

LCA comparativa di strutture monopiano a partire da un caso studio con NPS® SYSTEM

Chiara Calderini (chiara.calderini@unige.it)

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

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

Dipartimento Architettura e Design, 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 primo caso studio esemplificativo, analizzato nell'ambito di una collaborazione tra Tecnostrutture e Università di Genova.

ABSTRACT

In Europa il settore edilizio incide in maniera significativa sugli impatti ambientali. Ciò è dovuto non soltanto alla fase di esercizio degli edifici, ma anche alla produzione di materiali edilizi e allo smaltimento dei rifiuti da costruzione e demolizione. Per questo motivo appare importante una valutazione ambientale degli edifici che consideri l'intero ciclo di vita. Tra i diversi componenti edilizi, le strutture sono responsabili dei maggiori consumi energetici ed emissioni inquinanti, soprattutto in fase di produzione. Dunque, indagare con maggiore attenzione la relazione esistente tra prestazioni strutturali e ambientali può suggerire nuove strategie progettuali e un più efficiente uso dei materiali. A tal proposito, si mostra come l'analisi LCA possa offrire informazioni utili alla conoscenza delle strutture sotto il profilo delle prestazioni ambientali, presentando un primo caso studio esemplificativo, analizzato nell'ambito di una collaborazione tra Tecnostrutture e Università di Genova.

1. LCA in ambito edilizio: il ruolo delle strutture

Il settore edilizio rappresenta uno dei settori economici a maggior impatto ambientale in Europa. Si stima che la sola fase di esercizio degli edifici contribuisca a circa il 40% del consumo totale di energia e a circa il 36% di emissioni di CO₂ (European Parliament and Council of the European Union, 2010). Inoltre, ulteriori impatti derivano dalle attività di produzione, messa in opera e smaltimento dei materiali edilizi. A tal proposito, "gli edifici e l'ambiente costruito utilizzano la metà dei materiali estratti dalla crosta terrestre e producono ogni anno 450 milioni di tonnellate di rifiuti da costruzione e da demolizione, ossia più di un quarto di tutti i rifiuti prodotti" (COM/2004/0060 def).

I dati dimostrano come sia sempre più importante una concezione sistemica dell'organismo edilizio, che metta in relazione le prestazioni tecniche con quelle ambientali, tenendo in considerazione l'intero ciclo di vita, dalla fase di produzione a quella di dismissione.

Le strutture rappresentano uno dei sottosistemi più importanti degli edifici, essendo responsabili dei maggiori impatti ambientali, soprattutto in fase di produzione (Takano et al., 2015).

La prestazione ambientale delle strutture può dipendere da diversi fattori, che influiscono sul consumo energetico e sulle emissioni inquinanti complessive, ad esempio:

- la produzione dei materiali strutturali, dove l'ottimizzazione dei processi (riduzione dei costi energetici di produzione dell'acciaio e del calcestruzzo, riciclo di materie prime, riduzione degli sfridi e degli scarti di lavorazione, ecc.) possono favorire la sostenibilità della struttura;
- la disponibilità dei materiali strutturali, in funzione del contesto economico-produttivo e territoriale che caratterizza la realizzazione di una costruzione, che può influire sugli impatti derivanti dal trasporto;
- l'efficienza delle strutture, espressa in termini di rapporto peso specifico/prestazione, che riduce la quantità e il peso dei materiali impiegati e quindi diminuisce gli impatti derivanti dai processi produttivi e dall'impiego dell'attrezzatura di cantiere nella fase di costruzione;
- la durabilità delle strutture, strettamente dipendente dalla cura progettuale, che consiste nella selezione di materiali e trattamenti durevoli nel tempo, nella prevenzione dei difetti prestazionali e

dei malfunzionamenti (incluso il collasso strutturale), che possono portare alla determinazione di ingenti danni, e infine nell'efficacia delle soluzioni di manutenzione previste;

- la smontabilità delle strutture, che può consentire una migliore gestione delle operazioni di demolizione e può garantire maggiori percentuali di recupero dei rifiuti attraverso il riciclo delle materie prime oppure attraverso il riutilizzo degli elementi strutturali per la realizzazione di nuove costruzioni, così riducendo o evitando nuovi costi ambientali.

In generale, a monte della realizzazione dell'opera, la progettazione può giocare un ruolo importante nell'uso efficiente di materiali strutturali e non, nella riduzione degli imprevisti in fase di cantiere e nel mantenimento nel tempo delle prestazioni tecniche richieste.

Una maggiore comprensione degli impatti ambientali delle costruzioni nelle fasi di produzione, costruzione, manutenzione e fine vita può, dunque, aiutare i progettisti e le imprese ad indirizzare efficacemente i loro sforzi verso l'implementazione dei prodotti e dei processi.

L'obiettivo generale potrebbe essere una riduzione dei consumi energetici e delle emissioni inquinanti delle strutture e di altre componenti edilizi nella stessa misura di quella perseguita nel caso della fase d'esercizio degli edifici.

Lo strumento di Life Cycle Assessment può andare in due direzioni: la prima è quella di investigare l'impatto ambientale del ciclo di vita di sistemi costruttivi e strutture già esistenti; la seconda può essere quella di accompagnare la progettazione strutturale, la cui pratica corrente sembra non essere ancora in grado di includere gli aspetti di sostenibilità ambientale in maniera integrata. In quest'ultimo caso, la Life Cycle Assessment potrebbe assumere il ruolo di vero e proprio "strumento progettuale", dando luogo ad una progettazione strutturale sostenibile (*sustainable structural design*).

Lo studio condotto in collaborazione tra l'unità di ricerca dell'Università degli Studi di Genova e la società Tecnostrutture si pone l'obiettivo di confrontare tre soluzioni strutturali alternative, acciaio, calcestruzzo armato e sistema NPS®, in termini di energia primaria ed emissioni di CO₂ equivalente.

2. Il sistema NPS® e le strutture alternative a confronto

L'analisi LCA comparativa è stata sviluppata su un caso studio esistente: la struttura dell'edificio monopiano che ospita il Municipio di San Felice sul Panaro. La versione reale di questa struttura è stata realizzata da Tecnostrutture con il sistema NPS® misto in acciaio e calcestruzzo. 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.

Tutte le strutture sono state progettate coerentemente con la prassi progettuale attuale (NTC2008), assumendo una vita nominale di 50 anni e, essendo edificio pubblico, una classe d'uso IV.

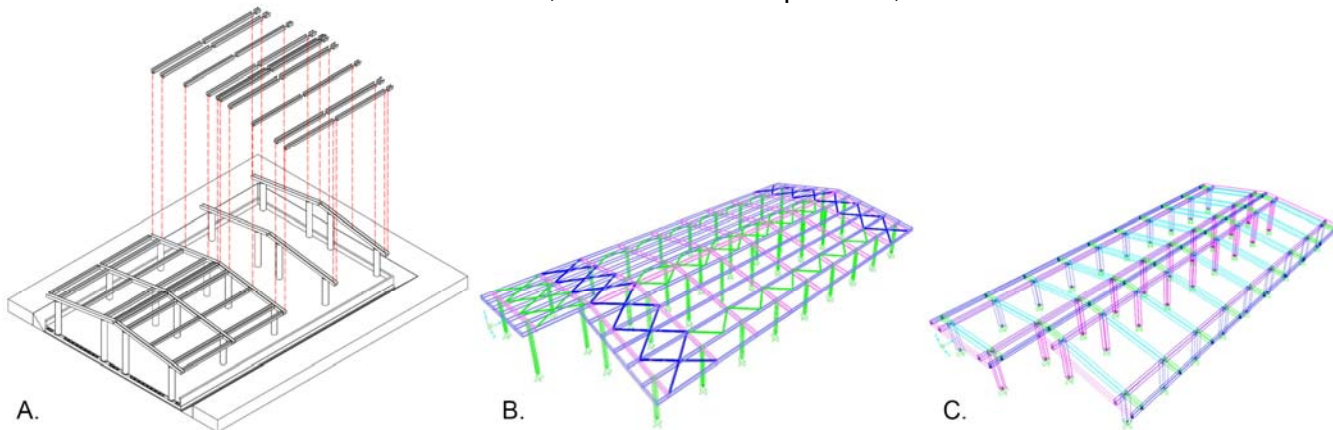


Figura 1. Le tre strutture a confronto: A. sistema NPS®; B. struttura convenzionale in acciaio; C. struttura convenzionale in calcestruzzo armato.

3. Lo sviluppo dello studio LCA

L'obiettivo dell'analisi LCA condotta sulle tre soluzioni strutturali è stato quello di valutare le loro performance ambientali sull'intero ciclo di vita. In questo modo è stato possibile comprendere quali possano essere i vantaggi nell'utilizzo di diversi materiali strutturali e come i processi di messa in opera, la reperibilità dei materiali, le esigenze di manutenzione e lo smaltimento dei rifiuti da costruzione e demolizione possano influire sulle performance ambientali complessive.

L'analisi ha preso in considerazione due categorie d'impatto fra quelle oggi maggiormente indagate: il consumo di energia primaria e le emissioni di CO₂ equivalente. La prima categoria esprime la quantità di energia complessivamente consumata nel corso del ciclo di vita, includendo tutta la catena energetica, a partire dalla fase di estrazione della fonte. La seconda categoria esprime l'impatto delle emissioni gassose in atmosfera prendendo a riferimento la quantità equivalente di emissioni di anidride carbonica, che rappresenta uno dei maggiori responsabili dell'effetto serra e quindi dei cambiamenti climatici.

La vita utile delle strutture analizzate è stata fissata a 50 anni. Questa scelta ha due motivazioni: il valore di vita utile è coerente con la vita nominale assunta per il calcolo strutturale; il valore di 50 anni è coerente con molti studi LCA già esistenti condotti su strutture. Sono state considerate tutte le fasi del ciclo di vita, con la sola esclusione della fase d'uso in quanto non rilevante ai fini dello studio.

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

La metodologia adottata 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.

La fase di inventario è quindi servita ad identificare e quantificare le risorse richieste e i relativi "scarti" inquinanti derivanti dalle tre strutture a confronto. Per quanto concerne la fase di produzione, l'analisi ha fatto ricorso alla banca dati Ecoinvent, che fornisce dati medi di produzione dei materiali costruttivi (incluso il reperimento delle materie prime). Per quanto concerne le fasi di costruzione e trasporto dei prodotti finiti, sono stati utilizzati i dati primari forniti da Tecnostrutture per il sistema NPS®, successivamente confrontati con dati secondari e di letteratura per i due sistemi convenzionali in calcestruzzo armato e acciaio. Analogamente, per la fase di manutenzione sono stati adottati dati di letteratura relativi alla durabilità e ai cicli di produzione medi richiesti dai diversi materiali edilizi (in particolare, dalle finiture). Infine, per la fase di fine vita si sono considerate 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. In tal caso, le assunzioni fatte in merito all'efficienza del recupero dei rifiuti e alla percentuale di riciclo dei materiali si sono basate su due scenari differenziati, al 2013 per i rifiuti da costruzione e al 2063 per quelli da demolizione. Il riuso degli elementi strutturali è stato escluso, data la difficoltà di prevederne le condizioni di integrità e riutilizzo alla fine del ciclo. Naturalmente, lo scenario di fine vita dell'edificio, così come è stato prefigurato, rappresenta solo una delle future (non certe) possibilità di gestione dei rifiuti. In tal senso, la definizione degli scenari rappresenta una fase cruciale, ancor più se si pensa che la fase di fine vita può essere particolarmente influente sulla performance ambientale di una struttura.

4. Alcune considerazioni finali

Dallo studio LCA comparativo tra il sistema strutturale NPS® e le strutture convenzionali alternative in acciaio e calcestruzzo armato, sono emerse le seguenti principali osservazioni:

- nella fase di produzione, i risultati sono fortemente influenzati dalla massa dei materiali prevalenti che costituiscono la struttura e dall'energia primaria specifica ad essi associata; per questo motivo, la struttura convenzionale in calcestruzzo armato rappresenta il sistema più impattante;
- nella fase di trasporto, si nota una maggiore incidenza degli elementi in acciaio, strettamente legata alla struttura della filiera di riferimento e, in alcuni casi, alla provenienza dei materiali; a tal proposito, benché gli impatti registrati in questa fase siano poco rilevanti ai fini della prestazione finale, una più attenta scelta dei fornitori e produttori in funzione della loro localizzazione geografica e della vicinanza all'azienda e al cantiere potrebbe risultare ambientalmente favorevole;
- nella fase di costruzione, le prestazioni del sistema NPS® risultano vantaggiose grazie ai ridotti tempi di realizzazione in cantiere, inferiori a quelli della struttura in calcestruzzo armato, oltre che grazie all'utilizzo di casseri a perdere;

- nella fase di manutenzione, considerando i soli interventi ordinari, non si riscontrano particolari criticità che possano compromettere il bilancio ambientale, tuttavia dovrebbe sempre essere considerata la durabilità dei materiali adottati;
- la fase di fine vita, massimizzando la percentuale di rifiuti recuperati, risulta fondamentale ai fini delle prestazioni ambientali finali, specie nel caso del sistema misto NPS®.

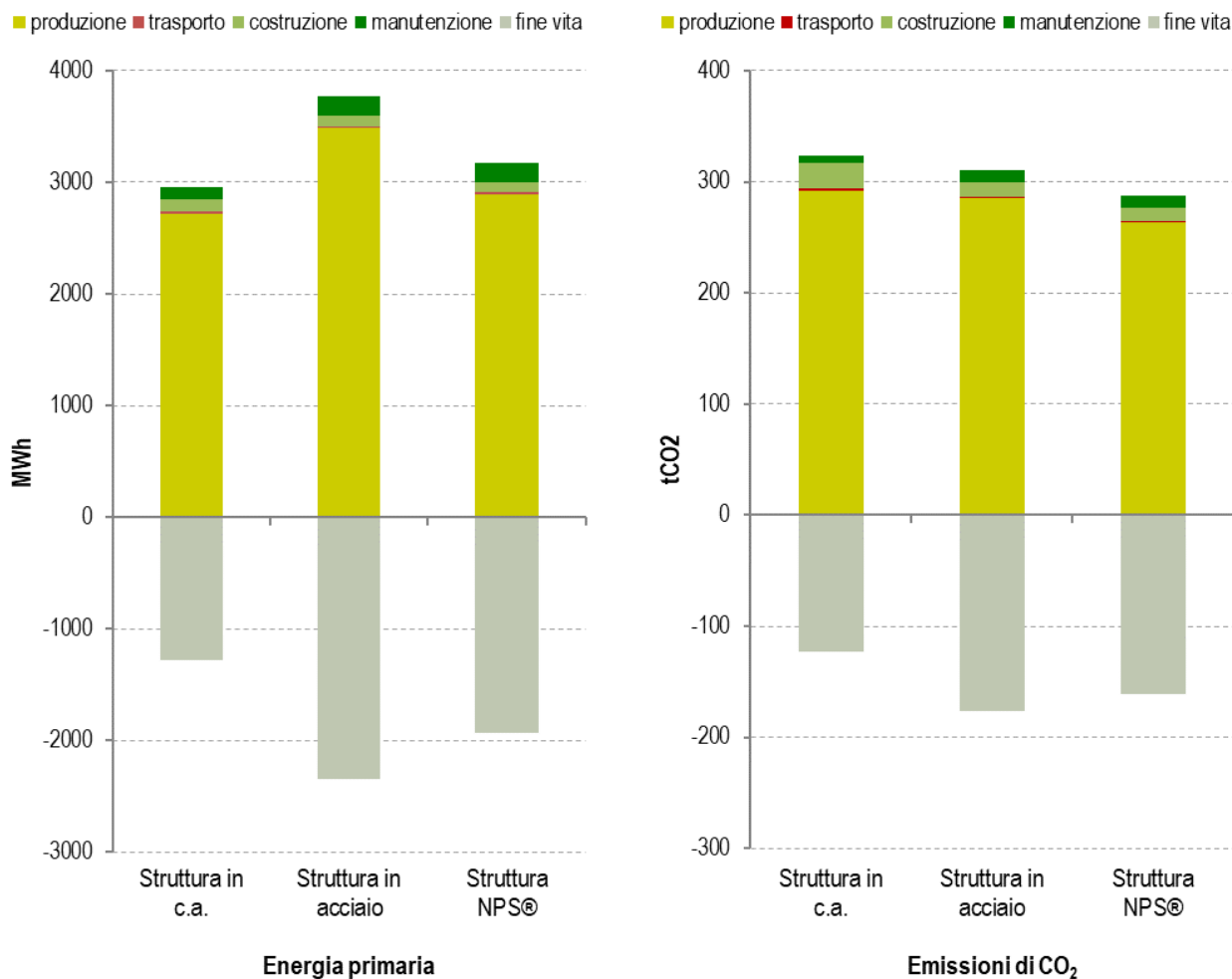


Figura 2. Energia primaria consumata ed emissioni di CO₂ per le tre strutture a confronto, per ciascuna fase del ciclo di vita (vedi legenda).

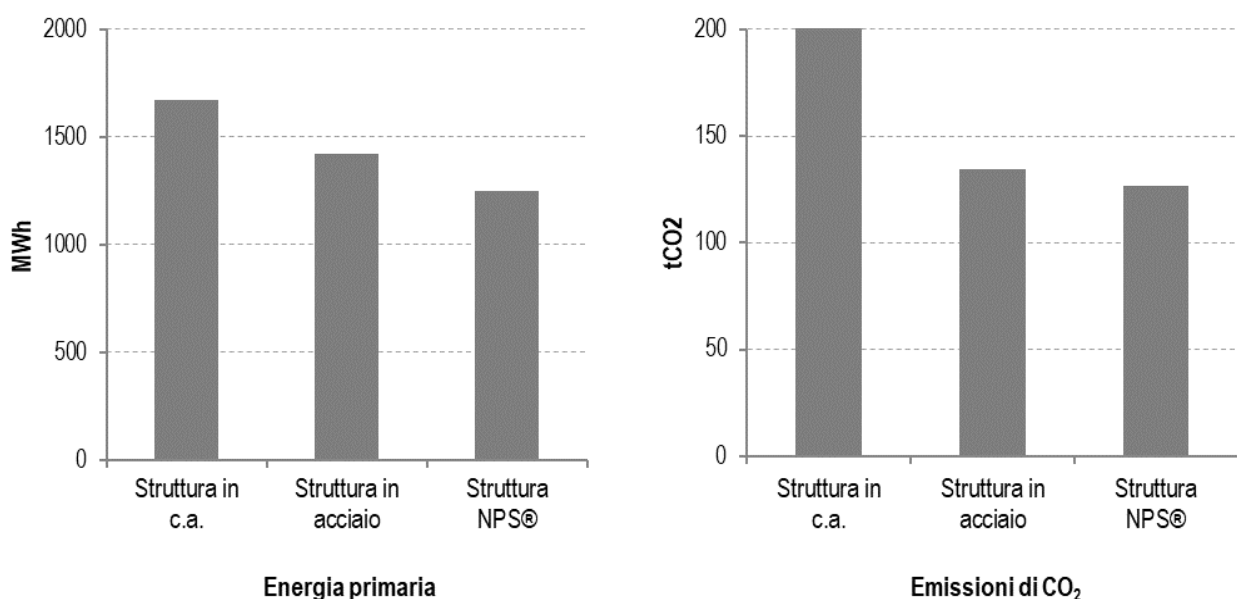


Figura 3. Energia primaria consumata ed emissioni di CO₂ totali per le tre strutture a confronto.

Si precisa che la considerazione degli impatti ambientali delle strutture sul lungo periodo dipende fortemente dalle ipotesi previsionali fatte circa la manutenzione nel tempo e la gestione a fine vita. In questo studio, per la fase di manutenzione è stato definito un piano ipotetico di rinnovamento e sostituzione dei materiali degradabili nel tempo, basato sulla destinazione d'uso dell'edificio e sulle probabili condizioni di esposizione delle sue parti (in tal caso, su un arco di 50 anni, sono state considerate le sole finiture superficiali). Invece, per la fase di fine vita, è stato definito uno scenario possibile circa la frazione di rifiuto da demolizione recuperato e la possibile destinazione del materiale di scarto (in alternativa, discarica, riciclo o riuso a scopi energetici). Tale scenario è stato valutato sulla base degli obiettivi europei di recupero del rifiuto da costruzione e demolizione (almeno il 70% in peso entro il 2020, secondo la direttiva 2008/98/EC) e delle migliori tecniche attualmente disponibili (Best Available Techniques).

L'analisi completa può dunque suggerire possibili azioni di ottimizzazione dei sistemi strutturali in funzione di una riduzione del consumo di energia primaria e delle emissioni di CO₂ sul ciclo di vita, oltre che sviluppare alcune considerazioni circa le prestazioni strutturali richieste in zona sismica.

5. Bibliografia

- Adalberth K., Almgren A., Petersen Holleris E. (2001). Energy Use in Four Multi-Family Buildings During their Life Cycle. *International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings*, 2: 1-21.
- Chastas, P., Theodosiou, T., Bikas, D. (2016). Embodied energy in residential buildings-towards the nearly zero energy building: A literature review, *Building and Environment*, 105, 267-282.
- Dodoo, A., Gustavsson, L., Sathre, R. (2009). Carbon implications of end-of-life management of building materials. *Resources, Conservation and Recycling*, 53, 276–286.
- Directive 2010/31/EU, Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (Recast), Official Journal of the European Union, L 153, 18/06/2010.
- Ecoinvent v.2.2 (2010), Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Switzerland
- European Parliament, Council of the European Union, 2010. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. 2010/31/EU, May 19.
- Sartori I. and Hestnes A.G. (2007). Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: a review article. *Energy and Buildings*, 39 (3): 249–57.
- Takano A., Kumar Pal S., Kuittinen M., Alanne K., Hughes M., Winter S. (2015). The effect of material selection on life cycle energy balance: A case study on a hypothetical building model in Finland. *Building and Environment*, 89: 192-202.