzo armato prefabbricato (RC) e relativo simbolo



Telaio in calcestruzzo armato e legno lamellare			Armature in acciaio BSt 500
Pilastrini C30/37	-	40 cm x 40 cm	108.1 kg/m <sup>3</sup>
Travi in legno lamellare BS 16	b=14 cm, h <sub>s</sub> =71 cm, h <sub>ap</sub> =101 cm, r <sub>n</sub> =80 m, l <sub>c</sub> =13.94 m	-	-
Fondazione a plinti a bicchiere C25/30	-	191 cm x 191 cm x 24 cm altezza bicchiere 60 cm	53.2 kg/m <sup>3</sup>

Tabella 4: Telaio in legno e calcestruzzo (c.a./Legno), con pilastri in calcestruzzo armato (c.a.) e travi in legno lamellare



Figura 7: Edificio monopiano con telaio legno/calcestruzzo (c.a./Legno) e relativo simbolo

#### 4. Informazioni per le analisi del ciclo di vita (LCA)

Il Comitato Europeo di Standardizzazione (CEN) ha istituito il Comitato Tecnico “Sostenibilità dei prodotti da costruzione” (CEN/TC 350), che ha sviluppato diversi standard per la valutazione della sostenibilità di edifici e prodotti da costruzione. Lo standard EN 15978 (“Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method”) riguarda le prestazioni ambientali degli edifici e definisce i confini del sistema che devono essere considerati in una LCA. L'analisi include tutti i prodotti da costruzione legati all'edificio, così come i processi e i servizi usati per l'intero ciclo di vita della costruzione. Le informazioni sui prodotti e i servizi vengono ottenute dalle Dichiarazioni Ambientali di Prodotto. I principi per la preparazione di queste EPD sono trattati nella EN 15804 (“Sustainability of construction works – Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products”). Dal momento che l'informazione a livello di prodotto è direttamente utilizzata per le valutazioni sull'edificio, tutte

le LCA devono essere strutturate in maniera identica. Pertanto il CEN/TC 350 ha stabilito una descrizione del ciclo di vita in forma modulare (vedi tabella 5), composta da cinque moduli informativi. Il ciclo di vita dell'edificio inizia con l'estrazione delle materie prime, copre le fasi di costruzione ed utilizzo e finisce con lo smantellamento e la gestione dei rifiuti. Nello schema di una completa analisi dell'edificio, il modulo cinque, che comprende costi e benefici che scaturiscono dal riuso e dal riciclo dei prodotti da costruzione, deve essere anch'esso considerato.

Informazioni sulle valutazioni dell'edificio				
Informazioni sul ciclo di vita dell'edificio				
Fase di prodotto	Fase del processo di costruzione	Fase di utilizzo	Fase del fine vita (edificio)	Costi e benefici
A1: Fornitura materie prime	A4: Trasporto	B1: Uso	C1: De-costruzione, demolizione	D: Riuso, recupero, riciclo
A2: Trasporto	A5: Costruzione, installazione	B2: Manutenzione	C2: Trasporto	
A3: Produzione		B3: Riparazione	C3: Trattamento dei rifiuti	
		B4: Sostituzione	C4: Smaltimento	
		B5: Recupero		
		B6: Energia di esercizio		
		B7: Acqua di esercizio		

Tabella 5: Fasi del ciclo di vita per i prodotti da costruzione e per gli edifici secondo EN 15804 ed EN 15978

In questo studio vengono considerati gli indicatori ambientali Potenziale di Riscaldamento Globale (GWP, Global Warming Potential) e Consumo Totale di Energia Primaria (Total Primary Energy demand). Il Global Warming Potential descrive il contributo delle emissioni all'effetto serra. Viene misurato in kg di CO<sub>2</sub> equivalenti, che significa che tutti i gas rilasciati, correlati con l'aumento dell'effetto serra, vengono messi in relazione con la CO<sub>2</sub>. La richiesta di energia primaria totale include l'ammontare di energia primaria che viene usata nel ciclo di vita di un prodotto. Vi è una distinzione tra energia primaria rinnovabile e non rinnovabile. La categoria "energia primaria non rinnovabile" include principalmente l'uso di gas naturale, petrolio, carbone e uranio. La categoria "energia primaria rinnovabile" contiene l'energia eolica, idroelettrica, solare e derivante da biomasse. Ulteriori informazioni sono visibili in tabella 6. Nella tabella 5 non vengono considerati il trasporto dei materiali dalla fabbrica al sito e i processi di costruzione, di pulizia e manutenzione.

La fase di raccolta dati per i prodotti da costruzione (A1-A3, tabella 5) è obbligatoria, in base alla EN 15804, per le analisi dei materiali da costruzione relative alle EPD. Le fasi successive come la costruzione (A4-A5, tabella 5), l'uso (B1-B7, tabella 5) e il fine vita dell'edificio (C1-C4, tabella 5), formano il cosiddetto Building Life Cycle Information. L'attuale Building Assessment Information deve, in base alla EN 15798, anche

includere lo scenario di fine vita dei materiali da costruzione (modulo D, costi e benefici, tabella 5). Dopo che l'edificio è stato smantellato e demolito, i materiali e i prodotti da costruzione vengono separati nei loro singoli componenti e destinati a nuove applicazioni. Possono essere assunti differenti scenari. In base alla recente Direttiva Quadro Europea sui rifiuti (European Waste Framework Directive), il riuso dei materiali è da preferire. Le scelte successive sono invece quella del riciclo, preferibilmente senza perdita di qualità, del recupero (ad esempio sotto forma di energia) e lo smaltimento. Ognuno di questi scenari è associato con ulteriori costi e benefici che devono essere considerati quando si analizza l'impatto totale sull'ambiente di un edificio.

Il riuso implica che i prodotti da costruzione vengano usati nuovamente con la stessa forma e lo stesso scopo che avevano nel vecchio edificio, comportando così solo minori sforzi e conseguenti emissioni. Il riciclo invece comporta una trasformazione dei materiali usati in nuovi prodotti. In senso stretto, il riciclo di un materiale produrrebbe un nuovo approvvigionamento dello stesso materiale. Comunque, per molti prodotti da costruzione tutto ciò è difficile o troppo costoso, così il riciclo spesso comporta la produzione di materiali differenti con qualità inferiori rispetto a quelli di partenza. Questa procedura è anche chiamata "down-cycling". Infine, quando i materiali non possono essere riciclati, una strategia per ridurre i rifiuti può essere costituita da un recupero di almeno una certa quantità di essi. La modalità più comune è il recupero di energia per incenerimento, che però comporta anche la produzione di CO<sub>2</sub>.

Materiale	Commento	Unità di riferimento [RU]	Energia Primaria, non rinnovabile	Energia Primaria, rinnovabile	Energia Primaria Totale	Potenziale di Riscaldamento Globale
			MJ/RU	MJ/RU	MJ/RU	kg CO <sub>2</sub> -Equiv./RU
<b>Acciaio da costruzione</b>	<b>EPD-BFS-2010111</b>	kg	<b>11.78</b>	<b>0.58</b>	<b>12.36</b>	<b>0.80</b>
Fase prodotto A1-A3		kg	19.48	0.65	20.13	1.68
Costi e benefici D	11% Riuso, 88% Riciclo	kg	-7.70	-0.08	-7.78	-0.88
<b>Calcestruzzo C25/30</b>	<b>Ökobau.dat 2009</b>	kg	<b>0.52</b>	<b>0.01</b>	<b>0.53</b>	<b>0.13</b>
		2 365 kg/m <sup>3</sup>	1 230	23.6	1 139	307
Fase prodotto A1-A3	1.4.01 Calcestruzzo C25/30 in autobetoniera	kg	0.47	0.01	0.48	0.09
Costi e benefici D	9.5.1 Trattamento delle macerie dell'edificio	kg	0.05	0.00	0.05	0.03
<b>Calcestruzzo C30/37</b>	<b>Ökobau.dat 2009</b>	kg	<b>0.56</b>	<b>0.01</b>	<b>0.56</b>	<b>0.14</b>
		2 365 kg/m <sup>3</sup>	1 324	23.6	1 324	331
Fase prodotto A1-A3	1.4.01 Calcestruzzo in autobetoniera	kg	0.51	0.01	0.52	0.1
Costi e benefici D	9.5.1 Trattamento delle macerie dell'edificio	kg	0.05	0.00	0.05	0.03
<b>Armature</b>	<b>Ökobau.dat 2009</b>	kg	<b>12.42</b>	<b>0.99</b>	<b>13.41</b>	<b>0.87</b>
Fase prodotto A1-A3	4.1.2 Acciaio per armature	kg	12.42	0.99	13.41	0.87
Costi e benefici D	Tasso di recupero del 100% nessun incremento di rottame	---	-	-	-	-
<b>Legno lamellare</b>	<b>Ökobau.dat 2009</b>	kg	<b>1.31</b>	<b>20.46</b>	<b>21.77</b>	<b>-0.28</b>
		Peso specifico di 515 kg/m <sup>3</sup> con il 12% di umidità	675	10 537	11 212	-144
Fase prodotto A1-A3	3.1.4 Legno lamellare da conifera	kg	11.57	20.57	32.14	-1.46
Costi e benefici D	3.4 Incenerimento dei rifiuti	kg	-10.25	-0.11	-10.36	1.18

Tabella 6: Dati ambientali per i prodotti da costruzione da EPD e da Ökobau.dat 2009

Per l'acciaio da costruzione (profilati e lamiere), in Europa è in atto da parecchi decenni una gestione del riciclo estremamente efficiente. Il tasso di recupero è infatti pari al 99%: da 100 tonnellate di acciaio da costruzione usate in un edificio, 99 tonnellate verranno recuperate dopo lo smantellamento. Dopo, in media, l'11% di prodotti in acciaio vengono usati di nuovo direttamente per scopi strutturali, mentre l'88% viene usato per il riciclo di materiale a ciclo chiuso (closed loop) (vedi EPD per acciaio da costruzione). Il riciclo per l'acciaio strutturale fa sì che avvenga la fusione di acciaio usato (rottame) e la conseguente laminazione di nuovi profilati o lamiere. Grazie al riciclo, la produzione di nuovo acciaio da minerale di ferro in altoforno (identificato con la sigla BF+BOF, dall'inglese "Blast Furnace" e "Basic Oxygen Furnace") è così ridotta. Il risultato è un minor consumo di energia e una minore quantità di emissioni. Inoltre, grazie ai moderni

processi di laminazione termomeccanica, è consentito il miglioramento delle proprietà del materiale (up-cycling: un acciaio S235 può essere trasformato in S460). Il recupero o la dismissione dell'acciaio strutturale non vengono nemmeno presi in considerazione, a causa dell'insito valore economico del materiale.

Quando un materiale può essere riciclato nel modo descritto nei paragrafi precedenti, possono essere ridotti l'utilizzo di nuove materie prime (minerali di ferro, ecc.), il consumo di energia e le emissioni di CO<sub>2</sub>. Il rottame che era necessario per la produzione deve essere sottratto (come i 460 kg di acciaio usato per tonnellata dell'esempio in figura 8) all'88% di rottame che viene riciclato. Il rimanente rottame netto (420 kg di acciaio usato per tonnellata), insieme ai prodotti in acciaio che possono essere riutilizzati (110 kg), è disponibile per evitare la produzione di acciaio da risorse primarie. Tutto ciò è chiamato potenziale di riciclo (ed in realtà anche di riuso), per come si vede in figura 8. L'idea di base del concetto di potenziale di riciclo è che i carichi ambientali vengono allocati per ogni ciclo determinante, poiché essi sono in bilancio netto per una struttura dalla culla alla culla (in inglese "cradle-to-cradle"). Per l'acciaio, nel primo passo necessario per la produzione all'interno dell'altoforno (avente sigla BOF in figura 8), l'ammontare totale dei consumi energetici o delle emissioni è relativamente elevato. Quest'acciaio da costruzione, in seguito, viene usato per esempio in un edificio.

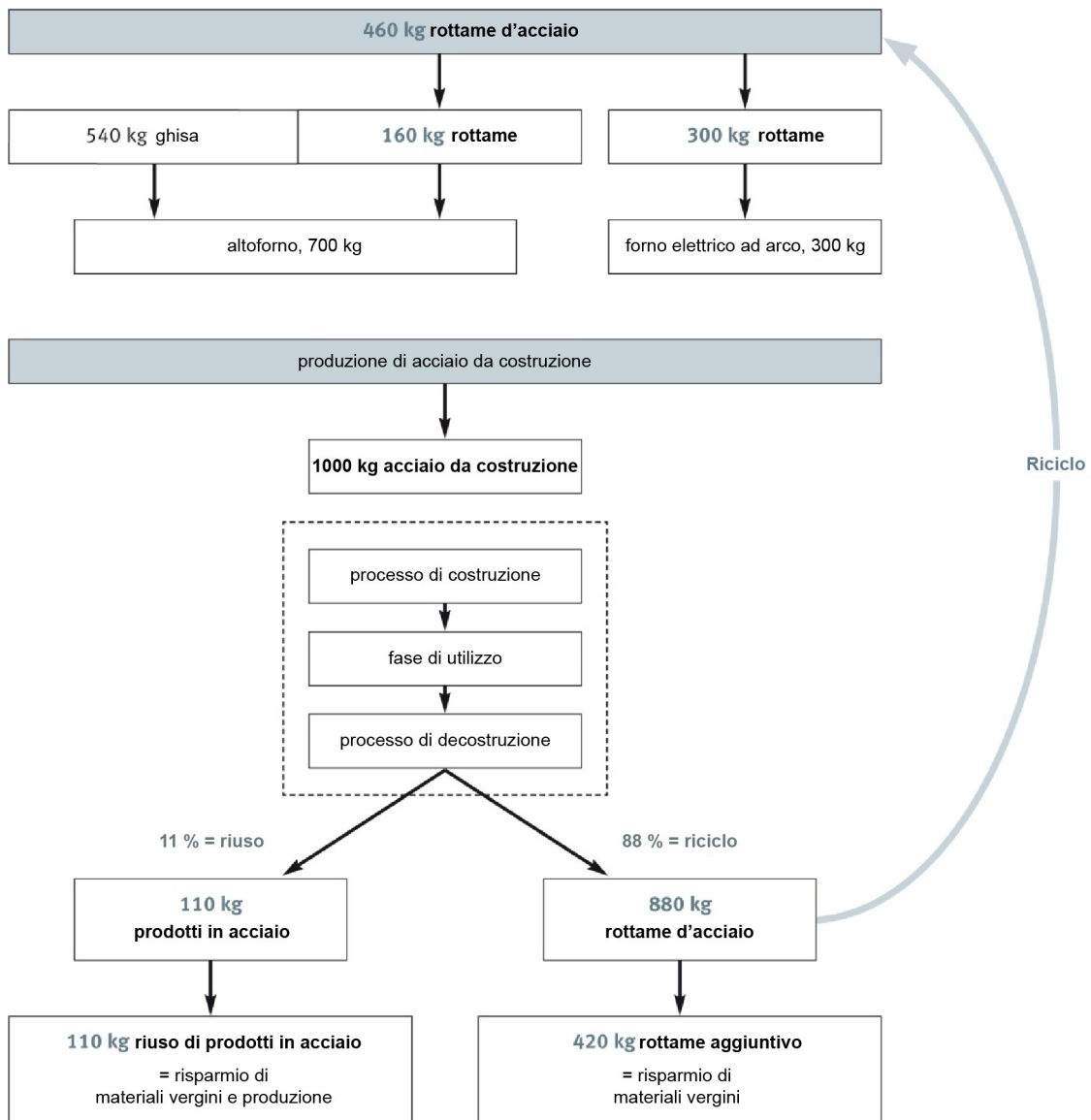


Figura 8: Individuazione schematica del Potenziale di Riciclo (rottame netto e prodotti in acciaio riutilizzati che rimpiazzano nuova produzione da minerale di ferro)

Si assuma che il tasso di recupero sia del 100% all'istante in cui l'edificio viene smantellato. A partire da questo momento, l'acciaio usato viene visto come materiale grezzo secondario, ed è così disponibile per il riciclo. Di conseguenza, solo la differenza tra acciaio strutturale (profilati e lamiere) come prodotto da costruzione e acciaio usato, inteso come materiale rimanente, deve essere attribuita a questo primo ciclo di vita. Se il rimanente acciaio usato viene quindi rifuso nel forno elettrico ad arco (EAF, dall'inglese "Electric Arc Furnace"), il quantitativo di energia o delle emissioni è inferiore rispetto a quello del processo in altoforno (BOF). Questo grazie al fatto che l'acciaio usato è un materiale disponibile senza ulteriori oneri. L'acciaio da qui prodotto viene così riutilizzato in altre applicazioni strutturali, come ad esempio per la costruzione di un ponte. Qui il tasso di recupero è assunto ancora una volta pari al 100%. Lo stesso acciaio è successivamente disponibile nello stesso modo avvenuto precedentemente. Ma, adesso, solo lo sforzo di

produrre acciaio da costruzione a partire dall'acciaio usato nel forno elettrico ad arco (EAF) deve essere accreditato al secondo ciclo di vita.

D'altro canto, se il tasso di recupero fosse stato pari a zero – cioè se l'acciaio usato fosse andato completamente perso – avrebbe dovuto essere conteggiato l'intero sforzo per la produzione di acciaio strutturale a partire dal minerale di ferro, a prescindere dal fatto che l'acciaio usato andato perduto provenisse dal tragitto BOF o EAF. Contrariamente all'approccio del contenuto riciclato, che considera solamente l'ingresso di materiale secondario nel processo di produzione, l'approccio del potenziale di riciclo non accredita il semplice utilizzo di risorse, ma la loro perdita.

## 5. Telaio e fondazioni – sistema strutturale

Il telaio in acciaio con diversi gradi (S235, S460) è confrontato con un telaio in calcestruzzo armato (RC) e con un telaio in legno su fondazioni in calcestruzzo armato (RC/Timber), per come si vede anche nel capitolo 6. Le fondazioni sono rapportate a costruzioni di differenti misure e vengono considerate insieme a tutto il resto.

In questo confronto tra sistemi strutturali con diversi materiali da costruzione, la riciclabilità dell'acciaio strutturale senza perdite nelle proprietà meccaniche gioca un ruolo importante. Inoltre, l'acciaio da costruzione, grazie alla sue elevate caratteristiche meccaniche, consente di ottenere strutture più leggere ed efficienti dal punto di vista dei materiali. Costi e benefici sulla fine del ciclo di vita del prodotto sono inizialmente mostrati separatamente (vedi figure 10, 12) e quindi sommati ai valori provenienti dalle fasi di prodotto (figure 11, 13). Nella norma EN 15978 è richiesta l'esposizione separata per i singoli moduli, ma è consentita una valutazione comune. In questo modo, l'intero ciclo di vita per un materiale da costruzione, incluso il riciclo o lo smaltimento, viene rappresentato con un unico valore.

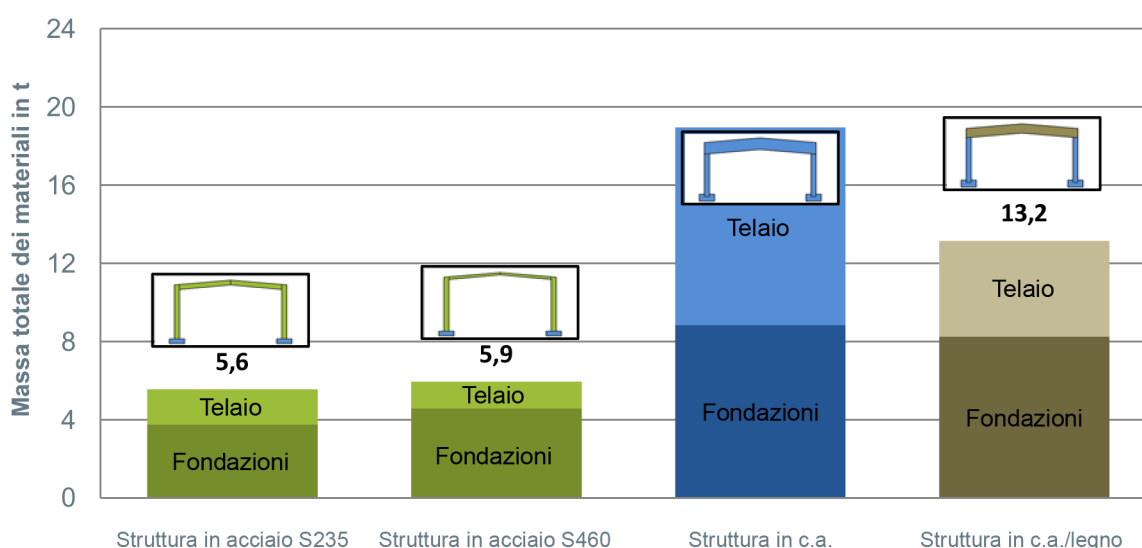


Figura 9: Quantità impiegate per i diversi sistemi costruttivi: telai e fondazioni, in t

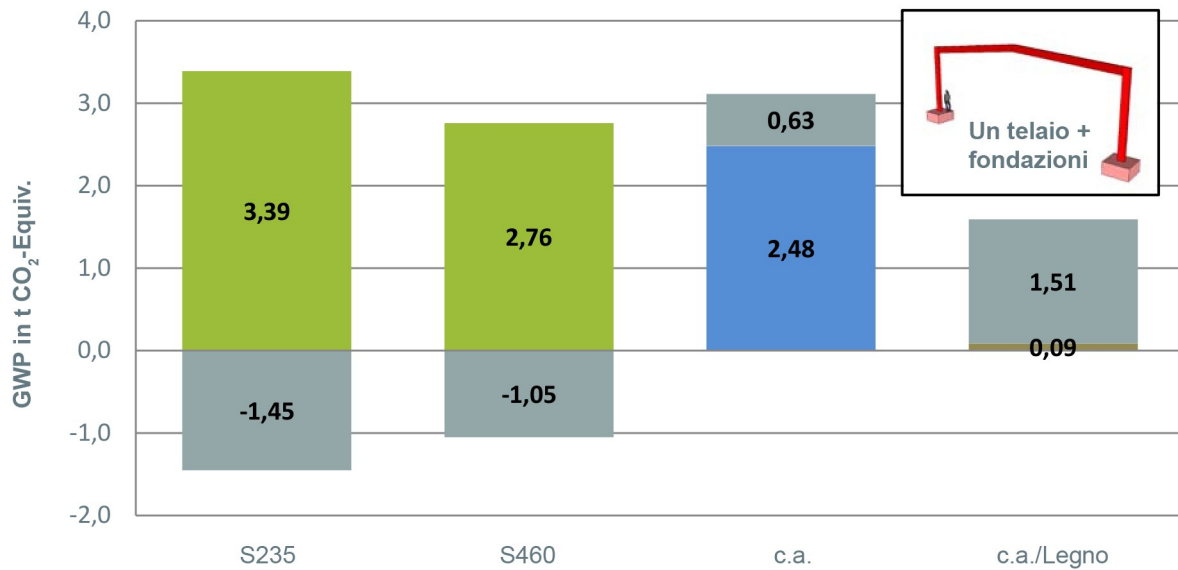


Figura 10: Potenziale di riscaldamento globale per la fase di prodotto (A1-A3) e separatamente costi & benefici (D, grigio) da riciclo (acciaio), incenerimento (legno) o trattamento delle macerie (calcestruzzo) per un telaio con fondazioni, in t di CO<sub>2</sub> equivalenti

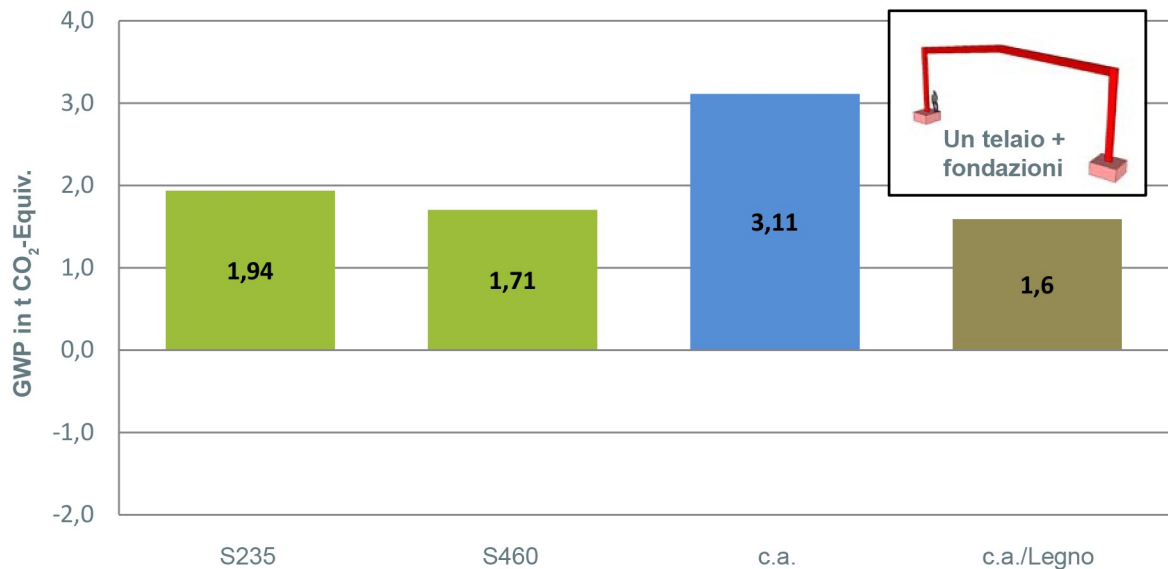


Figura 11: Potenziale di riscaldamento globale per la fase di prodotto (A1-A3) sommato ai costi & benefici (D) da riciclo (acciaio), incenerimento (legno) o trattamento delle macerie (calcestruzzo) per un telaio con fondazioni, in t di CO<sub>2</sub> equivalenti



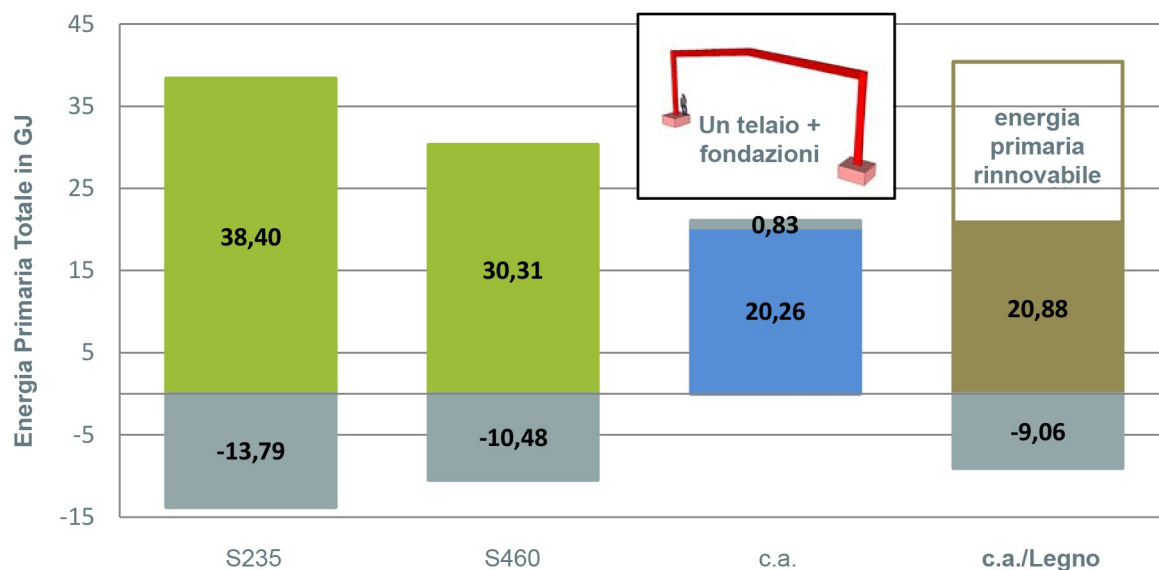


Figura 12: Energia primaria totale per la fase di prodotto (A1-A3) e separatamente costi & benefici (D, grigio) da riciclo (acciaio), incenerimento (legno) o trattamento delle macerie (calcestruzzo) per un telaio con fondazioni, in GJ

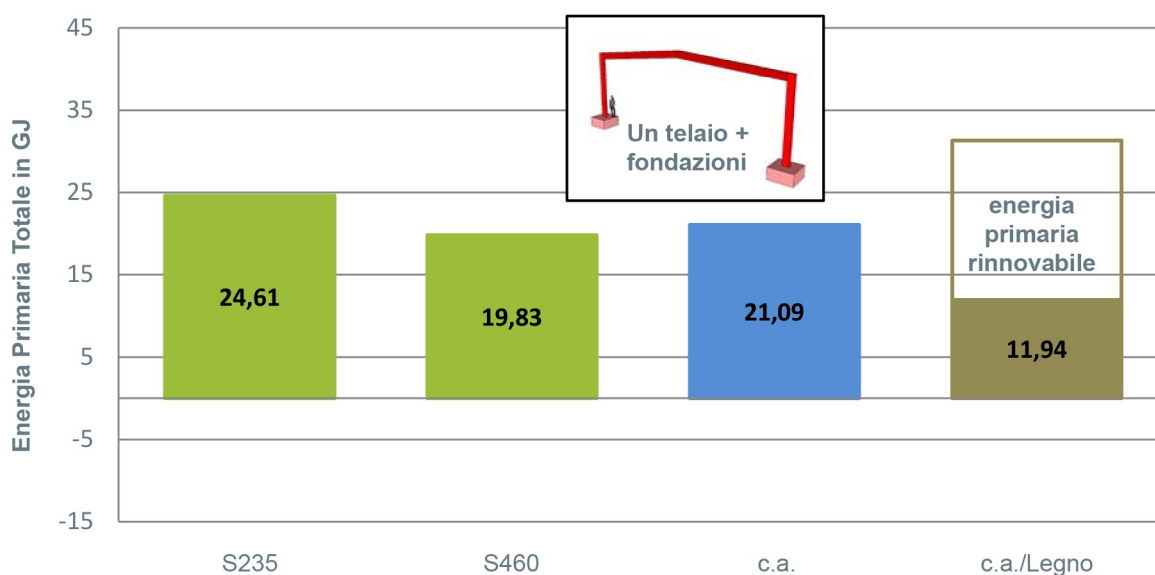


Figura 13: Energia primaria totale per la fase di prodotto (A1-A3) sommata ai costi & benefici (D) da riciclo (acciaio), incenerimento (legno) o trattamento delle macerie (calcestruzzo) per un telaio con fondazioni, in GJ

Guardando gli schemi tutti insieme, nessuno dei sistemi strutturali con differenti materiali da costruzione è in netto vantaggio rispetto agli altri. L'acciaio ad alta resistenza S460 sembra però raccomandabile, se paragonato all'acciaio di grado S235.

Per un miglior confronto tra differenti strutture ed edifici, i valori per i telai sono convertiti in valori per

superficie al metro quadrato. Le figure 14 e 15 mostrano il Potenziale di Riscaldamento Globale e la Produzione Totale di Energia Primaria, inclusi costi e benefici per il riciclo, l'incenerimento o il trattamento delle macerie per un telaio con fondazioni per metro quadrato.

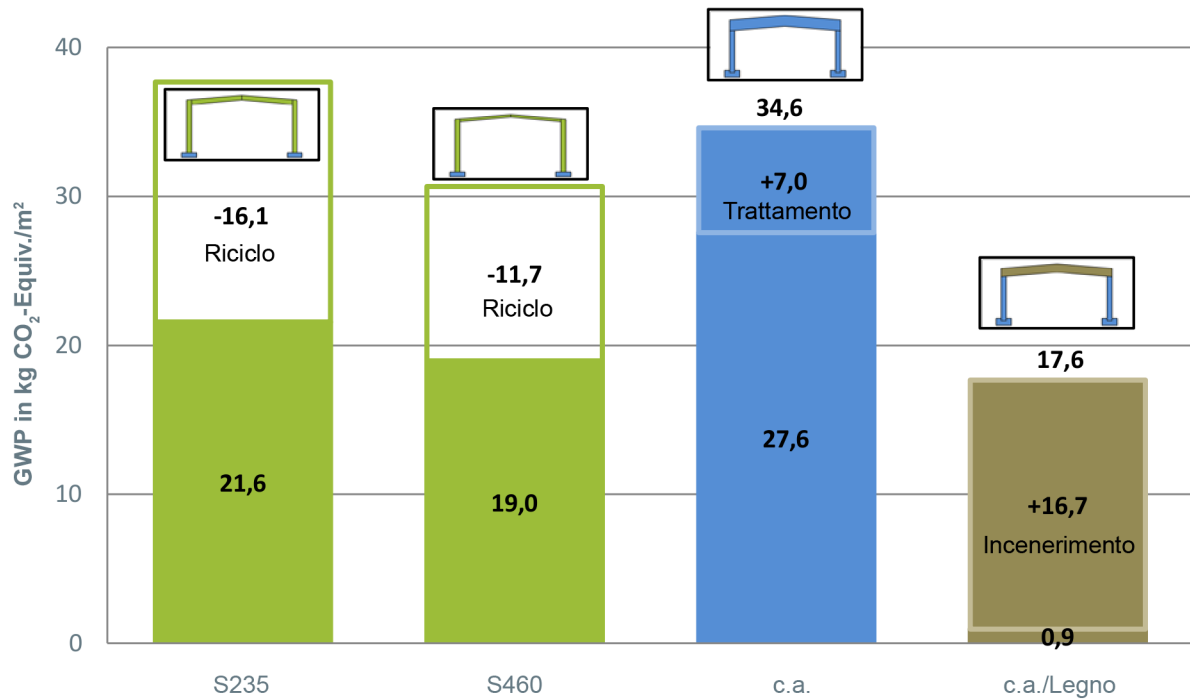
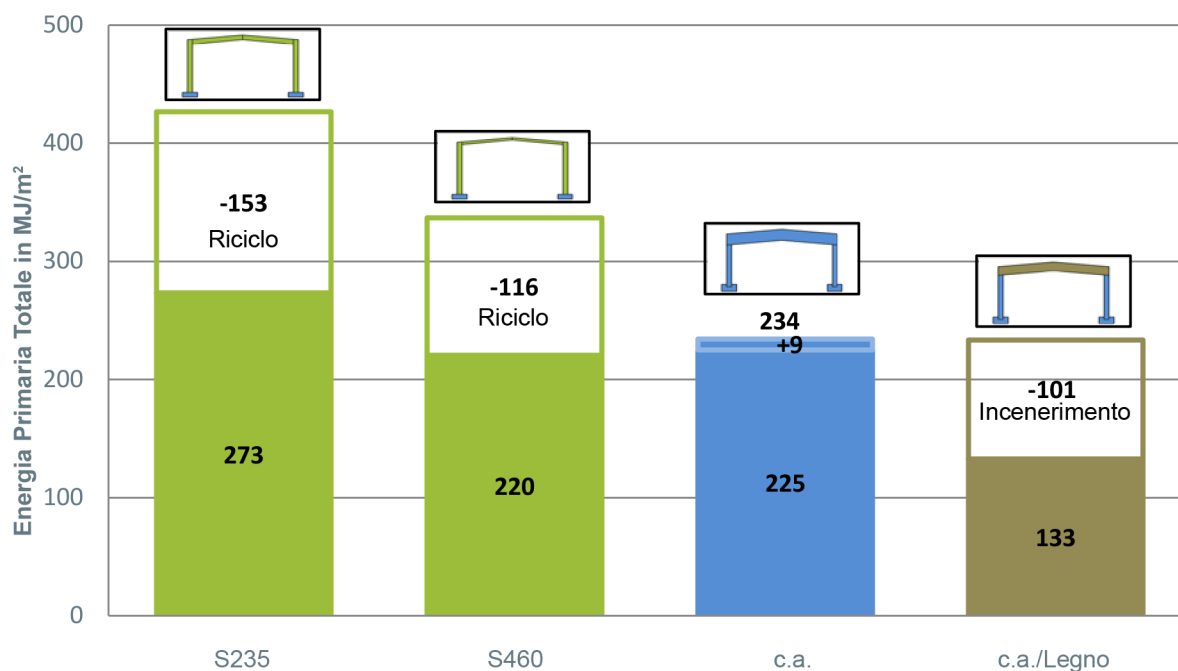


Figura 14: Potenziale di riscaldamento globale per la fase di prodotto (AI-A3) sommato ai costi & benefici (D) da riciclo (acciaio), incenerimento (legno) o trattamento delle macerie (calcestruzzo) per un telaio con fondazioni, in kg di CO<sub>2</sub> equivalenti per m<sup>2</sup> di superficie calpestabile



Per le travi in legno lamellare, l'energia primaria rinnovabile di 216 MJ/m<sup>2</sup> non è elencata, poiché è principalmente energia solare, essenziale per la fase di crescita del legno

Figura 15: Energia primaria totale per la fase di prodotto (A1-A3) sommata ai costi & benefici (D) da riciclo (acciaio), incenerimento (legno) o trattamento delle macerie (calcestruzzo) per un telaio con fondazioni, in MJ per m<sup>2</sup> di superficie calpestabile

## 6. Pilastro senza fondazioni – singolo elemento strutturale

Per i pilastri (soggetti a compressione e flessione), confrontando l'acciaio con il cemento armato, il primo garantisce masse inferiori e migliori risultati per il Potenziale di Riscaldamento Globale. Per il Consumo Totale di Energia Primaria, il pilastro in calcestruzzo armato è in vantaggio. Ma le fondazioni, che non sono considerate in questa fase, sono più ampie nel caso del cemento armato. Considerazioni affidabili possono pertanto essere fatte solo in relazione all'intero sistema strutturale.

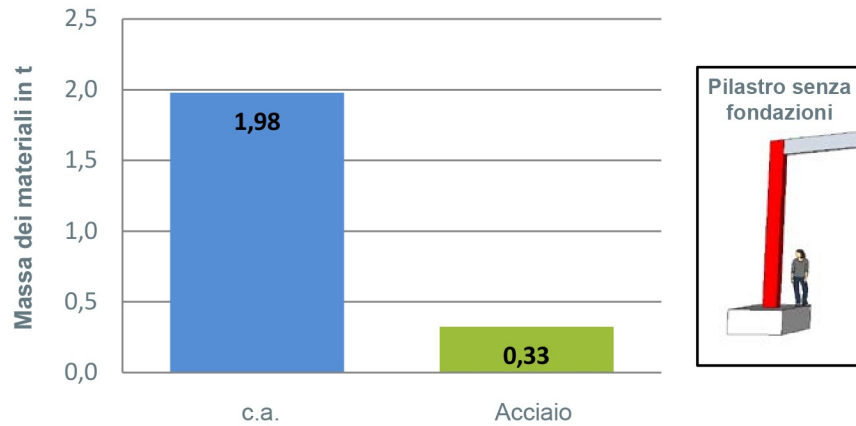


Figura 16: Quantità per pilastri senza fondazioni, in t

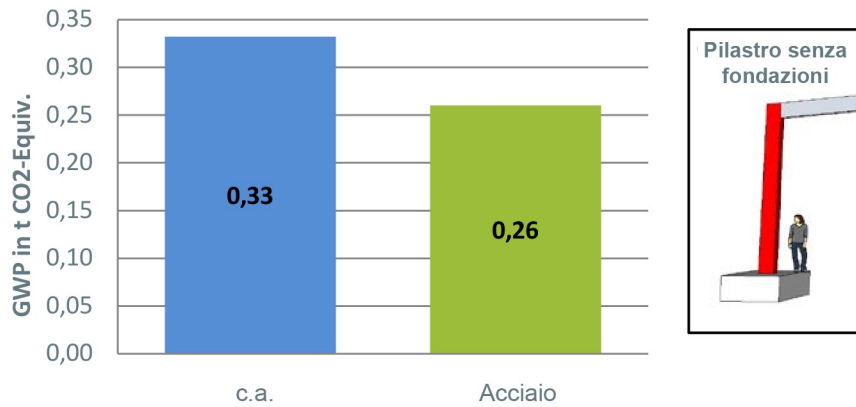


Figura 17: Potenziale di riscaldamento globale per la fase di prodotto (A1-A3) sommato ai costi & benefici (D) da riciclo (acciaio), incenerimento (legno) o trattamento delle macerie (calcestruzzo) per un pilastro senza fondazioni, in t di CO2 equivalenti

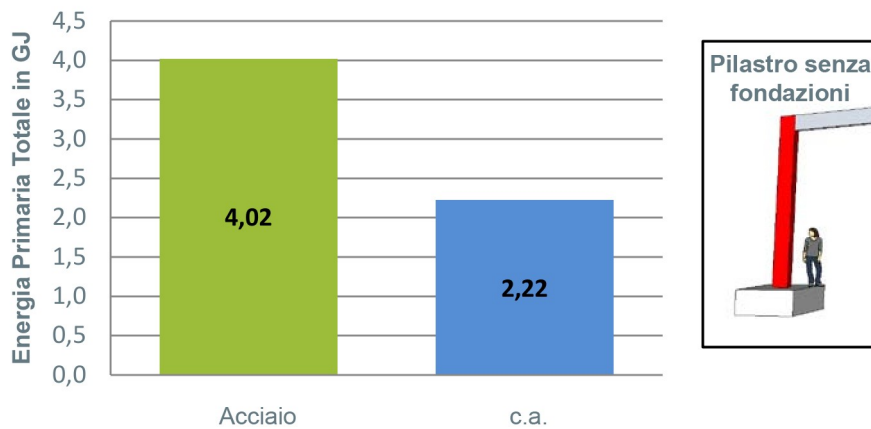


Figura 18: Energia primaria totale per la fase di prodotto (A1-A3) sommato ai costi & benefici (D) da riciclo (acciaio), incenerimento (legno) o trattamento delle macerie (calcestruzzo) per un pilastro senza fondazioni, in GJ

## 7. Trave – singolo elemento strutturale

Per le travi (soggette a flessione) emergono i dati relativi al grande peso per gli elementi in cemento armato e le buone prestazioni per quelli in legno lamellare. L'uso di sezioni in acciaio di grado elevato emerge in questo caso positivamente. E' comunque evidente che se si guardano solamente i singoli elementi, i risultati possono risultare distorti.

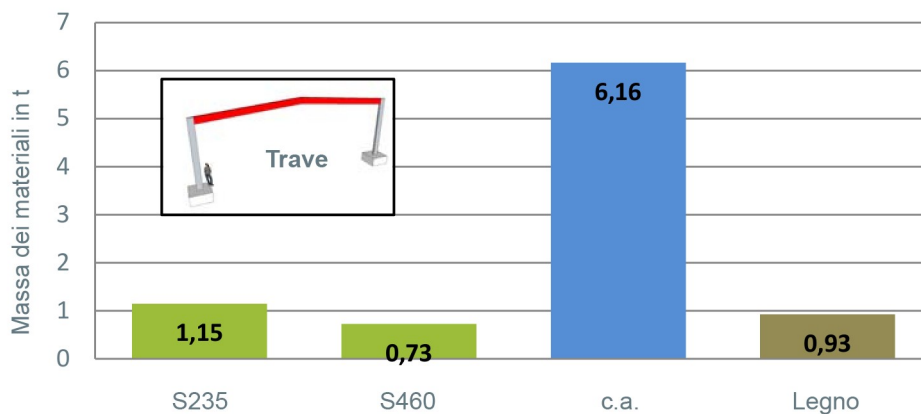


Figura 19: Quantità per una trave, in t

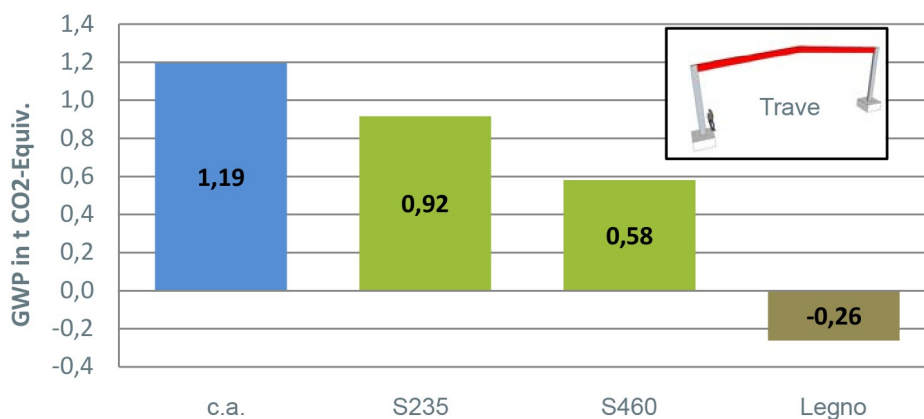


Figura 20: Potenziale di riscaldamento globale per la fase di prodotto (A1-A3) sommato ai costi & benefici (D) da riciclo (acciaio), incenerimento (legno) o trattamento delle macerie (calcestruzzo) per una trave, in t di CO2 equivalenti

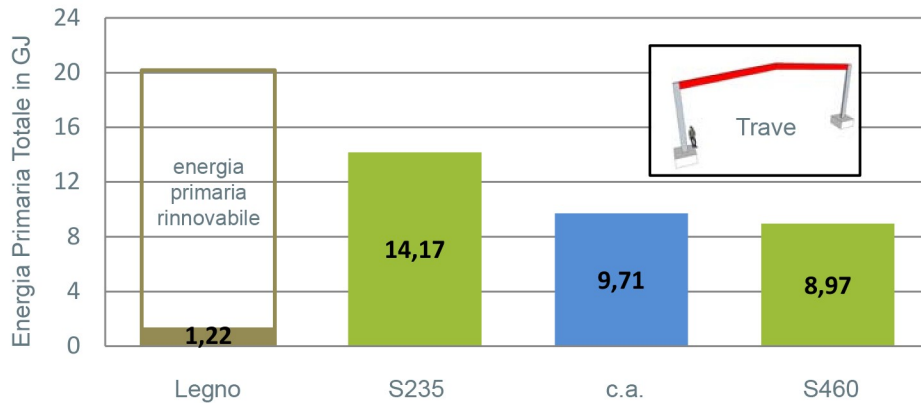


Figura 21: Energia primaria totale per la fase di prodotto (A1-A3) sommata ai costi & benefici (D) da riciclo (acciaio), incenerimento (legno) o trattamento delle macerie (calcestruzzo) per una trave, in GJ

## 8. Involucro edilizio

Viene effettuato un confronto tra differenti possibilità per l'involucro edilizio di altrimenti identici edifici a singola elevazione: un edificio "freddo" non isolato, tre edifici "caldi" ugualmente coibentati e un "super" edificio con isolamento termico ad elevate prestazioni. Nella tabella 7 vengono elencate le possibilità appena esposte.


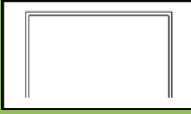
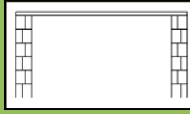
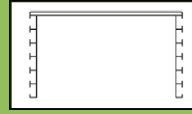

	Edificio freddo	Edificio caldo 1	Edificio caldo 2	Edificio caldo 3	Super edificio
<b>Simbolo</b>					
<b>Pareti esterne</b>	Lamiera grecata, non coibentata U=5.88	Pannelli sandwich in acciaio e poliuretano, 80 mm, U=0.33	Calcestruzzo aerato, 300 mm, U=0.31	Muro a cassetta, 145+40 mm, U=0.29	Pannelli sandwich in acciaio e poliuretano, 200 mm, U=0.13
<b>Copertura</b>	Lamiera grecata, non coibentata U=7.14	Materassino in lana minerale da 140 mm, U=0.28	Materassino in lana minerale da 140 mm, U=0.28	Materassino in lana minerale da 140 mm, U=0.28	Materassino in lana minerale da 320 mm, U=0.12
Lucernari	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
Finestre	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Porte	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Portoni	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
Sistema strutturale	Telaio a portale incernierato alla base in acciaio di grado S235				
Fondazioni	Fondazioni a plinti in calcestruzzo di classe C25/30				
Piastra di fondazione	Non coibentata, U=0.44				

Tabella 7: Base di dati per il confronto tra diversi involucri edilizi

Per come mostrato nelle figure 22 e 23 per l'edificio freddo, i dati ambientali per la fase di prodotto (A1-A3) sommati ai costi e benefici (D, smaltimento o riciclo) sono i più bassi. Gli involucri degli edifici caldi, aventi uguale coibentazione, mostrano anche risultati bilanciati. Il super edificio, con pannelli sandwich da 200 mm

di poliuretano, presenta i valori più elevati. Ma è evidente che, per il super edificio, l'incremento del Potenziale di Riscaldamento Globale e del Totale di Energia Primaria è relativamente moderato se confrontato con l'incremento di coibentazione, che ammonta a un fattore di più di due. E' significativo che usando elementi sandwich, specialmente in rapporto al calcestruzzo aerato, si ottiene un isolamento più eco-efficiente anche con minori spessori dei pannelli.

Nella fase seguente, vengono esaminati due varianti di pannelli sandwich in poliuretano, relativamente alla fase di esercizio dell'edificio. Quanto tempo serve al super edificio per ripagare del maggior consumo totale di energia primaria legato alla produzione dei pannelli, considerando il minor consumo in fase di esercizio?

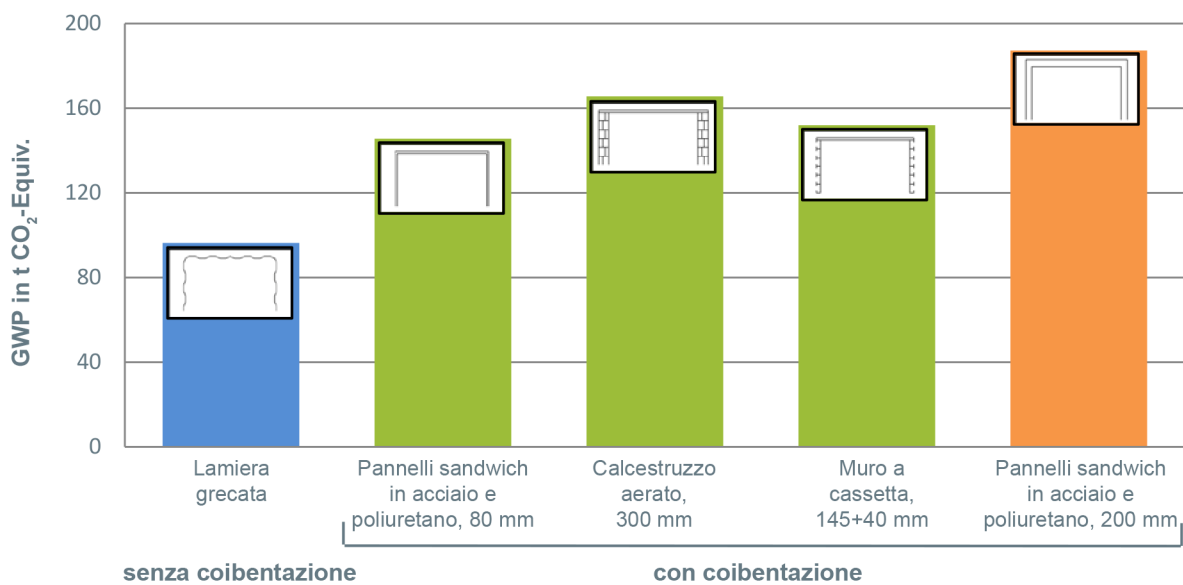


Figura 22: Potenziale di riscaldamento globale per la fase di prodotto (A1-A3) sommato ai costi & benefici (D) per le pareti esterne, in t di CO<sub>2</sub> equivalenti

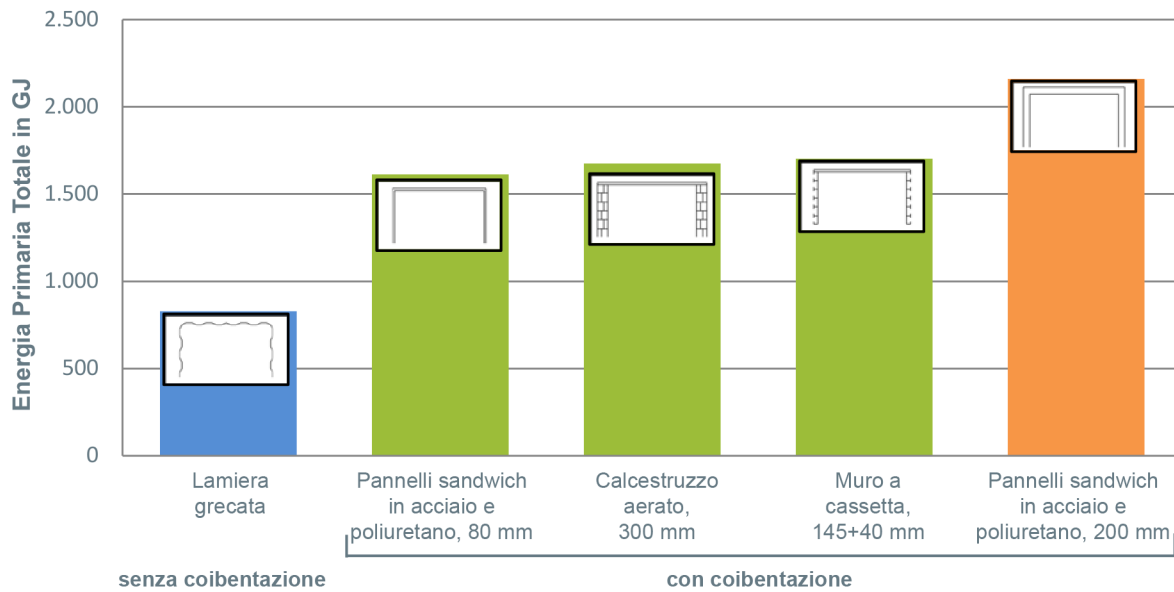


Figura 23: Energia primaria totale per la fase di prodotto (A1-A3) sommata ai costi & benefici (D) per le pareti esterne, in t di CO<sub>2</sub> equivalenti

### Confronto per la fase di esercizio

L'Energia Primaria Totale, richiesta per la fase di prodotto (A1-A3) e per i costi e benefici (D) dell'involucro edilizio (edificio caldo "1" e super edificio, figura 23), è convertita da GJ a MWh (tabella 8). In questo modo possono essere confrontati i consumi annuali medi di energia durante la fase di esercizio (B6, consumo energetico in esercizio, visibile anche in figura 2). Queste informazioni sono rappresentate nella tabella 8.

I presunti consumi di energia primaria annuale possono essere ricapitolati linearmente lungo il tempo, per un periodo presunto di utilizzo pari a 20 anni. Invece l'Energia Primaria Totale per la fase di prodotto (A1-A3) e per i costi e benefici (D) dell'involucro edilizio può essere rappresentata graficamente con uno sfalsamento iniziale per semplicità, come visibile in figura 24.





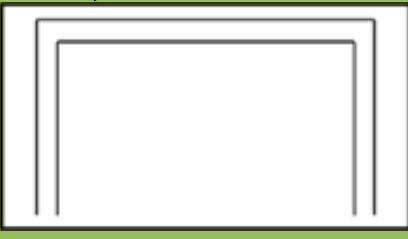
	<b>Edificio caldo 1</b> Pannelli sandwich in acciaio e poliuretano, 80 mm	<b>Super edificio</b> Pannelli sandwich in acciaio e poliuretano, 200 mm
		
Energia Primaria Totale per la fase prodotto (A1-A3) e costi e benefici (D)	<b>450 MWh</b>	<b>600 MWh</b>
Consumi annui di energia primaria per la fase di esercizio (B6)	<b>111 MWh/a</b>	<b>90 MWh/a</b>

Tabella 8: Consumo di energia primaria per l'edificio caldo 1 e per il super edificio considerando la fase di prodotto (A1-A3), costi & benefici (D) e consumo energetico in esercizio (B6)

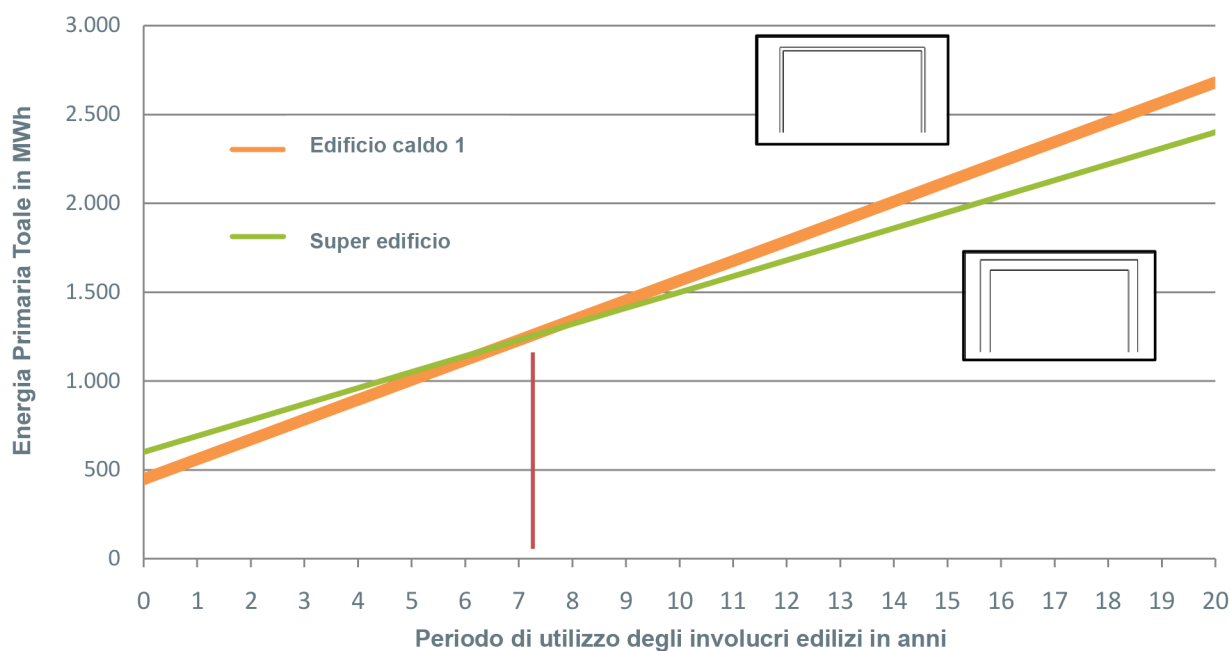


Figura 24: Confronto del consumo di energia primaria per l'involucro edilizio dell'edificio caldo 1 e del super edificio lungo un periodo di utilizzo di 20 anni, inclusi la fase di prodotto (A1-A3), costi & benefici (D) e il consumo energetico in esercizio (B6)

In termini di consumo di energia primaria, il super edificio entra in pareggio con l'edificio caldo "1" dopo circa 7 anni, così come mostrato in figura 24. Gli sforzi aggiuntivi avvenuti durante le fasi di prodotto (A1-A3) e costi e benefici (D), se confrontati con quanto avviene per l'edificio a isolamento standard, vengono compensati da una richiesta inferiore per l'energia d'esercizio (B6). La figura 25 illustra quanto appena asserito, mostrando più chiaramente che il vero risparmio energetico inizia dopo circa il settimo anno.

Il confronto di involucri edilizi con differenti proprietà di coibentazione mostra l'importanza di considerare l'intero ciclo di vita. Gli edifici vengono progettati per un lungo periodo di utilizzo, pertanto le decisioni prese durante le fasi di progettazione e costruzione, avendo conseguenze nel lungo periodo, devono essere valutate attentamente. Il paragone tra differenti involucri edilizi, per il consumo energetico totale in tipici edifici a singola elevazione, rappresenta solamente un semplice esempio, utilizzato qui per scopi dimostrativi.

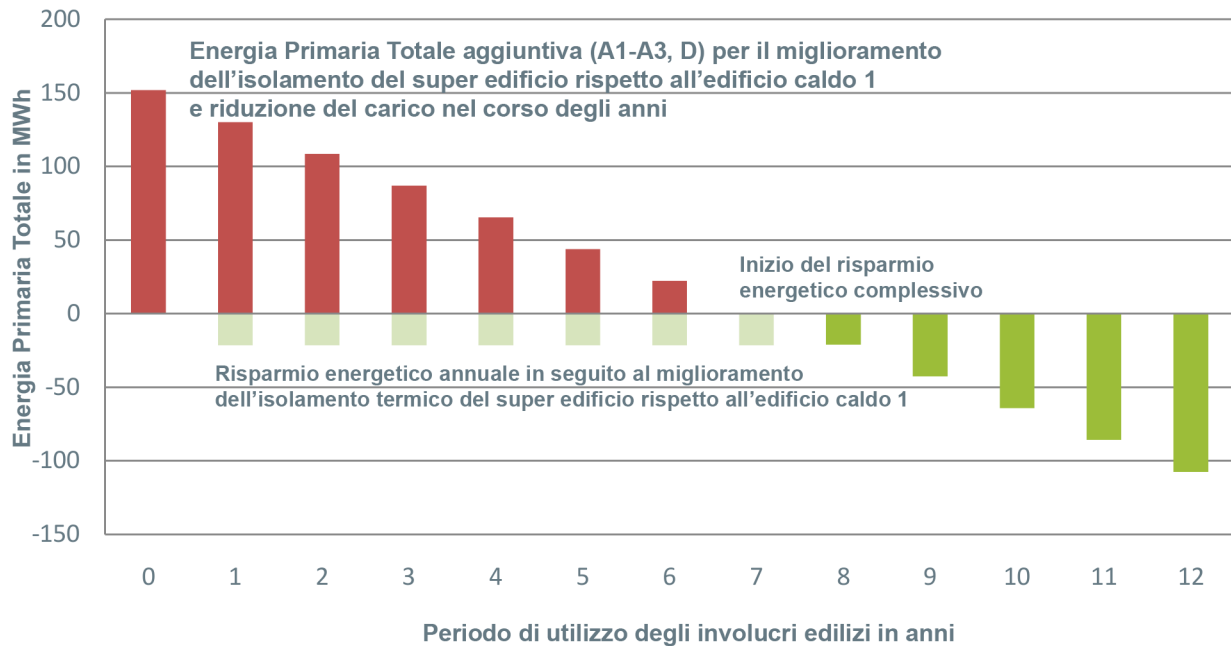


Figura 25: Ammortamento dell'incremento di isolamento termico grazie al risparmio energetico lungo il periodo di utilizzo

## 9. Trasporto

Al variare della nazione in cui l'acciaio viene prodotto (dalla culla al cancello, dall'inglese "cradle to gate"), devono essere considerati ulteriori oneri a carico dell'ambiente dovuti ai trasporti (A4, trasporto, vedere anche tabella 5). Per acciaio strutturale prodotto (cancello) in Europa occidentale, Brasile o Cina e utilizzato per costruzioni in Europa occidentale (sito), le distanze legate ai trasporti possono essere assunte come segue (tabella 9):

	Trasporto su nave km	Trasporto su rotaia km
<b>Europa occidentale</b>	-	<b>500</b>
<b>Brasile</b>	<b>10000</b>	<b>500</b>
<b>Cina</b>	<b>20000</b>	<b>800</b>

Tabella 9: Distanze medie e mezzi di trasporto per andare dal "cancello" al sito per l'acciaio da costruzione

Per il trasporto di una tonnellata lungo una distanza di 1 km (= 1 ton chilometro “tkm”), in Ökobau.dat i dati ambientali sono forniti per come mostrato nella tabella 10. Per semplicità l'imballaggio (container, ecc.) non viene considerato.

Un telaio in acciaio di tipo S235, così come descritto in figura 2 e tabella 2, viene utilizzato per confrontare gli effetti sull'ambiente da parte dei prodotti in acciaio, incluso il trasporto (A4), per come mostrato nelle figure 26 e 27.

	<b>Potenziale di riscaldamento globale</b> kg CO <sub>2</sub> /tkm	<b>Consumo di energia primaria</b> MJ/tkm
<b>Nave portacontainer</b>	<b>0.0145</b>	<b>0.1782</b>
<b>Trasporto su rotaia</b>	<b>0.0286</b>	<b>0.5864</b>

Tabella 10: Dati ambientali per trasporto via mare e su rotaia secondo quanto riportato su Ökobau.dat 2009

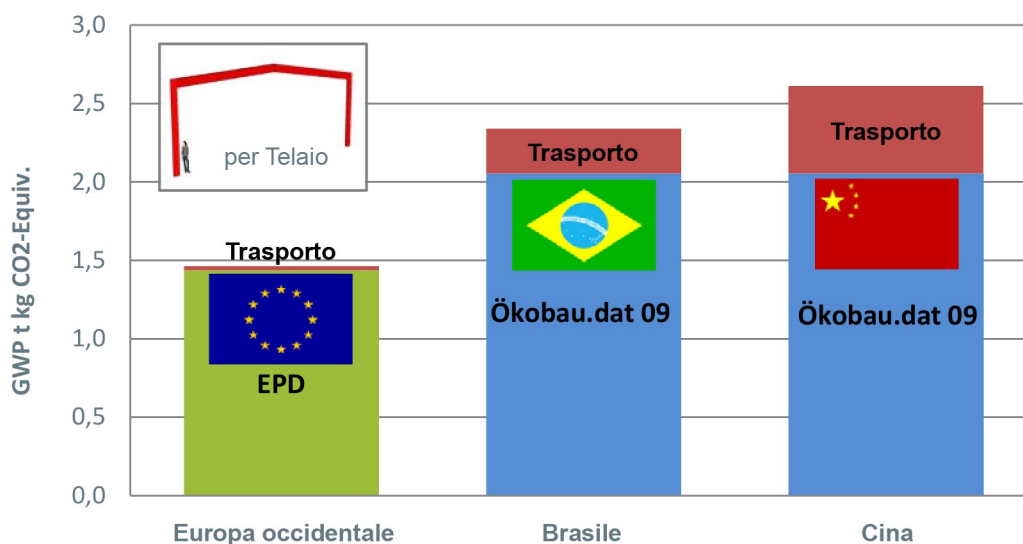


Figura 26: Potenziale di riscaldamento globale per un telaio in acciaio S235 incluso il trasporto (A4) dal “cancello” al sito, in CO<sub>2</sub> equivalenti

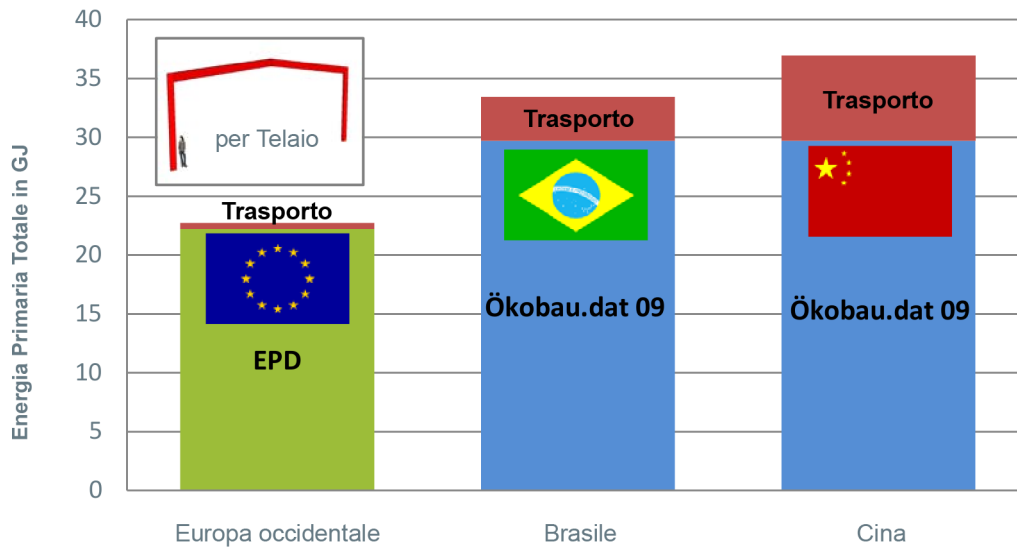


Figura 27: Energia primaria totale per un telaio in acciaio S235 incluso il trasporto (A4) dal “cancello” al sito, in GJ

I trasporti su lunghe distanze, confrontando i consumi di energia primaria calcolati e il potenziale di riscaldamento globale per il singolo telaio, sia per le fasi di prodotto che per i costi e benefici, possono aggiungere carichi ambientali addizionali fino al 30% sui prodotti da costruzione (vedere figure 26, 27). Attraverso questa proporzione significativa dei dati ambientali per i trasporti su lunghe distanze, diventa evidente come il trasporto dal cancello al sito debba essere considerato al fine di una completa LCA di un edificio.

## 10. Conclusioni

Con il confronto delle prestazioni ambientali di differenti sistemi strutturali e materiali, pur con le medesime funzionalità, diventa evidente come un progetto basato su una struttura in acciaio, quando leggera ed efficiente, è vantaggioso. Non si tratta solo di quantità ridotte di materiale per un determinato elemento strutturale – in questo caso il telaio di un edificio a singola elevazione – ma anche di un numero inferiore di pilastri, di fondazioni più piccole o di minori trasporti al sito di costruzione, ecc.; si tratta di una visione olistica.

Un altro vantaggio dell'acciaio è la sua speciale proprietà “dal cancello al cancello” (in inglese “Cradle to Cradle”): dopo lo smantellamento di un edificio, l'acciaio da costruzione può essere direttamente riutilizzato o riciclato, così da consentire nuovamente un suo uso come materiale da costruzione, salvando in questo modo risorse naturali. Facendo uso di acciaio ad alta resistenza, specialmente per elementi tesi e inflessi, l'analisi del ciclo di vita può essere ulteriormente migliorata. E' inoltre diventato evidente che il livello di confronto – ad esempio sul materiale, su un particolare elemento o su una intera unità funzionale – ha un'influenza significativa sui risultati. Quando viene compiuto un confronto tra le prestazioni ambientali di materiali da costruzione, deve essere scelta una struttura di esempio, così come la si può trovare in

costruzioni ordinarie e soggetta a carichi tipici (compressione, trazione, flessione). Il concetto olistico di analisi del ciclo di vita di un edificio richiede che i costi e i benefici, che appaiono alla fine del ciclo di vita di un materiale da costruzione, debbano comunque essere considerati. Il paragone tra materiali da costruzione, così come richiesto a livello di analisi di una unità funzionale, ha mostrato che gli acciai strutturali, specialmente quelli dotati di una dichiarazione ambientale di prodotto, sono considerevolmente competitivi. Deve essere menzionato nuovamente che il fatto di basare un confronto tra materiali da costruzione basandosi unicamente sui dati ambientali unitari porta a risultati di scarso significato. In base allo specifico contesto o scopo, una completa unità funzionale – un sistema strutturale o alcuni componenti significativi – deve essere considerata per il confronto.

Il paragone tra involucri edilizi con differenti proprietà termiche mostra inoltre l'importanza di considerare, oltre alla fase di prodotto, l'intero ciclo di vita. Gli edifici sono usualmente progettati per un utilizzo di lungo periodo. Pertanto, le decisioni prese durante le fasi di progettazione e costruzione possono avere conseguenze di vasta portata, e devono sicuramente essere valutate con attenzione. Il paragone, basato sul consumo totale di energia, per un tipico edificio ad un livello con vari involucri, ne è un chiaro esempio.

Mentre distanze di trasporto ridotte – come ad esempio una distanza media di 500 km in Europa – possono essere trascurabili, i trasporti di lunga distanza influenzano invece le LCA dei prodotti da costruzione. Da ciò deriva che una LCA completa ed esaustiva debba anche considerare il trasporto dalla fabbrica al sito di costruzione.

L'uso efficiente delle risorse, così come la riduzione dei rifiuti, rappresentano importanti argomenti di discussione nelle attuali agende politiche, e al più presto faranno parte del quadro normativo europeo per il settore delle costruzioni. Per come mostrato qui, l'acciaio strutturale è ben preparato per raggiungere questi obiettivi.

## 11. Bibliografia

1. Donath, C., Fischer, D. und Hauke, B. 2011. *Nachhaltige Gebäude – Planen, Bauen, Betreiben*. Düsseldorf: bauforumstahl e.V
2. EPD-BFS-2010111-E. 2010. *Environmental Product Declaration - Structural Steel: Sections and Plates*. Institute for Construction and Environment
3. Fischer, D. und Hauke, B. 2010. *Umwelt-Produktdeklaration Baustähle –Erläuterungen*. Düsseldorf: bauforumstahl e.V
4. Kreissig, J., Hauke, B. und Kuhnhenne, M. 2010. Ökobilanzierung von Baustahl. *Stahlbau*. volume 79. issue 6: 418 - 433
5. Kuhnhenne, M., Döring, B. und Pyschny, D. 2010. *Ökobilanzierung von Typenhallen*, RWTH Aachen
6. EN15804. 2011. *Sustainability of construction works - Environmental product declarations – Core*

rules for the product category of construction products. European Committee for Standardization

7. EN15978. 2011. *Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method*. European Committee for Standardization

### Immagini:

Copertina: ©bauforumstahl, Figure 1-3: ©bauforumstahl, Figura 4/Tabella 8: ©Kerschgens Stahl & Mehr GmbH, Figura 6: ©Dr. Gerhard Köhler, Werksvertretungen, Figura 7: ©Michael Fassold, Sägewerk und Holzhandels GmbH Fassold, Figure 8-27: ©bauforumstahl, in basso: ©Salzgitter Mannesmann Stahlhandel

