

APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA LCA A UN CASO STUDIO DI STRUTTURA MULTIPIANO

Analisi LCA comparativa tra il sistema NPS® e strutture alternative convenzionali

Chiara Piccardo (chiara.piccardo@arch.unige.it)

Dipartimento Architettura e Design, Università degli Studi di Genova.

Chiara Calderini (chiara.calderini@unige.it)

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale, Università degli Studi di Genova.

Premessa

Il presente contributo si inserisce all'interno di una serie di articoli volti a introdurre il tema del Life Cycle Assessment (LCA) applicato alle strutture e segue il precedente articolo "La valutazione di impatto ambientale delle strutture mediante LCA". In particolare, si approfondiscono il tema delle prestazioni ambientali delle strutture e l'applicazione della metodologia LCA alle strutture attraverso un secondo caso studio esemplificativo, analizzato nell'ambito di una collaborazione tra Tecnostrutture e Università di Genova.

Abstract

Negli ultimi anni, molte analisi LCA comparative hanno indagato e confrontato l'impatto ambientale dei materiali da costruzione. La letteratura dimostra che la scelta dei materiali e delle tecnologie costruttive, oltre che dei processi che determinano la realizzazione, il mantenimento e la dismissione finale di un edificio, possono influire in maniera significativa sul suo impatto ambientale. Inoltre, le strutture rappresentano i componenti edilizi maggiormente impattanti, soprattutto in fase di produzione. Risulta perciò importante analizzare le strutture attraverso il loro ciclo di vita, al fine di ricercare un optimum fra prestazioni strutturali e ambientali. A tal proposito, il presente articolo descrive l'analisi LCA comparativa di tre strutture equivalenti, rispettivamente progettate con sistema NPS®, sviluppato dalla società Tecnostrutture, in calcestruzzo armato e in acciaio, per un edificio multipiano. L'obiettivo è quello di offrire informazioni utili alla conoscenza delle strutture sotto il profilo delle prestazioni ambientali. Lo studio è stato reso possibile grazie alla collaborazione tra Tecnostrutture e Università di Genova.

1. Strutture multipiano a confronto: il sistema NPS® e le strutture convenzionali

L'analisi LCA è rivolta a valutare e confrontare l'impatto ambientale, in termini di energia primaria ed emissioni di CO₂, di tre soluzioni strutturali alternative nell'intero ciclo di vita (from cradle to grave). In particolare, si è scelto di confrontare una struttura realizzata con sistema NPS®, sviluppato da Tecnostrutture, con due strutture convenzionali, funzionalmente equivalenti, rispettivamente in acciaio e cemento armato.

Tale analisi si basa su un caso studio esistente, che consiste in un edificio pluripiano a destinazione terziaria, situato nel Comune di Aigle (Svizzera), realizzato con sistema NPS®. Ai fini di sviluppare l'analisi LCA comparativa, altre due versioni, una in acciaio e una in calcestruzzo, sono state

progettate da un professionista esterno, incaricato nell'ambito della Convenzione di progettare due alternative che rispondessero ai seguenti requisiti:

- geometrie delle strutture identiche a quella della struttura reale;
- schemi statici simili a quelli della struttura reale, a meno di particolari esigenze legate alla natura costruttiva della soluzione in acciaio o in cemento armato (es: introduzione di controventi nella soluzione in acciaio) e nel rispetto del progetto architettonico (funzionalità degli spazi interni);
- prestazioni strutturali comparabili, in termini di tasso di lavoro degli elementi e deformabilità;
- resistenza al fuoco comparabile;
- vita nominale dell'edificio di 50 anni;
- classe di destinazione d'uso II.

L'unità funzionale dell'analisi LCA è rappresentata dalla struttura dell'edificio. Si esclude ogni componente non strutturale, quando non strettamente funzionale al soddisfacimento delle prestazioni sopra elencate. Ad esempio, si escludono gli elementi di tamponamento dell'edificio ma si includono, laddove necessari, gli elementi di protezione antincendio delle strutture. Inoltre, si includono tutti gli eventuali materiali ausiliari adoperati durante la messa in opera delle strutture (ad esempio, casseforme e puntelli).

L'analisi si è basata sulle norme tecniche EN ISO 14040:2006 e 14044:2006, che contengono principi e istruzioni generali condivisi per l'analisi LCA.

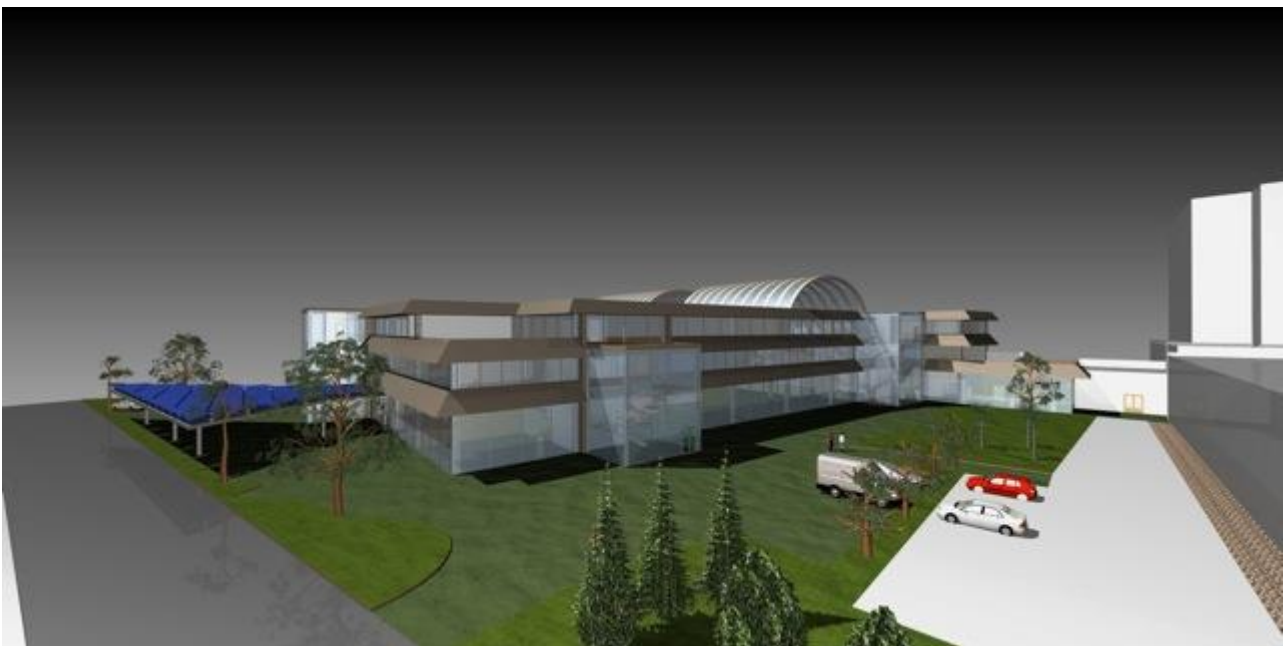


Figura 1. Render dell'edificio caso-studio considerato per l'analisi LCA.

2. Lo sviluppo dello studio LCA

L'analisi LCA include le fasi di produzione, trasporto, costruzione, manutenzione e fine vita delle tre strutture alternative, in accordo con quanto definito dalla norma ISO 15978:2011. Si esclude la fase d'uso dell'edificio in quanto esula dagli obiettivi dello studio.

L'analisi LCA ha preso in considerazione due categorie d'impatto fra quelle oggi maggiormente indagate: il consumo di energia primaria, che include tutta la catena energetica, dalla fase di

estrazione della fonte al suo utilizzo finale, e le emissioni di CO₂ equivalente, derivanti dai processi energetici e da quelli produttivi del calcestruzzo.

La metodologia LCA concepisce l'oggetto di analisi come un sistema che, nel corso del suo ciclo di vita, viene attraversato da flussi di materia ed energia in entrata (input) e flussi di emissioni e rifiuti in uscita (output). A partire dalla quantificazione degli input e degli output è possibile determinare gli impatti ambientali, in tal caso espressi appunto secondo energia primaria ed emissioni di CO₂.

Durante la fase di inventario, la quantificazione dei materiali da costruzione necessari alla realizzazione delle tre strutture si è basata sugli elaborati di progetto. A partire dalle quantità dei materiali, è stato possibile valutare le risorse in gioco, e quindi il consumo energetico e le emissioni inquinanti. Nella fase di produzione, l'analisi ha fatto ricorso alla banca dati Ecoinvent, che fornisce dati medi del contesto europeo di produzione, in termini di energia cumulativa e impronta di carbonio dei materiali costruttivi. La fase di trasporto ha considerato gli spostamenti dei materiali costruttivi dal sito di produzione a quello di cantiere. A partire dalle informazioni di trasporto fornite da Tecnostrutture per il sistema NPS[®], è stato possibile ricavare valori specifici di impatto dei diversi materiali, che sono stati poi applicati anche ai due sistemi convenzionali in calcestruzzo armato e acciaio. A tal fine è stata indispensabile la tracciabilità dei prodotti impiegati dall'azienda. La fase di costruzione ha considerato sia le attività di prefabbricazione *off-site* finalizzate alla prefabbricazione di elementi strutturali, sia le attività *on-site* finalizzate alla messa in opera delle tre strutture. In tal caso, sono stati impiegati dati primari per la struttura NPS[®] di Tecnostrutture e dati secondari e di letteratura per le strutture convenzionali in acciaio e calcestruzzo armato.

Nella fase di manutenzione, si assume che le tre strutture non richiedano interventi significativi nell'arco della loro vita di servizio (50 anni). Tuttavia è stata considerata la manutenzione degli elementi di finitura e protezione, necessari ad assolvere le funzioni già presentate nel precedente paragrafo. In tal caso, per definire la durabilità e quindi i cicli di produzione medi richiesti dai diversi materiali edilizi, è stato fatto riferimento a dati di letteratura.

La fase di fine vita ha considerato tutte quelle attività legate alla dismissione dei rifiuti da costruzione e da demolizione prodotti nel corso del ciclo di vita dell'edificio di riferimento, in particolare: le attività di demolizione in situ, il trasporto dei rifiuti ai centri di smaltimento o riciclaggio e le operazioni necessarie per dismettere o recuperare i rifiuti. Tali attività si ripetono durante le fasi di costruzione, manutenzione e fine vita. La fase di fine vita ha incluso anche gli eventuali benefici derivanti dal recupero dei rifiuti da costruzione e demolizione, in termini di consumo di energia primaria ed emissioni di CO₂ evitate. A tal proposito, è stato ipotizzato uno scenario di massimizzazione del recupero dei rifiuti da costruzione e da demolizione dell'edificio. Naturalmente, lo scenario rappresenta solo una delle future possibilità di gestione dei rifiuti.

3. Risultati finali e conclusioni

Dall'analisi dei risultati ottenuti emerge come la struttura realizzata con sistema NPS sia quella complessivamente a minor impatto ambientale sia in termini di consumo di energia primaria che in termini di emissioni di CO₂ (Figura 2). Tale risultato è attribuibile a diversi aspetti.

In generale, si può osservare come le fasi della vita più significative ai fini degli impatti ambientali delle tre strutture considerate siano quella di produzione dei materiali e quella di fine vita.

Per quanto riguarda la fase di produzione, si osserva che essa è strettamente connessa alla quantità in massa dei materiali impiegati e ai valori unitari di energia primaria e di emissioni di CO₂ ad essi associati. Considerando che tali valori unitari dell'acciaio sono molto superiori a quelli del calcestruzzo, con un rapporto pari a circa 37:1 per l'energia primaria e pari a 18:1 per le emissioni di CO₂, la quantità in massa di questo materiale risulta in assoluto l'aspetto più rilevante. Per questo

motivo la struttura in acciaio, pur impiegando una massa molto minore di materiali, ha gli impatti più significativi.

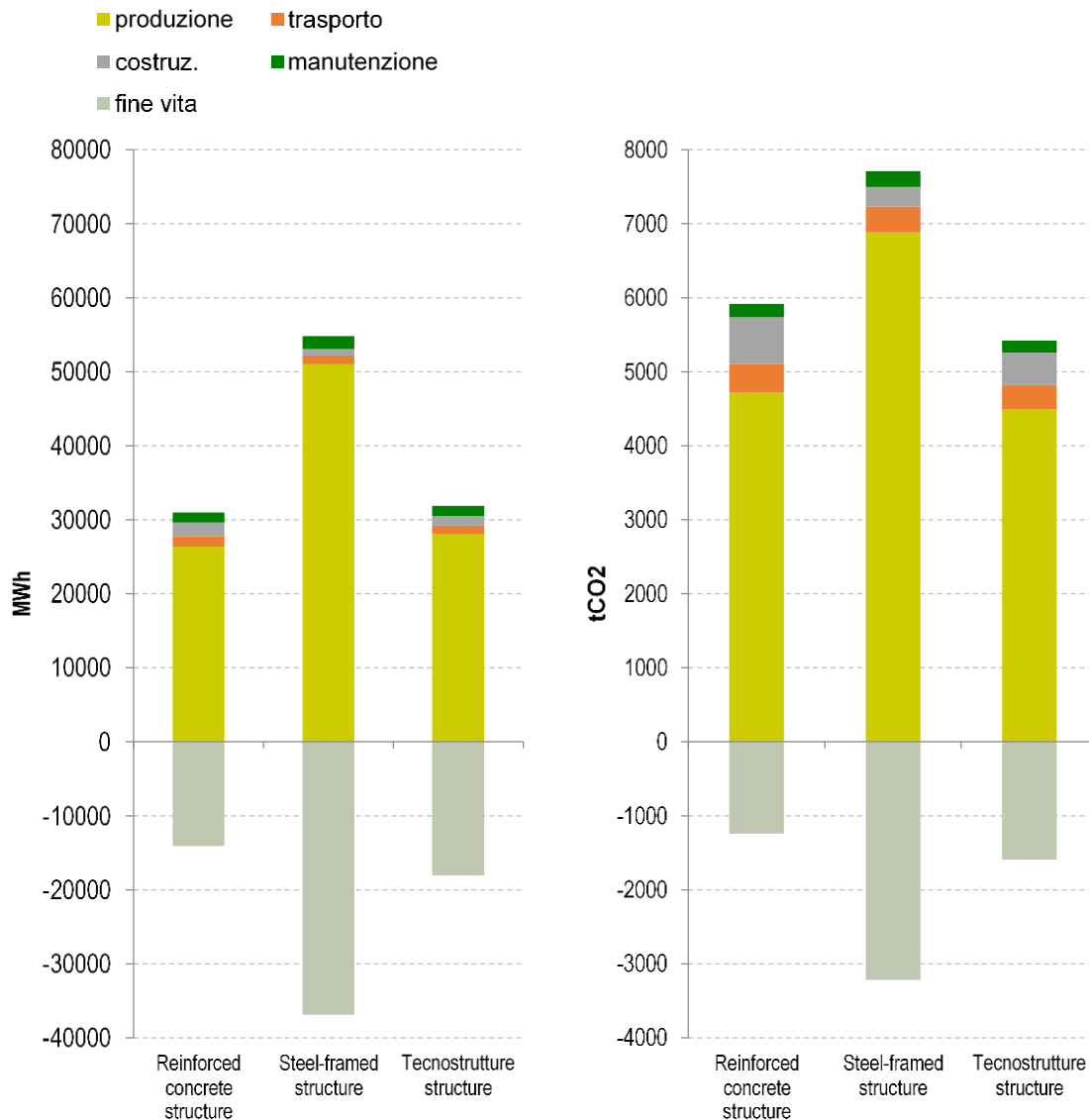


Figura 2. Energia primaria consumata (MWh) ed emissioni di CO₂ totali (tonCO₂) per le tre strutture a confronto, per ciascuna fase del ciclo di vita (vedi legenda).

La struttura in calcestruzzo tradizionale e la struttura realizzata con il sistema NPS® hanno impatti legati alla fase di produzione molto simili. Analizzando la Tabella 1, si osserva che il sistema NPS® impiega una maggiore quantità di acciaio ma una minore quantità di calcestruzzo rispetto a quella tradizionale. Si osserva anche che il minor impiego di calcestruzzo del sistema NPS® è legato essenzialmente a due fattori: al sistema a telaio a nodi rigidi, che pur comportando un maggiore uso di acciaio e calcestruzzo per le travi e i pilastri consente di non avere setti di irrigidimento, e all'ottimizzazione dei solai.

La possibilità offerta dal sistema NPS® di realizzare, a parità di impatti ambientali, una struttura a nodi rigidi priva di setti di irrigidimento (come nella struttura tradizionale in calcestruzzo) o elementi di controvento (come nella struttura tradizionale in acciaio) anche in presenza di carichi sismici significativi, ha una rilevanza notevole. Oltre agli evidenti vantaggi architettonici, infatti, a questa soluzione strutturale sono implicitamente associati ulteriori vantaggi ambientali, che, sebbene non siano stati considerati in questa analisi, possono risultare determinanti in futuro. È ormai

ricosciuto, infatti, che la progettazione di spazi architettonici più liberamente fruibili e modificabili diminuisce gli interventi di ristrutturazione e aumenta la durata della vita, riducendo pertanto gli impatti della costruzione nel tempo.

	Columns	Beams	Walls/ Cross bracing	Floors	Total
<i>Tecnostrutture structure</i>					
Concrete	620	3722	0	4939	9282
Steel	160	476	0	162	798
<i>Steel-framed structure</i>					
Concrete	8	0	0	3685	3693
Steel	168	1085	58	260	1571
<i>Reinforced concrete structure</i>					
Concrete	498	2263	1879	7237	11877
Steel	42	245	200	145	632

Tabella 1. Quantità totali di calcestruzzo e acciaio impiegate per le tre strutture (in tonnellate).

Per quanto riguarda la fase di fine vita, si osserva come anche in questa fase gli impatti della struttura realizzata con sistema NPS® sono comparabili, anche se leggermente inferiori, a quelli della struttura in calcestruzzo tradizionale. Questo risultato deriva nuovamente dalle minori quantità di calcestruzzo e dalle maggiori quantità di acciaio impiegate nella struttura NPS®, che comportano minori costi di demolizione/trasporto e maggiori tassi di recupero dei materiali. In questo caso, è la struttura in acciaio a risultare vincente (anche se gli impatti della fase di produzione risultano comunque prevalenti).

Si ritiene che questa sia la fase di vita in cui maggiori siano i margini di miglioramento del sistema NPS®. Innovazioni nel progetto della struttura finalizzate al miglioramento delle operazioni di demolizione (con opzioni anche di tipo non distruttivo) e alla massimizzazione dei rifiuti recuperati in fase di fine vita, potrebbero risultare fondamentali ai fini del raggiungimento di prestazioni ambientali effettivamente competitive rispetto ad analoghe strutture in acciaio e calcestruzzo armato. Si sottolinea che, sulla base dei risultati ottenuti e alla luce dello sviluppo tecnologico registrato nell'ambito della gestione dei rifiuti a livello europeo, sembra opportuno dare la precedenza al riciclo dei rottami di acciaio, anziché alle macerie da calcestruzzo, dal quale è possibile trarre i maggiori benefici in termini di energia primaria risparmiata ed emissioni di CO₂ evitate. Alla luce dello stato dell'arte, il riciclo del calcestruzzo non pare ancora sufficientemente conveniente, per via di tecnologie non ancora mature e processi di lavorazione, come ad esempio quello per ottenere aggregati riciclati per sottofondi stradali, ancora troppo impattanti in termini ambientali.

Sebbene molto meno significative in termini assoluti, le fasi di costruzione, trasporto e manutenzione mostrano differenze significative tra le tre soluzioni.

Nella fase di trasporto, il sistema NPS® risulta vincente sia rispetto alla soluzione in calcestruzzo che alla soluzione in acciaio tradizionale. Tale risultato deriva nuovamente dal buon bilanciamento tra la quantità di acciaio e di calcestruzzo impiegati e i valori unitari di energia primaria e CO₂ associati al loro trasporto. Benché gli impatti registrati in questa fase siano generalmente poco rilevanti ai fini della prestazione finale, si sottolinea tuttavia che una più attenta scelta dei fornitori e produttori in funzione della loro localizzazione geografica e della vicinanza all'azienda e al cantiere potrebbe ulteriormente abbassare i valori di energia primaria consumata e le emissioni di CO₂ del sistema NPS®.

Nella fase di costruzione, la struttura NPS® presenta un risultato complessivamente meno vantaggioso della struttura in acciaio (per via delle operazioni legate all'impiego più rilevante di calcestruzzo e delle relative attrezzature, più impattanti), ma decisamente più vantaggioso di quella

in calcestruzzo armato tradizionale (grazie alla minore quantità calcestruzzo, e in particolare alla minore quantità di calcestruzzo gettato in opera, e all'utilizzo di casseri a perdere). Dai risultati ottenuti per questa fase, si nota che la massimizzazione dell'uso di attrezzature alimentate ad energia elettrica, anziché a gasolio, può contribuire ad una riduzione degli impatti delle attività on-site.

Un aspetto della fase di costruzione non direttamente preso in considerazione nell'analisi, ma molto rilevante in termini di prestazioni complessive, è quello legato ai tempi di realizzazione dell'opera. La struttura NPS®, grazie al suo sistema costruttivo e al largo impiego di elementi industrializzati, garantisce tempi di realizzazione dell'opera molto competitivi (Figura 3), addirittura più competitivi del sistema in acciaio tradizionale. Questo aspetto, oltre ad evidenti vantaggi economici, ha anche vantaggi sociali e ambientali legati alla riduzione dei tempi di cantiere nell'area di costruzione.

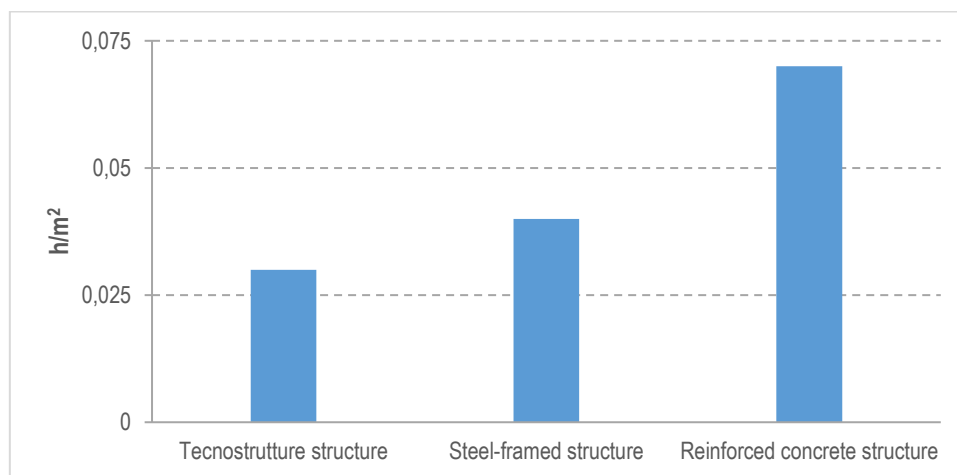


Figura 3. Valori unitari dei tempi di realizzazione necessari per le tre strutture (in ore al metro quadrato).

4. Bibliografia

- EN ISO 14040:2006. *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*. July 2006.
- EN ISO 14044:2006. *Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines*. July 2006.
- EN 15978 (2011). *Sustainability of construction works—assessment of environmental performance of buildings—calculation method*. European Committee for Standardization.