

# La valutazione dell'ecocompatibilità delle Opere Temporanee al servizio dei XX Giochi Olimpici Invernali - Torino 2006.

R. Giordano, P. Revellino, S. Rossi.

## Profilo degli autori

Roberto Giordano

Dottore di Ricerca in tecnologia dell'architettura e dell'ambiente presso il Dipartimento BEST del Politecnico di Milano.

Svolge attività di ricerca e consulenza nel campo della valutazione della compatibilità energetica ed ambientale di prodotti edilizi e componenti tecnologici.

Dal 2002 è entrato a far parte dello staff della Direzione Ambiente del Comitato Olimpico Torino 2006 dove si occupa del coordinamento del Piano di Monitoraggio Ambientale su aspetti connessi alla valutazione della qualità ambientale del costruito.

Paolo Revellino

Esperto di

Svolge attività di

Attualmente è responsabile

Stefano Rossi

Laureato in Ingegneria Meccanica presso l'Università di Padova con un corso di studi dedicato agli impianti energetici.

Dal 2000 fa parte di Life Cycle Engineering, Studio Ingegneri Associati che si occupa di analisi energetiche ed ambientali in ottica ciclo di vita utilizzando la metodologia Life Cycle Assessment (LCA). In particolare è incaricato di gestire i progetti LCA volti a suggerire nuovi criteri per la selezione dei materiali nella progettazione e sviluppa le analisi e le attività per l'ottenimento della Dichiarazione Ambientale di Prodotto di diverse aziende. Svolge inoltre attività di verifica LCA - EPD per alcuni enti di certificazione.

## Abstract

Il Piano degli Interventi per i Giochi Olimpici Invernali – Torino 2006 - è finalizzato a garantire che ciascuna categoria di opere architettoniche sia progettata allo scopo di garantire le migliori condizioni di salvaguardia dell'ambiente, di tutela della salute e di comfort. In tale contesto, pur nell'ambito delle specificità che le caratterizzano, è opportuno annoverare anche le strutture destinate ad un uso transitorio, ma che tuttavia rivestono un'importanza strategica nell'ambito dei Giochi Olimpici: le Opere temporanee.

## I XX Giochi Olimpici Invernali Torino 2006

Cinquanta anni dopo Cortina d'Ampezzo e quarantasei dopo Roma, l'Italia torna ad essere sede di un evento Olimpico. Dal 10 al 26 febbraio 2006 Torino ospiterà i XX Giochi Olimpici invernali e dal 10 al 19 marzo i Giochi Paralimpici.

Si tratta indubbiamente di un evento cui corrisponde un significativo processo di trasformazione economica, sociale e culturale per Torino e per la sua provincia.

Le opportunità insite in questo processo di trasformazione non sono tuttavia prive di problematiche, connesse in massima parte alle modalità ed alle procedure di attuazione, all'interno delle quali gli aspetti di tutela e di salvaguardia ambientale rivestono un ruolo fondamentale.

Non a caso, nell'ambito delle attività di progettazione e realizzazione del Programma Olimpico, il Comitato per l'Organizzazione dei XX Giochi Olimpici Invernali – Torino 2006 (TOROC) ha sottoscritto, sin dalla fase di candidatura, la Carta degli Intenti e l'Agenda XXI del Movimento Olimpico, attraverso le quali ha individuato come prioritario l'obiettivo di realizzare infrastrutture e opere che rispettino l'ambiente.

#### Opere Permanenti ed Opere Temporanee

Le azioni programmate in campo ambientale dal TOROC a livello normativo si realizzano essenzialmente nell'ambito dell'applicazione della Valutazione Ambientale Strategica (VAS), uno tra i primi casi in Europa, prevista dalla Legge 285 del 9 ottobre 2000. Si tratta di uno strumento pensato per valutare preventivamente la compatibilità di piani e programmi e finalizzato ad eliminare o mitigare alla fonte potenziali impatti ambientali che l'organizzazione e l'attuazione dei Giochi potrà comportare.

La procedura di VAS prevede la verifica degli obiettivi di sostenibilità connessi alla preparazione ed allo svolgimento dei Giochi attraverso lo sviluppo di strumenti a supporto delle diverse attività, non ultime quelle di progettazione, di controllo delle attività di cantiere e di monitoraggio della qualità ambientale delle opere realizzate. Per quanto attiene le infrastrutture in corso di realizzazione, denominate Opere Permanenti, il TOROC ha elaborato nell'autunno 2001 le *Linee Guida per la Sostenibilità nel progetto, nella costruzione e nell'esercizio dei Villaggi Olimpici e Multimedia*. Tale documento è stato recepito dall'Agenzia Torino 2006 - ente pubblico cui spetta il compito di seguire il processo di progettazione e realizzazione della maggior parte delle opere necessarie allo svolgimento della manifestazione – nell'ambito dei Documenti Preliminari di Progettazione (DPP). Attraverso i DPP i progettisti sono stati chiamati a dichiarare sin dalla fase di progettazione preliminare negli studi di fattibilità ambientale quali requisiti ambientali intendessero soddisfare.

Accanto a questa categoria di opere di rilevanza strategica ai fini dei Giochi, ve ne è una seconda altrettanto importante, ma caratterizzata da una permanenza temporalmente definita. Si tratta delle cosiddette Opere Temporanee, ovvero di strutture ed installazioni con caratteristiche di temporaneità destinate specificatamente a supportare attività e servizi connessi alla realizzazione dei Giochi Olimpici e Paralimpici.

Il carico ambientale imputabile a questa categoria di Opere non è stato oggetto in passato di studi approfonditi, tuttavia in ottemperanza agli obiettivi contemplati nella VAS, la Direzione Ambiente del TOROC in collaborazione con Life Cycle Engineering e Studio Sasso Green Research & Design ha predisposto un "Sistema di Valutazione dell'Ecocompatibilità delle Opere Temporanee previste per lo svolgimento dei XX Giochi Olimpici Invernali di Torino 2006".

Tale sistema si propone di fornire alcune indicazioni utili alla progettazione di aree impegnate da strutture temporanee, definendo per ognuna delle unità tecnologiche, che nel loro insieme definiscono l'opera, informazioni concernenti la loro compatibilità ambientale.



## Analisi delle prestazioni dei materiali delle Opere Temporanee

Al fine di definire l'eco-compatibilità di un materiale o di un elemento tecnico, è stato necessario prendere in considerazione informazioni di diversa natura con livelli di approfondimento differenti. I principali indicatori adottati nel sistema di valutazione sono riconducibili ad aspetti tecnici (fisico-tecnici, meccanici, chimici, ecc.) ed ambientali (metodologie di valutazione dell'ecocompatibilità come la Life Cycle Assessment).

In prima istanza sono stati presi in considerazione i materiali comunemente impiegati per la produzione di un elemento tecnico di un'opera temporanea, successivamente si è proceduto ad individuare quali soluzioni tecnologiche alternative, o particolarmente innovative fossero in grado di soddisfare medesimi requisiti prestazionali.

In queste fasi, i valori puntuali o discreti delle proprietà in esame derivano dall'analisi di due importanti banche dati a disposizione del gruppo di lavoro, relative a materiali attualmente sul mercato: ASM International (American Society of Materials) e il Cambridge Engineering Selector v.4 (CES4).

L'analisi delle prestazioni tecniche ed economiche dei materiali, che possono costituire uno specifico elemento tecnico, è avvenuta quindi attraverso due fasi:

- Definizione di opportuni *filtri prestazionali* (ad esempio la resistenza a particolari agenti chimici, agli agenti atmosferici o alle basse temperature) che permette una prima selezione dei materiali realmente in grado di assolvere alle funzioni richieste dall'elemento tecnico.
- Individuazione di *prestazioni funzionali specifiche*, congruenti con l'elemento tecnico, incluso il costo, per quanto questo risulti fortemente legato alle condizioni locali di mercato, in base alle quali classificare i materiali.

Sulla base di tali prestazioni funzionali individuate come requisiti, ai materiali è stato attribuito un punteggio numerico: il valore medio tra i punteggi assegnati alle prestazioni prese in esame costituisce il punteggio finale.

Per quanto attiene le prestazioni ambientali, ciascun materiale è stato valutato sulla base di criteri che hanno contemplato il consumo di risorse e gli impatti sull'ambiente che si verificano durante tutte le fasi del ciclo di vita del materiale, comprendendo la produzione fuori opera (processo di produzione), la produzione in opera (processo di costruzione), la fase di esercizio, la fase di dismissione e il ripristino dei luoghi.

In particolare, i criteri ambientali adottati nell'ambito del processo di valutazione sono riconducibili a tre indicatori basati su criteri quantitativi e qualitativi di seguito brevemente descritti.

### Indice Life Cycle Assessment

Con il termine Life Cycle Assessment (LCA) si intende "un procedimento di quantificazione oggettiva dei consumi energetici e dei materiali usati e dei rilasci nell'ambiente ed un procedimento di valutazione degli impatti sull'ecosistema imputabili al consumo di risorse ed alle emissioni inquinanti".

Le utilità di uno studio LCA sono molteplici in relazione alla tipologia di utenza a cui si rivolge. La sua applicazione in ambiti produttivi consente di individuare quali e quanti siano i processi critici in termini di consumi energetici e/o di potenziali effetti ambientali. A scala progettuale l'analisi del ciclo di vita permette di procedere al confronto tra prodotti alternativi.

Nell'ambito dello studio condotto, la metodologia LCA ha consentito di analizzare e comparare i materiali sulla base delle relative prestazioni energetiche ed ambientali (su scala globale e regionale) durante il processo produzione.

Nell'ambito dei risultati che uno studio LCA è in grado di fornire, sono stati scelti alcuni specifici indicatori di analisi e valutazione:

1. **Fabbisogno di risorse energetiche:** indica il consumo totale di risorse energetiche connesso con la produzione del materiale.
2. **Energia feedstock:** quantificazione dell'energia contenuta nei materiali e potenzialmente recuperabile tramite una corretta gestione in fase di dismissione.

3. **Effetto serra potenziale a 100 anni (GWP100):** consiste in una stima dell'effetto serra dovuto all'emissione durante il processo di produzione di gas che contribuiscono a tale effetto.
4. **Acidificazione potenziale (AP):** è un indicatore a scala regionale che fornisce la stima del contributo al grado di ricaduta di sostanze acidificanti nell'ambiente
5. **Formazione di ossidanti fotochimici (POCP):** è un indicatore in grado di stimare gli effetti imputabili alla presenza di sostanze che favoriscono la formazione di ozono negli strati bassi dell'atmosfera.

Le analisi condotte ed i risultati ottenuti per ciascuno dei suddetti indici hanno fatto riferimento ad un'unità funzionale corrispondente alla produzione di un'unità di massa (1 kg) del materiale considerato nella forma e nelle condizioni il più possibile simili ai requisiti effettivi di impiego.

#### Indice di riciclabilità

La riutilizzabilità e la riciclabilità di un materiale dipende da due ordini di fattori, uno dipendente dalle caratteristiche del materiale stesso, l'altro dall'attuale sviluppo e dalla diffusione di sistemi tecnologici in grado di recuperare efficacemente gli scarti dei processi di produzione in opera e fuori opera e di demolizione.

La combinazione di questi due aspetti nell'ambito del sistema di valutazione proposto non è stata semplice. Si è trattato, infatti, di far confluire in un unico metodo aspetti quantitativi, come l'energia di feedstock contenuta nei materiali e potenzialmente recuperabile in un processo di riciclaggio, con aspetti qualitativi basati sull'attuale sviluppo di sistemi di trattamento e sulla loro diffusione sul territorio.

L'indice di riciclabilità determinato è stato ricavato attraverso le informazioni contenute nella banca dati informativa contenuta all'interno del software CES4.

Per ciascun materiale è stato messo a punto un giudizio compreso tra 5 e 1 che rappresenta una stima della quota della produzione di quel materiale che potrebbe essere ragionevolmente riciclata in accordo con il mercato e le tecnologie attuali. (Tabella 1).

Le leghe di alluminio ad esempio presentano un indice di riciclabilità tra 0,8 e 0,9, mentre le poliammidi presentano un indice prossimo a 0,1. Tale valore è interpretato come un indicatore del minore carico ambientale imputabile sia al risparmio di risorse, sia al riciclaggio del materiale.

Valore CES4	Indice di riciclabilità potenziale	Punteggio
0 – 0,20	Non riciclabile	1
0,21 – 0,40	Recupero prestazionale contenuto	2
0,41 – 0,60	Recupero prestazionale elevato	3
0,61 – 0,80	Riciclabile	4
0.81 - 1	Riutilizzabile	5

Tabella 1 - Criterio di attribuzione dell'indice di riciclabilità in relazione ai punteggi contenuti all'interno della banca dati CES4.

#### Indice di tossicità

Per poter approfondire gli aspetti connessi ai rischi di tossicità per l'uomo imputabili alla produzione di determinati materiali o al "contatto" con gli stessi in ambienti confinati sono stati presi in considerazione quattro ordini di fattori:

- Emissione di VOC (volatile organic compounds);
- Emissione di POP (persistent organic pollutant);
- Emissione di Metalli pesanti;
- Emissione di sostanze tossiche in caso di incendio.

Le prime tre voci considerano le rispettive emissioni durante le fasi di produzione, uso e smaltimento del materiale; mentre l'ultima voce comprende le

eventuali emissioni tossiche per l'uomo presenti nei fumi che si sviluppano in caso di incendio all'interno di un edificio/struttura.

La definizione della soglia di rischio imputabile all'esposizione delle suddette categorie di emissioni è veramente difficile poiché l'esposizione alle emissioni inquinanti non è mai singola, inoltre, la pericolosità cambia secondo il tempo d'esposizione e la combinazione con altri inquinanti.

Le sostanze tossiche analizzate nell'ambito del modello di valutazione sono caratterizzate da gradi diversi di tossicità sull'uomo, di persistenza nelle matrici biologiche e di interazioni con altri parametri. Alcune sostanze sono altamente tossiche se ingerite dall'uomo, altre se inalate, altre sono classificate come cancerogene, altre, ancora, determinano la cosiddetta SBS (Sick Building Syndrome), dovuta a sostanze, generalmente composti organici volatili, rilasciate negli spazi interni dai materiali da costruzione.

Coerentemente all'obiettivo di articolare le informazioni raccolte secondo un linguaggio "alla portata del progettista" è stato individuato un criterio per la determinazione dell'indice di tossicità.

Per tale determinazione sono state contemplate tutte le categorie di emissioni descritte precedentemente (VOC, POP, e Metalli pesanti).

Le voci considerate non coprono tutte le emissioni che possono caratterizzare il ciclo di vita di un materiale, ma permettono comunque di ottenere un parametro piuttosto completo che descrive l'impatto a livello locale dello specifico materiale.

Anche l'indice di tossicità è articolato in una scala di valori compresi tra 5 e 1. Ad un materiale per cui non sono imputabili emissioni (materiale atossico) corrisponde un indice di tossicità 5, ad un materiale per cui si può verificare un'emissione tossica (materiale a tossicità contenuta) corrisponde un indice di tossicità 4, ad un materiale per cui si possono verificare tre emissioni tossiche (materiale a tossicità sensibile) corrisponde un indice di tossicità 3, infine, ad un materiale per cui sono verificate tutte e quattro le emissioni (materiale potenzialmente tossico) corrisponde un indice di tossicità 1.

Di seguito, a titolo esemplificativo, sono riportate le emissioni (indicate con una X, se presenti) e i punteggi dell'indice di tossicità di alcuni materiali. Tabella 2.

Materiale	Emissioni				Indice di tossicità potenziale
	VOC	POP	Metalli Pesanti	Tossicità in caso di Incendio	Punteggio
PVC	X	X	X	X	5
Poliuretano	X	0	X	X	4
Polistirene	X	0	0	X	3
Polietilene	X	0	0	0	2
Legno non trattato	0	0	0	0	1

Tabella 2 – Criterio di attribuzione dell'indice di tossicità per alcune tipologie di materiali.

In accordo con gli obiettivi del lavoro, che mirava a sviluppare un manuale di facile consultazione per i progettisti, è stata adottata una **metodologia di calcolo semplificata**, basata sulla correlazione tra aspetti funzionali ed ambientali, consentendo in tal modo di classificare materiali e componenti in relazione alle loro prestazioni. Tale approccio pur risultando in contrasto con la filosofia di diffondere dati non influenzati da considerazioni soggettive, come è uso fare nell'ambito degli studi LCA, ha consentito tuttavia di realizzare uno strumento "user friendly", conforme agli obiettivi del progetto, basato su un approccio scientifico e trasparente, che garantisce la rintracciabilità delle ipotesi di partenze e dei dati trattati.

## Il caso studio dei materiali isolanti

I materiali per l'isolamento termico nelle Opere Temporanee sono prevalentemente impiegati in container e nelle cabine per commentatori televisivi e radiofonici.

Sulla base delle analisi condotte presso alcune aziende produttrici e fornitrici è emerso che il materiale maggiormente utilizzato è la schiuma poliuretanica.

### Individuazione dei materiali isolanti sulla base dei filtri prestazionali e di prestazioni funzionali specifiche

L'intenzione di contemplare altri prodotti per l'isolamento, al fine di confrontarne reciprocamente i livelli di ecocompatibilità, ha richiesto come requisito di partenza l'identificazione di quali tipologie di materiali isolanti fossero idonei a garantire prestazioni funzionali analoghe a quelle delle schiume.

Le seguenti condizioni, adottate come filtri prestazionali, sono state considerate come essenziali:

- **La possibilità d'impiego fino a temperature nell'ordine dei  $-40^{\circ}\text{C}$  ( $233\text{ K}$ ):** in Figura 1 è riportato il criterio di selezione; la linea rossa identifica il limite posto a  $233\text{ K}$  e di conseguenza i materiali compresi o esclusi da tale limite. Ogni segmento colorato corrisponde ad un materiale in grado di soddisfare il requisito mentre quelli in grigio (in basso) non rispondono alla condizione imposta. In particolare, trattandosi di dati medi, è possibile individuare materiali che si collocano a cavallo del limite, quindi possono, sia soddisfare, sia non soddisfare, il vincolo a seconda della loro composizione specifica.
- **Resistenza agli agenti atmosferici:** nonostante i materiali isolanti siano impiegati all'interno di pannelli tipo sandwich, si è proceduto alla loro caratterizzazione sulla base della loro resistenza alle radiazioni ultraviolette, al fine di valutarne la resistenza all'invecchiamento (di particolare importanza soprattutto per i polimeri) e agli ambienti umidi, che in alcuni casi possono compromettere le proprietà isolanti. La Figura 2 indica i livelli di prestazione; in questo caso i parametri adottati, per la valutazione delle prestazioni, non sono stati definiti attraverso specifiche variabili numeriche, bensì come classi di resistenza che variano da prestazioni scarse (very poor) a molto elevate (very good). Nel caso in esame sono stati selezionati i materiali classificati nell'intervallo compreso tra "soddisfacente" e "buono".

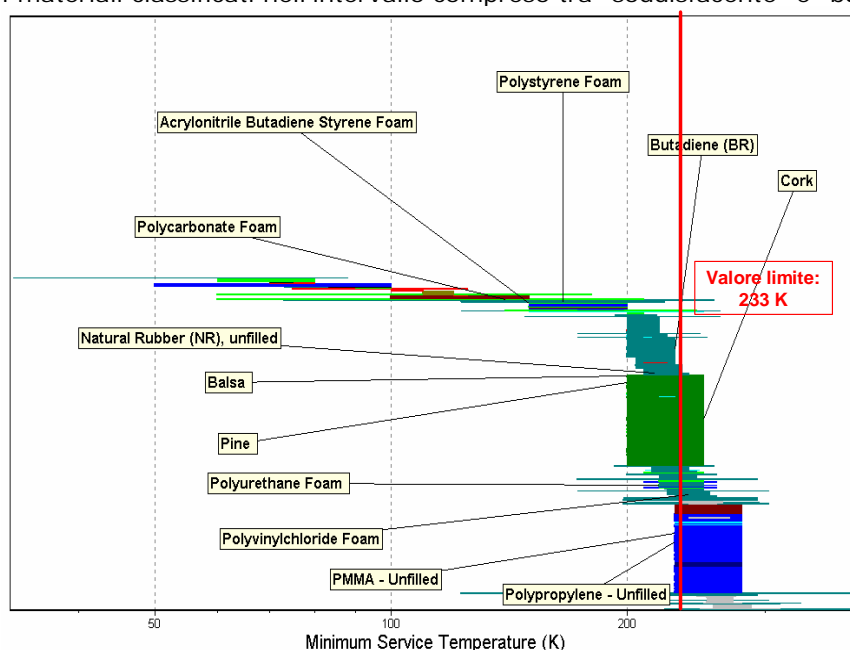


Figura 1 – Selezione dei materiali isolanti in base alla temperatura minima di esercizio (in rosso il limite a  $233\text{ K}$ ) (Fonte: CES4).

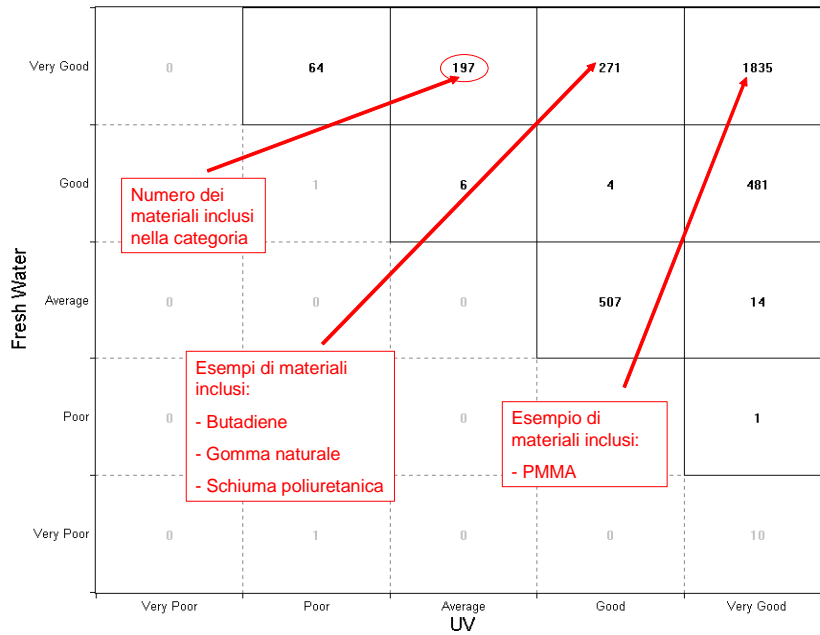


Figura 2 – Selezione dei materiali sulla base della resistenza agli ambienti umidi ed alle radiazioni ultraviolette (Fonte: CES4).

Sulla base dei filtri prestazionali individuati, in accordo con le informazioni provenienti da riviste di settore, da siti internet, dalle banche dati è stato possibile stilare un elenco di materiali isolanti potenzialmente alternativi alle schiume poliuretanic:

- Schiuma PVC;
- Schiuma policarbonato;
- Schiuma polistirene;
- Schiuma ABS;
- Polipropilene
- Gomma naturale;
- Butadiene;
- Polimetilmetacrilato (PMMA);
- Sughero;
- Balsa;
- Legno comune (pino);
- Lana di vetro;
- Pannelli in legno stabilizzato (PLS);
- Fiocchi di cellulosa.

I materiali isolanti individuati sono stati oggetto di un successivo processo di caratterizzazione sulla base di prestazioni funzionali specifiche. In particolare, si è fatto riferimento a:

- **Conducibilità termica:** consente di valutare la capacità di trasmettere il calore di un materiale per conduzione in regime stazionario;
- **Diffusività termica:** consente di tenere in considerazione le modalità di accumulo e rilascio del calore da parte dei materiali e quindi il loro comportamento in regime variabile (variazioni di temperatura nel tempo).

I materiali individuati sono rappresentati sulla base dei due indici prestazionali in figura 3.

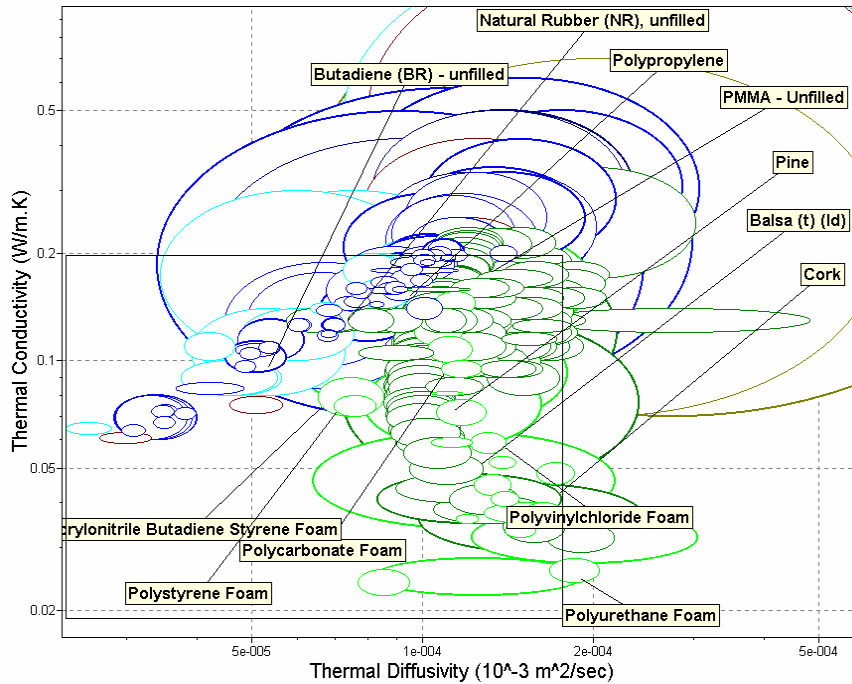


Figura 3 - Selezione dei materiali sulla base della conducibilità e della diffusività termica .

A completare il processo di studio delle prestazioni funzionali è stato considerato l'indice di costo, vale a dire il valore economico stimato per unità di massa di ciascun materiale (Figura 4). Considerata la variabilità di tale indicatore in funzione delle condizioni dei mercati locali nonché degli eventi politico-economici, è opportuno sottolineare che si tratta di un indice in grado di fornire una stima di larga massima della variabile economica connessa alle singole soluzioni.

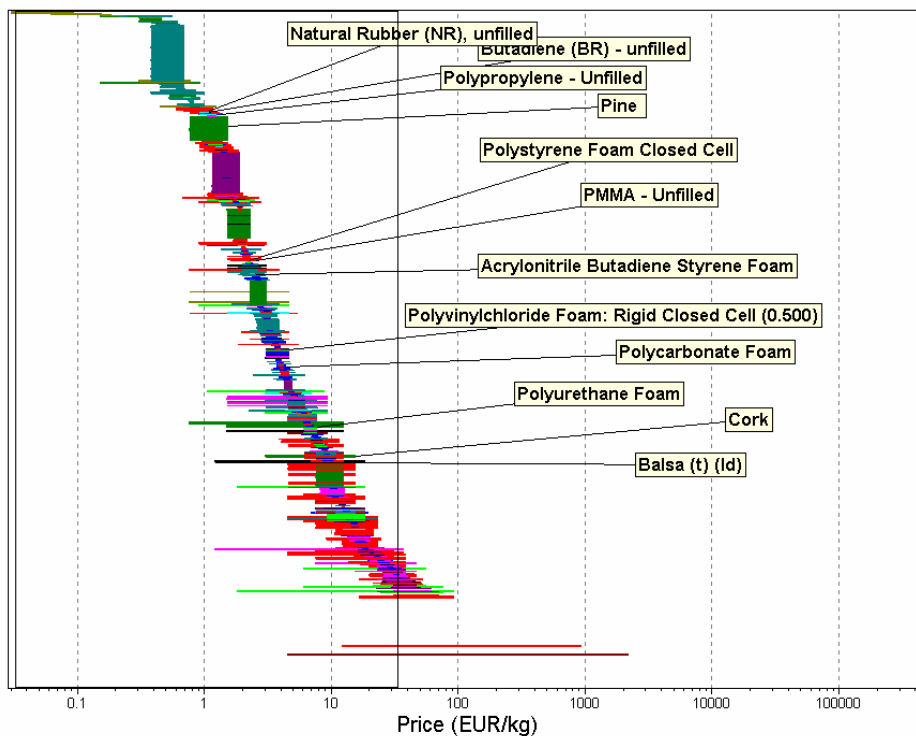


Figura 4 – Scelta dei materiali in funzione della variabile di costo.



### Valutazione delle prestazioni funzionali

La valutazione delle prestazioni funzionali è avvenuta attribuendo una scala di valori compresi tra 5 a 1 sulla base del criterio "more is better", secondo il quale si assegna il punteggio massimo alla soluzione migliore.

L'assegnazione dei punteggi è avvenuta in base al grafico di Figura 3, in cui i limiti di valutazione (rappresentati in figura dai contorni del rettangolo) sono stati definiti sulla base delle caratteristiche prestazionali selezionando i materiali che risultavano idonei a soddisfare il requisito.

La Tabella 3 oltre a riportare i punteggi assegnati, restituisce i valori dei parametri fisico-tecnici sulla base dei quali si è proceduto alla suddetta attribuzione.

Tabella 3 – Classificazione dei materiali in base agli indici di prestazione funzionali ed economici e sintesi prestazionali complessiva.

Materiale	Conducibilità termica		Diffusività termica		Costo Euro/kg	Indice di costo	Sintesi prestazionale
	$\lambda$ (W/mK)	Punteggio prestazionale	$\alpha$ (m <sup>2</sup> /s)	Punteggio prestazionale			
Schiuma poliuretanic	0,02	5	8,2*10-8	2	6,5	2	<b>3</b>
Schiuma PVC	0,05	4	1,2*10-7	2	3	3	<b>3</b>
Schiuma policarbonato	0,09	3	1,1*10-7	2	4	3	<b>2,7</b>
Schiuma polistirene	0,04	4	9*10-7	2	2,5	4	<b>3,3</b>
Schiuma ABS	0,07	3	6,7*10-8	3	2,5	4	<b>3,3</b>
Polipropilene	0,11	2	6,8*10-8	3	1	5	<b>3,3</b>
Gomma	0,10	2	5*10-8	4	1	5	<b>3,7</b>
Butadiene	0,08	3	3,8*10-8	5	1	5	<b>4,3</b>
Polimetilmetacrilato (PMMA)	0,08	3	4,8*10-8	4	2	4	<b>3,7</b>
Sughero	0,04	4	8,3*10-8	2	3	3	<b>3</b>
Balsa	0,04	4	9,6*10-8	2	8	1	<b>2,3</b>
Legno comune (pino)	0,06	3	8,8*10-8	2	0,8	5	<b>3,3</b>
Lana di vetro	0,04	4	2,8*10-7	2	2,9	3	<b>3</b>
PLS	0,12	1	6,3*10-8	3	< 1	5	<b>3</b>
Fiocchi di cellulosa	0,04	4	5,3*10-7	1	n.d.	3	<b>2,7</b>

### Valutazione delle prestazioni ambientali

I risultati ambientali ottenuti dall'applicazione della metodologia LCA sono riportati nelle Tabelle 4 e 5, rispettivamente per i criteri energetici ed ambientali, sulla base dei quali è stata calcolata la valutazione dell'indice LCA.

Tabella 4 – Classificazione dei materiali in base ai criteri LCA (energetici, dati per kg, fase di produzione).

Materiale	Risorse energetiche (carbone, gas, petrolio, legno)		Feedstock		
	Valore (MJ/kg)	Punteggio prestazionale	Valore (MJ/kg)	Feedstock / risorse energetiche	Punteggio prestazionale
Schiuma poliuretanic	88	2	35	40%	3
Schiuma PVC	60	3	25	42%	3
Schiuma policarbonato	118	1	38	32%	2
Schiuma polistirene	85	2	47	55%	4
Schiuma ABS	106	2	46	43%	3
Polipropilene	75	3	49	65%	4
Gomma	78	3	28	36%	3
Butadiene	82	2	46	56%	4
Polimetilmetacrilato (PMMA)	134	1	41	31%	2
Sughero	129	1	112	87%	5
Balsa	13	5	11	85%	5
Legno comune (pino)	13	5	11	85%	5
Lana di vetro	8,5	5	1,2	14%	1
PLS	7	5	3,5	50%	3
Fiocchi di cellulosa	39	4	25	64%	4

Tabella 5 - Classificazione dei materiali in base ai criteri LCA (ambientali, dati per kg, fase di produzione ) e valutazione dell'indice LCA.

Materiale	GWP		AP		POCP		Indice LCA (valore medio aspetti energetici ed ambientali)
	Valore <sup>1</sup> (kg CO <sub>2</sub> )	Punteggio prestazionale	Valore (kg SO <sub>2</sub> )	Punteggio prestazionale	Valore (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	Punteggio prestazionale	
Schiuma poliuretanic	4,7	2	0,04	3	0,003	2	<b>2,4</b>
Schiuma PVC	2,7	4	0,04	3	0,002	3	<b>3,2</b>
Schiuma policarbonato	6	1	0,05	2	0,003	2	<b>1,6</b>
Schiuma polistirene	2,7	4	0,02	4	0,002	3	<b>3,4</b>
Schiuma ABS	4,2	2	0,04	3	0,003	2	<b>2,4</b>
Polipropilene	2	4	0,02	4	0,0008	4	<b>3,8</b>
Gomma	3,5	3	0,06	1	0,002	3	<b>2,6</b>
Butadiene	1,7	4	0,01	4	0,0005	4	<b>3,6</b>
Polimetilmetacrilato	7,4	1	0,06	1	0,004	1	<b>1,2</b>
Sughero	-1,1	5	0,002	5	0,0004	4	<b>4,0</b>
Balsa	-1,1	5	0	5	0,0004	4	<b>4,8</b>
Legno comune (pino)	-1,1	5	0	5	0,0004	4	<b>4,8</b>
Lana di vetro	0,4	5	0,01	4	0,0008	4	<b>3,8</b>
PLS	0,23	5	0,004	5	0,0003	5	<b>4,6</b>
Fiocchi di cellulosa	-1,5	5	0,02	4	0,0004	4	<b>4,2</b>

<sup>1</sup> I valori negativi sono dovuti al credito di CO<sub>2</sub> accumulato durante la crescita delle piante coinvolte nella produzione del materiale.

Secondo modalità analoghe, a quelle precedentemente descritte, si è proceduto all'attribuzione dei punteggi inerenti l'indice di riciclabilità e di tossicità. (Tabella 6).

Tabella 6 – Determinazione dell'indice di riciclabilità e dell'indice di tossicità per i materiali isolanti contemplati nello studio.

Materiale	Valore CES4	Indice riciclabilità.	VOC	POP	Metalli Pesanti	Tox da Incendio	Indice tossicità
Schiuma poliuretanic	0	<b>1</b>	X	0	X	X	<b>2</b>
Schiuma PVC	0	<b>1</b>	X	X	X	X	<b>1</b>
Schiuma policarbonato	0,15-0,2	<b>1</b>	X	0	0	0	<b>4</b>
Schiuma polistirene	0	<b>1</b>	X	0	0	X	<b>3</b>
Schiuma ABS	0	<b>1</b>	X	0	0	X	<b>3</b>
Polipropilene	0,45-0,55	<b>3</b>	X	0	0	0	<b>4</b>
Gomma	0,02-0,04	<b>1</b>	X	0	0	X	<b>3</b>
Butadiene	0,02-0,04	<b>1</b>	X	0	0	X	<b>3</b>
Polimetilmetacrilato (PMMA)	0,45-0,55	<b>3</b>	X	0	0	0	<b>4</b>
Sughero	0,4-0,5	<b>3</b>	0	0	0	0	<b>5</b>
Balsa	0,4-0,5	<b>3</b>	0	0	0	0	<b>5</b>
Legno comune (pino)	0,4-0,5	<b>3</b>	0	0	0	0	<b>5</b>
Lana di vetro			X	0	0	0	<b>4</b>
PLS	n.d.	<b>n.d.</b>	0	0	0	0	<b>5</b>
Fiocchi di cellulosa	0,4-0,5	<b>3</b>	0	0	0	0	<b>5</b>

In conclusione il risultato dell'approccio descritto ha consentito di redigere le schede di elementi tecnici confluite nel Manuale per la Valutazione dell'Ecompatibilità delle Opere Temporanee, che verranno fornite a progettisti e produttori e saranno impiegate per esprimere il parere di preferibilità ambientale nell'ambito della valutazione delle offerte tecniche inerenti le opere da realizzare. (Figura 5).

Figura 5 – Esempio di valutazione sintetica dei materiali isolanti.

Valutazione complessiva in ecopunteggio				
Materiali analizzati	Indice di prestazione: - Funzionale - LCA	Indice di Riciclabilità	Indice di tossicità	Commento e indicazioni strategiche
	<i>Produzione</i>	<i>Produzione</i>	<i>Produzione</i>	
	<i>Gestione</i>	<i>Gestione</i>	<i>Gestione</i>	
	<i>Fine vita</i>	<i>Fine vita</i>	<i>Fine vita</i>	
Legno	4,1	3	5	Preferire legno proveniente da fonte controllata e gestita (certificato); Preferire legno proveniente da area locale/europea. Attenzione all'uso di preservanti (preferire Borati, saponi di Zn, derivati dell'azoto). Evitare collanti contenenti formaldeide ed urea.
Butadiene	4	1	3	Pericolo di cancerogenità di alcune sostanze di partenza contenute nel materiale - butadiene -.
Polipropilene	3,6	3	4	Porre attenzione alla eventuale presenza di additivi tossici: plastificanti, ritardanti di fiamma.
Sughero	3,5	3	5	Materiale ottenuto da risorse rinnovabili.
PLS	3,5	-	5	Pannelli costituiti in gran parte da legno riciclato. Fine vita: reimpiego come inerte.
Cellulosa	3,4	3	5	Materiale ottenuto da risorse rinnovabili. Rifiuti in fase di produzione biodegradabili.
Balsa	3,4	3	5	Materiale ottenuto da risorse rinnovabili. Rifiuti in fase di produzione biodegradabili.
Lana di vetro	3,4	-	4	Il materiale può rilasciare fibre durante la posa e rimozione. E' irritante per occhi e pelle.
Schiuma polistirene	3,4	1	3	Durante la combustione e deposito in discarica si verifica il rilascio di sostanze tossiche. Porre attenzione alla presenza di additivi tossici.
Gomma	3,1	1	3	Preferire gomma naturale. Porre attenzione alla presenza di additivi tossici: <u>plastificanti, ritardanti di fiamma.</u>
Schiuma PVC	3,1	1	1	Durante la produzione ed il fine vita è possibile che si liberino emissioni tossiche per uomo ed ecosistemi: diossine, organocloruri, ftalati. In caso di incendio si possono liberare sostanze tossiche.
Schiuma ABS	2,9	1	3	Pericolo di cancerogenità di alcune sostanze di partenza contenute nel materiale (butadiene, acronitrile). Acronitrile tossico per via inalatoria e altamente nocivo per le acque.
Schiuma poliuretano	2,7	1	2	Emissioni tossiche in fase di produzione, lavorazione e combustione.
PMMA	2,4	3	4	La sostanza di partenza (idrocianuro) è tossica.
Schiuma policarbonato	2,1	1	4	La sostanza di partenza (fosgene) è tossica.

Unità tecnologica:  
CABINE

Classe di elementi tecnici:  
COPERTURE

Elemento tecnico:  
ISOLANTI