

---

# STRUMENTI PER LA ECO-PROGETTAZIONE

---

**Massimo Marino, Stefano Rossi**

Life Cycle Engineering – Studio Ingegneri Associati  
Via Livorno, 60 – 10144 Torino

## Riassunto

La disponibilità di strumenti di calcolo sempre più potenti e la necessità di riferirsi sempre più spesso al concetto di sviluppo sostenibile, possono essere integrate in una progettazione avanzata in grado di ottimizzare la scelta delle soluzioni impiegate, oltre che in termini prestazionali ed economici anche in termini di fabbisogno energetico e di impatto ambientale. In questa memoria si vuole mostrare un esempio di integrazione tra l'approccio tipico del progettista e quello dell'analista energetico-ambientale mediante l'utilizzo di metodiche e software specifici.

## Premessa

Nel settore della progettazione è da rilevare una sempre maggiore spinta verso l'integrazione tra aspetti puramente prestazionali ed economici, tradizionalmente studiati ed approfonditi per la ricerca della migliore soluzione economicamente sostenibile, ed aspetti legati alla variabile “ambiente” che permettono di porsi in una posizione privilegiata nel contesto dello sviluppo sostenibile in generale, e della ricerca della soluzione eco-compatibile in particolare.

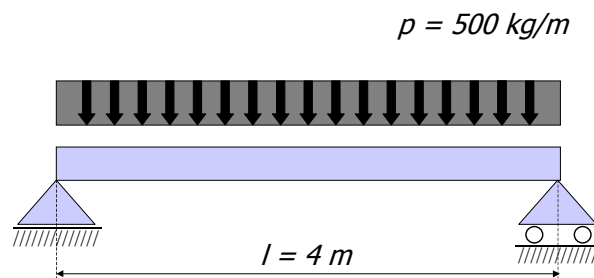
Senza entrare eccessivamente nel dettaglio, per il quale si rimanda alla letteratura riportata in bibliografia, si può osservare come in quest'ottica un approccio corretto può essere quello del *Life Cycle Thinking*, caratterizzato dal prendere in esame tutte le fasi del ciclo di vita di un processo/prodotto, in un'ottica “dalla culla alla tomba” e di integrare questa visione nelle fasi di progettazione.

Si può quindi pensare di valorizzare la progettazione intesa in senso classico con uno strumento che valuti le soluzioni anche in termini di impatto ambientale attraverso la metodologia dell'*Analisi del Ciclo di Vita (LCA)*, arrivando a strutturare un approccio di eco-progettazione, definita a livello internazionale con *Life Cycle Design*, e cioè una progettazione di ampio spettro che consideri parametri tra loro differenti e complementari.

Per meglio esemplificare quanto detto, si propone qui di seguito un caso studio sviluppato passo passo dalla definizione dei prerequisiti all'ottenimento dei risultati, suddividendolo in una fase di progettazione classica ma innovativa per gli strumenti impiegati, ed una fase di progettazione ambientale di ciclo di vita.

## Progettazione strutturale

L'esempio è relativo alla progettazione di una trave avente una lunghezza di 4 metri e sulla quale si intenda posizionare un carico distribuito di 500 kg/m. In Figura 1 è mostrato uno schema della situazione considerata. Non si è in questa sede ritenuto di considerare l'effetto del taglio.

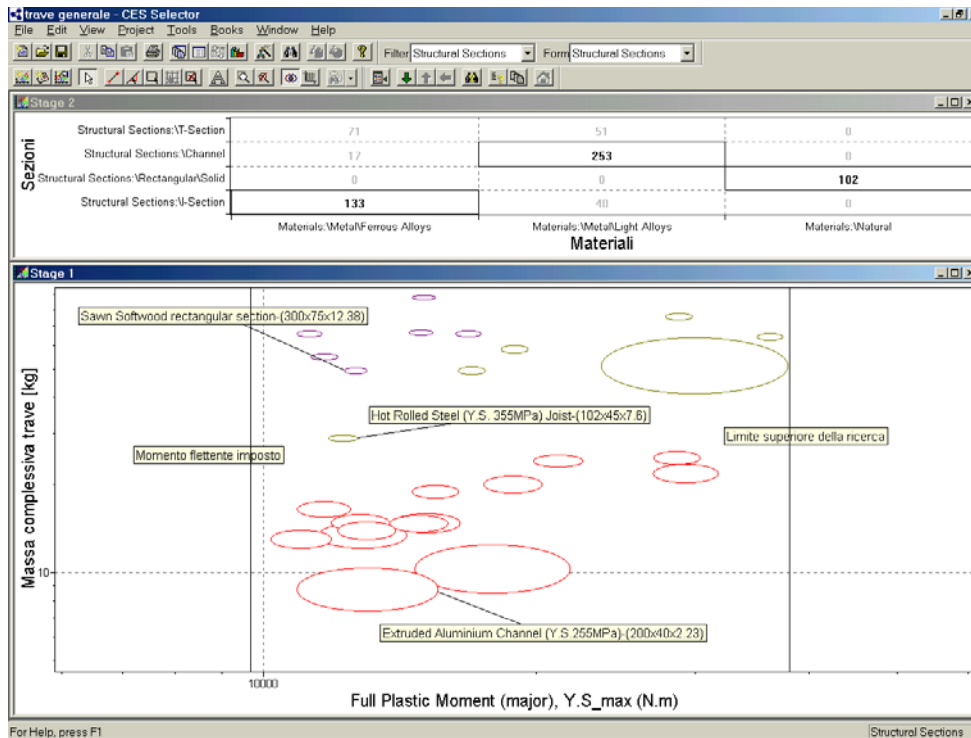


**Figura 1.** La trave ipostatica ha una lunghezza di 4 m e sopporta un carico di 500 kg/m.

L'obiettivo è quello di individuare la trave che risponda ai requisiti funzionali, ma in modo da minimizzarne la massa (per semplicità di esposizione si tralascia volontariamente l'impiego di alcun coefficiente di sicurezza). In parallelo a questi obiettivi principali, si possono definire dei vincoli legati alla *natura del materiale* (legno, acciaio o lega d'alluminio) ed alla *geometria* (sezione) della trave.

Al fine di definire quali fossero gli elementi strutturali più adatti a soddisfare le condizioni imposte, si è fatto riferimento ad un software in grado di ottimizzare la scelta dei materiali in funzione delle specifiche esigenze. Il *Cambridge Engineering Selector 3.2* di *Granta Design Limited* permette di individuare quali siano i materiali e le strutture che soddisfano i vincoli imposti. In questo caso, si tratta di cercare quali siano le travi con la minore massa, in grado di supportare il momento flettente esercitato dal carico. Per limitare il numero di variabili e quindi facilitare la comprensione del modello, si è effettuato a priori l'abbinamento tra tipologia di materiale e forma della sezione della trave eliminando quindi questo grado di libertà. Si sottolinea come fosse inoltre possibile includere nelle variabili considerate anche il costo per unità di massa ma, dato il carattere esemplificativo si è preferito limitare il campo d'azione, tralasciandolo.

La Figura 2 riporta la schermata del modello che ripropone i vincoli funzionali imposti per raggiungere l'obiettivo.



**Figura 2.** Cambridge Engineering Selector – Granta Design Ltd.; procedura di scelta degli elementi strutturali.

Nella parte superiore è possibile riconoscere la matrice utilizzata per individuare le travi: si riconoscono le categorie materiale-sezione studiate (caselle in nero) e gli abbinamenti trascurati (in grigio). Il grafico della parte inferiore riporta sulle ascisse il momento flettente mentre sulle ordinate la massa delle travi. Le due linee verticali rappresentano i confini in cui è stata effettuata la ricerca: il limite a sinistra corrisponde al momento imposto, mentre il limite destro è stato fissato per limitare il numero di risultati. Ai diversi colori rappresentati sono associate le categorie mentre ciascuna nuvola rappresenta una singola trave.

Soddisfatte le condizioni sul momento imposto, il criterio di scelta delle tre travi nelle rispettive categorie, è stato quello di considerare quale trave presentasse la minore massa: si noti che le travi prese in considerazione sono, per ciascun colore, rappresentate dalla “nuvola” più in basso. Una ulteriore ipotesi adottata è quella che le travi vengano caricate secondo il momento d’inerzia maggiore.

## Le travi prese in esame

Come detto, uno degli obiettivi riguarda la minimizzazione della massa della trave da impiegare: per queste ragioni tra le diverse ipotesi di trave segnalate dal software si sono individuate sempre quelle con massa minore. Fatta la scelta della trave, il software è in grado di fornire per l’elemento scelto una serie di informazioni relative alle proprie caratteristiche.

A titolo di esempio, in Figura 3 si riporta parte della schermata che fornisce le informazioni principali, mentre in Tabella 2 si riportano le grandezze caratteristiche di tutte le travi analizzate.

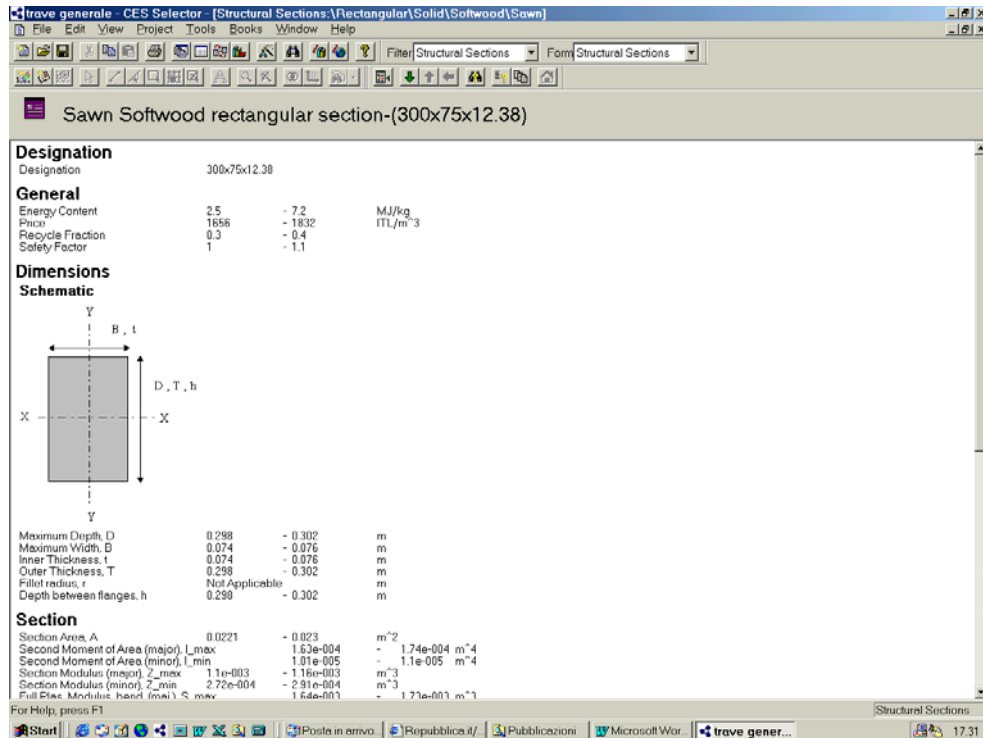


Figura 3. Trave in legno, sintesi dei risultati ottenuti.

Tabella 2 - Caratteristiche principali delle travi.

| Denominazione                             | Trave in legno massiccio, sezione rettangolare (300x75x12,38) | Trave in acciaio laminato a caldo, sezione ad I (102x45x7,6) | Trave in lega d'alluminio, sezione ad U (200x40x2,2) |
|---|---|--|--|
| Materiale                                 | Pino  | AISI 1015  | Lega 6082 T6   |
| Altezza                                   | 300 mm  | 102 mm   | 200 mm   |
| Larghezza                                 | 75 mm   | 45 mm  | 40 mm  |
| Sezione                                   | 22.000 mm <sup>2</sup>  | 940 mm <sup>2</sup>  | 960 mm <sup>2</sup>                                  |
| Massa specifica                           | 12,5 kg/m   | 7,3 kg/m   | 2,6 kg/m   |
| Secondo momento d'inerzia (max)           | 1,7·10 <sup>-4</sup> m <sup>4</sup>                           | 1,6·10 <sup>-6</sup> m <sup>4</sup>                          | 4,9·10 <sup>-6</sup> m <sup>4</sup>                  |
| Momento flettente in campo elastico (max) | 1,3·10 <sup>4</sup> Nm  | 1,2·10 <sup>4</sup> Nm                                       | 1,56·10 <sup>4</sup> Nm                              |

## Progettazione ambientale

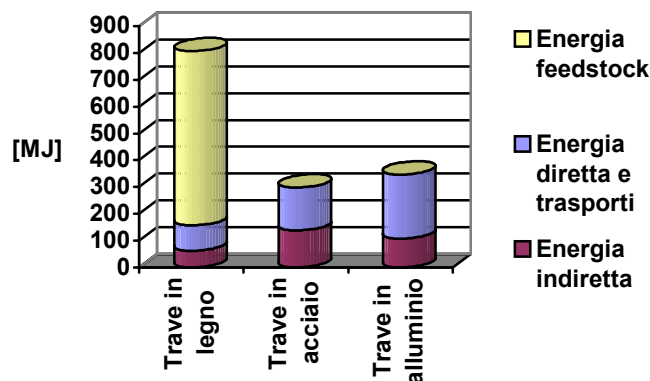
Dopo aver affrontato la progettazione tradizionale anche con l'ausilio di un software specifico, è stata effettuata una analisi di tipo *Life Cycle Assessment* (LCA) al fine di individuare i parametri energetici ed ambientali associati al sistema. A tal proposito, è bene evidenziare come nell'approccio LCA le travi sono considerate come prodotti di specifici sistemi produttivi i cui confini comprendono tutte le fasi che, partendo dall'estrazione delle materie prime dalla terra, arrivano alla produzione delle travi definite tramite l'unità funzionale. In particolare, i sistemi comprendono la produzione delle materie prime e dei semilavorati utilizzati, dei vettori energetici e del prodotto finale, nonché le attività di trasporto coinvolte. Anche per questa fase è stato utilizzato un software specifico, il *Boustead Model* (BM) della *Boustead Consulting Limited*.

Per le tre soluzioni sono quindi stati opportunamente implementati nel *BM Version 4.4* i sistemi produttivi tenendo conto della qualità e della quantità di materiale necessario, delle modalità di produzione, nonché dei trattamenti specifici quali, ad esempio, la verniciatura del legno.

## Risultati dell'analisi LCA

Senza entrare nel dettaglio metodologico<sup>1</sup> si può osservare come i tipici risultati di uno studio LCA possano essere suddivisi in energetici ed ambientali.

Per quanto riguarda quelli di tipo energetico, normalmente si possono individuare l'energia *feedstock*<sup>2</sup>, accumulata in un materiale potenzialmente combustibile, *l'energia diretta*, che corrisponde alla quota direttamente spesa dai processi, *l'energia indiretta* utilizzata per la produzione dell'energia diretta ed infine l'energia di trasporto (qui associata alla diretta). In Figura 4 si riporta un dettaglio di tali risultati.

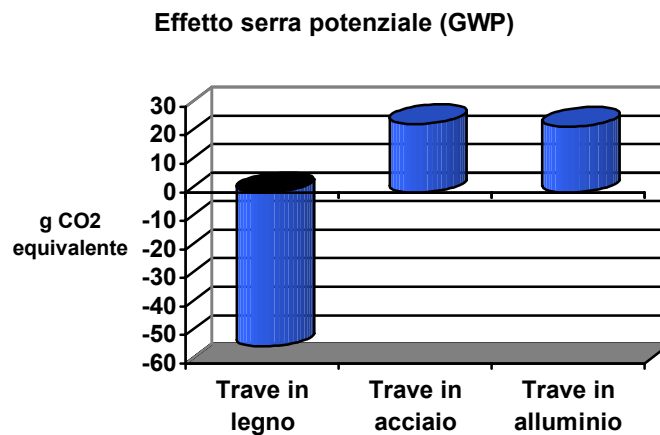


**Figura 4.** Confronto tra il fabbisogno energetico dei sistemi di realizzazione delle travi equifunzionali: per la trave in legno si considera anche la verniciatura mentre acciaio ed alluminio sono stati considerati di tipo secondario.

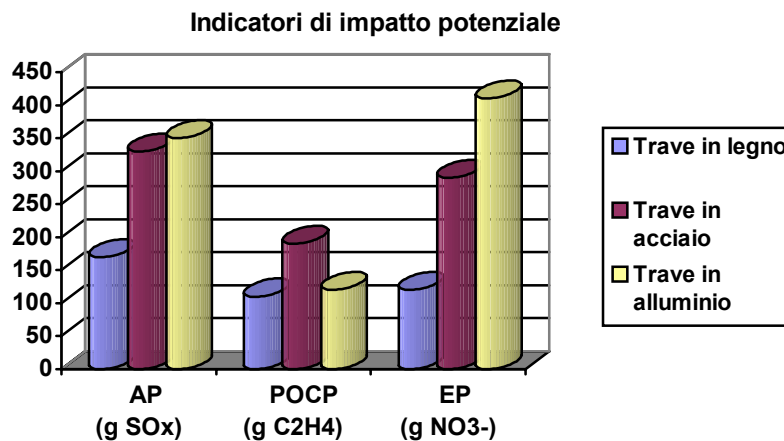
<sup>1</sup> Per la metodologia si rimanda alla bibliografia o a [www.life-cycle-engineering.it](http://www.life-cycle-engineering.it).

<sup>2</sup> Questa quota corrisponde al potere calorifico dei materiali in ingresso al sistema ed è piuttosto importante per lo studio della gestione a fine vita di materiali combustibili quale è il legno

I risultati ambientali generalmente mettono in evidenza le emissioni in atmosfera ed in acqua, l'impiego di risorse naturali e la generazione di rifiuti; tali risultati vengono poi utilizzati per la fase di valutazione degli impatti ambientali. Per sinteticità, in questo lavoro si riportano direttamente alcuni indicatori di *impatto ambientale potenziale* determinati sulla base dei risultati ambientali dell'analisi del sistema: per esigenze grafiche, tali risultati sono mostrati in Figura 5 per quanto riguarda l'effetto serra potenziale (GWP), e in Figura 6 per l'acidificazione potenziale (AP), la formazione di ozono fotochimico (POCP), l'eutrofizzazione potenziale (EP).



**Figura 5** – Effetto serra potenziale relativo ai sistemi di realizzazione delle travi: il valore negativo è da attribuirsi alla CO<sub>2</sub> assorbita dall'atmosfera durante la crescita dell'albero immobilizzata nel manufatto.



**Figura 6** – Acidificazione potenziale (AP), formazione di ozono troposferico (POCP) ed eutrofizzazione potenziale associati alla realizzazione delle travi.

## Conclusioni

Obiettivo di questo lavoro è stato quello di fornire un esempio di come si possano integrare differenti discipline al fine di operare una progettazione integrata che consenta di elaborare soluzioni eco-compatibili.

In particolare, l'utilizzo combinato di potenti strumenti di calcolo quali il Cambridge Engineering Selector ed il Boustead Model, ha permesso una efficace selezione delle travi più idonee a rispondere alle condizioni imposte oltre alla verifica delle caratteristiche energetiche ed ambientali dei sistemi di produzione degli elementi.

È opportuno infine sottolineare come i risultati ottenuti in questo lavoro non sono da intendersi di valore assoluto e generale. A seconda del tipo di progetto e di situazione sarà cura del progettista verificare la soluzione migliore da adottare

## BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- Ashby M.F.; *“Materials selection in mechanical design”* Butterwoth Heinemann, UK, 1999.
- Baldo; *“Life Cycle Assessment – Uno strumento di analisi energetica ed ambientale”*; IPA Servizi & ANPA, Milano, 2000.
- Lanza; *“Lo sviluppo sostenibile”*; Il Mulino; Bologna 1997.
- Ottman; *“Green marketing”*; Il Sole24ore Libri; 1997.
- Viola; *“Scienza delle costruzioni, Teoria della trave”*; Pitagora Editrice, Bologna, 1992.