fib Bulletin TG6.3
SUSTAINABILITY OF STRUCTURES WITH PRECAST ELEMENTS:
Objective and Progress Update

Stefano Pampanin
Albert de la Fuente
David Fernández-Ordóñez

Sapienza University of Rome, Italy
Polytechnic University of Catalonia (UPC), Barcelona, Spain
International Federation for Structural Concrete (*fib*), Switzerland

Introduction. Basics of sustainability

Definitions of Sustainability

Sustainable Development (SD)

Meeting the needs of the present generation without compromising the ability of future generations to meet their own needs.

-- Brundtland Commission, 1987 –

Sustainability

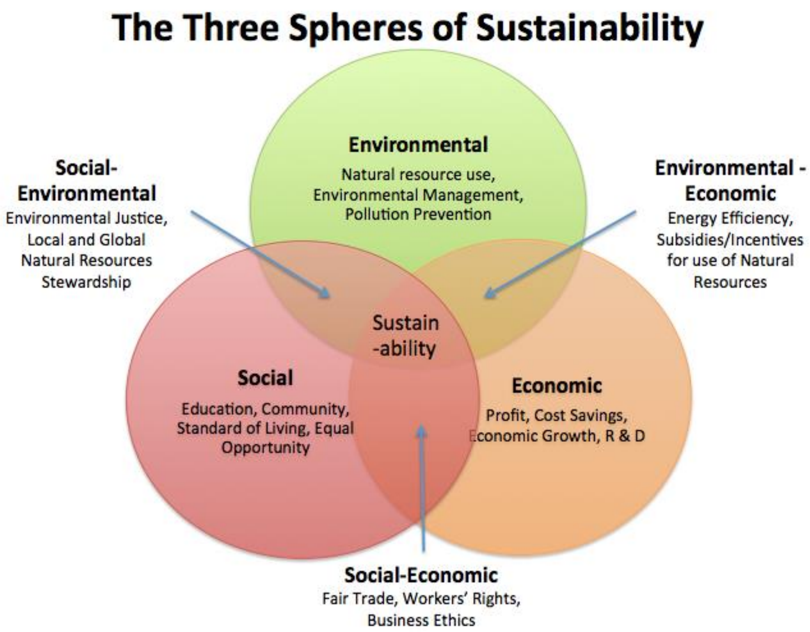
The possibility that human and other forms of life on earth will flourish forever.

-- John Ehrenfeld, Professor Emeritus. MIT –

Sustainable Development (SD)

Enough - for all – forever.

-- African Delegate to Johannesburg (Rio+10) --

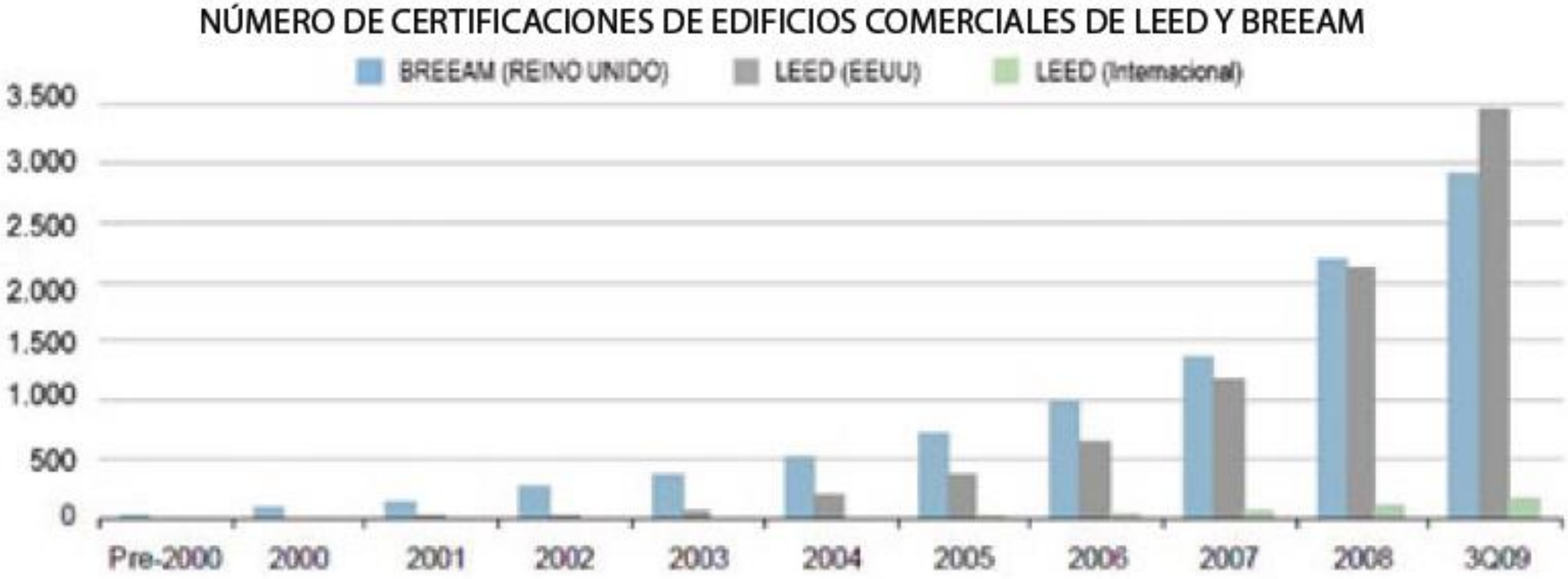


Concrete sustainability

- Concrete is one of the **most used structural material** (Sakai, 2009) and one of the cheapest.
- From the **environmental point of view**, the concrete, mainly by the contribution of cement, it is **one of largest producers of CO_2** emissions into the atmosphere. The global production is approximately 5-6% of the total CO_2 .
- In addition, the construction and use of buildings in the European Union **consume 42% of the total energy consumed** (year 2011) and is responsible of more than 50% of extracted materials.

Sustainability certification tools for buildings :

Number of certified commercial buildings with Leed and Breeam



Fuente: RREEF Research

MIVES

(from Spanish, Model for Sustainability Assessment of Structures)

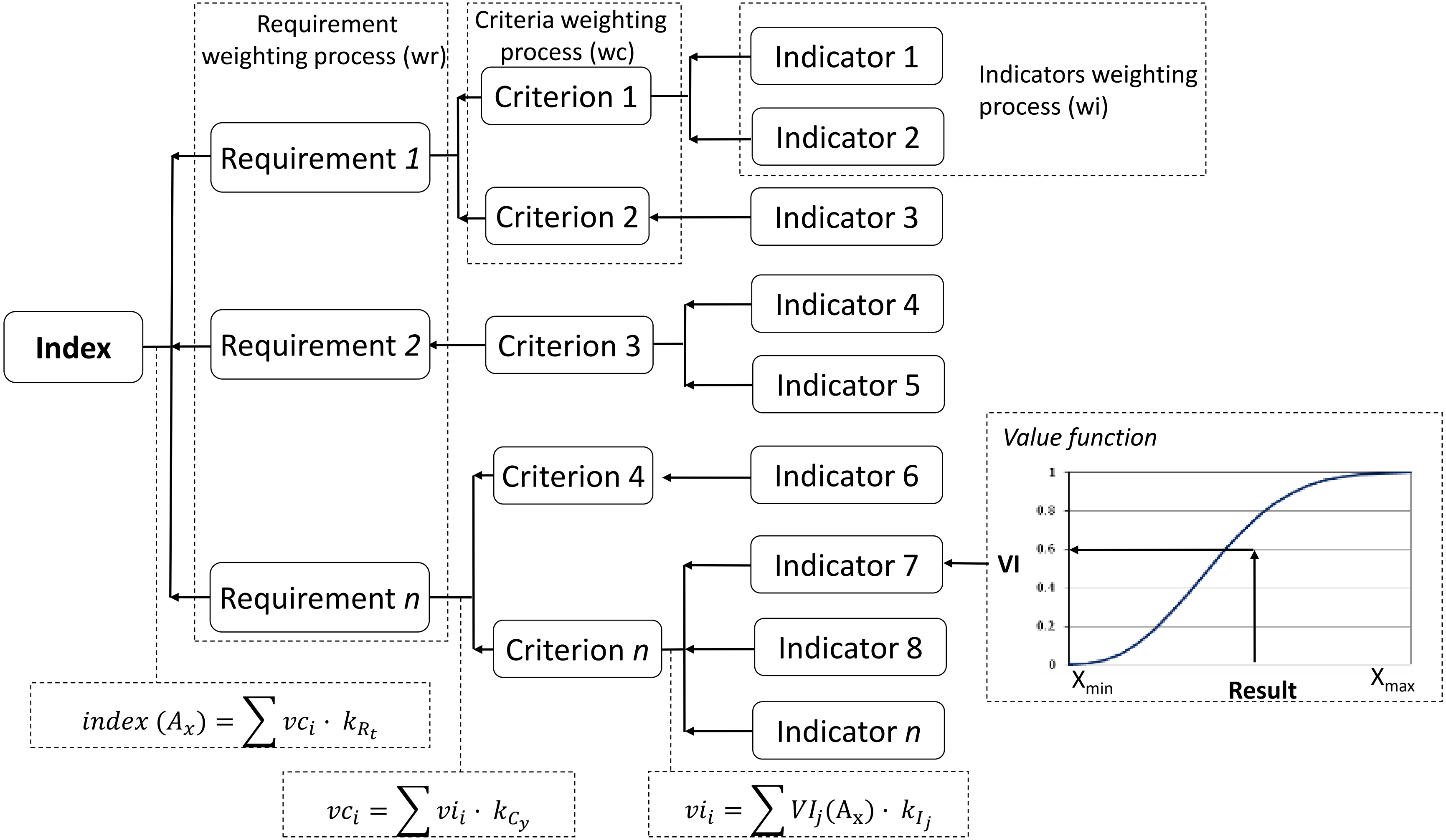
- **Measure objectively indicators** which might be subjective
- Compare indicators with different units (dB, €, Ton/eqCO_2) and different perception/satisfaction
- **Avoid overlapping/mixing** indicators assessment
- **Increase the transparency** when making-decisions

SUSTAINABILITY MUST BE MEASURED

MIVES. Procedure and approach

1. **Identify the problem** and define the problem **alternatives**
2. Develop the **decision tree** (a diagram that helps organizing the concepts or indicators that will be evaluated).
3. Define the **weights of the indicators**, criteria and requirements (established by authorities, direct assignment, AHP, ….)
4. Define a **value function** for each indicator (the value function allows converting any variable to one scale from 0 to 1).
5. **Measure each indicator** based on reliable data for each alternative
6. Obtain the **sustainability index** of each alternative and **make the decision**

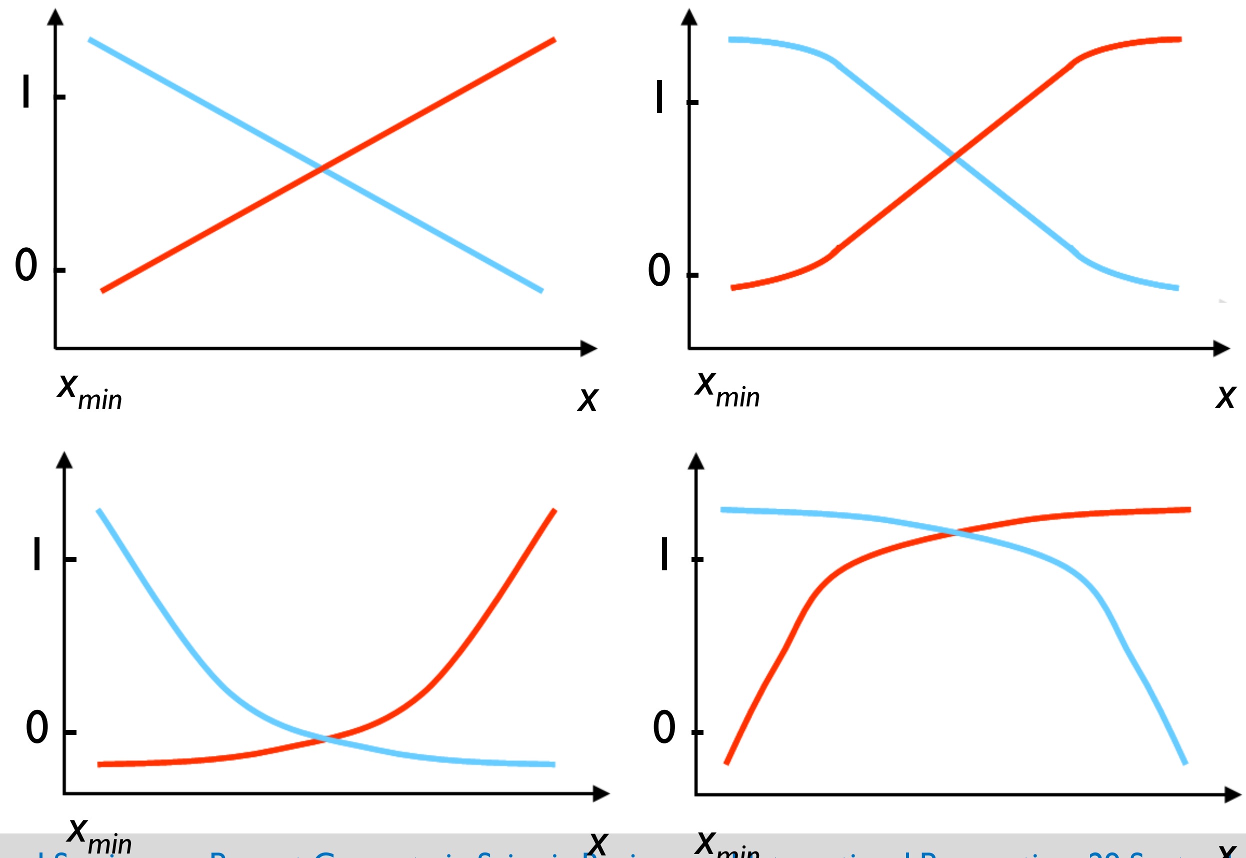
MIVES. Elements (requirements tree)



MIVES. Value/satisfaction functions

- **Value functions**

$$V_{ind} = B \cdot \left[1 - e^{-K_i \cdot \left(\frac{|X - X_{\min}|}{C_i} \right)^{P_i}} \right]$$



MIVES. Boundaries

- LCA focuses on environmental impacts associated with all the stages of a product's life from cradle to grave.
- LCA can be integrated in MIVES as an indicator

Requirements tree for precast concrete products

fib T6.3. Proposed Tree, Criteria and Indicators for *precast concrete products*

Requirement	Criteria	Indicator	Units	Value Function
R_1 Economic (λ_{R1} = 35%)	C_1 Total Costs (λ_{C1} = 42%)	I_1 Direct and indirect costs (λ_{I1} = 100%)	€	DS
	C_2 Quality (λ_{C2} = 19%)	I_2 Non quality costs (λ_{I2} = 100%)	Attrib.	
	C_3 Dismantling (λ_{C3} = 9%)	I_3 Dismantling costs (λ_{I3} = 100%)	€	DS
	C_4 Service Life (λ_{C4} = 30%)	I_4 Service costs (λ_{I4} = 61%)		
		I_5 Resilience (λ_{I5} = 39%)		IS
R_2 Environmental (λ_{R2} = 38%)	C_5 Consumption (λ_{C5} = 44%)	I_6 Cement (λ_{I6} = 22%)	Ton	DS
		I_7 Aggregates (λ_{I7} = 21%)		
		I_8 Steel (λ_{I8} = 21%)		
		I_9 Water (λ_{I9} = 12%)		
		I_{10} Plastics and others (λ_{I10} = 10%)		
		I_{11} Reused materials (λ_{I11}= 14%)		IS
	C_6 Emissions (λ_{C6} = 32%)	I_{12} CO_2 emissions (λ_{I12} = 62%)	$TnCO_2$-eq	DS
		I_{13} Total waste (λ_{I13} = 38%)	Ton	
	C_7 Energy (λ_{C7} = 24%)	I_{14} Materials (λ_{I14}= 37%)	MWh	
		I_{15} Construction (λ_{I15}= 26%)		
		I_{16} Service (λ_{I16}= 37%)		
R_3 Social (λ_{R3} = 26%)	C_8 Third parties (λ_{C8} = 37%)	I_{17} Comfort (λ_{I17} = 52%)	Attrib.	
		I_{18} Noise pollution (λ_{I18} =15%)	Db.	
		I_{19} Particles pollution (λ_{I19} = 20%)	Ton	
		I_{20} Traffic disturbances (λ_{I20} = 13%)	Attrib.	
	C_9 Risks (λ_{C9} = 63%)	I_{21} H&S. Production (λ_{I21} = 23%)		
		I_{22} H&S. Construction (λ_{I22} = 23%)		
		I_{23} Occupant Safety (λ_{I23} = 55%)		

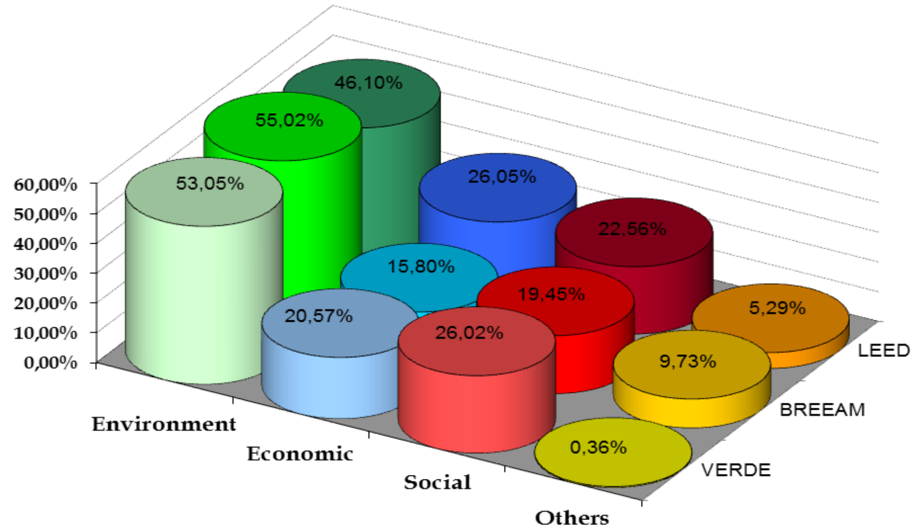
DS: decrease convexly shape; IS: increasing shape

Weights' distributions

Comparison of weights' distributions

	fib TG 6.3	LEED	BREAM	VERDE	DGNB	LEnSE	SBToolCZ	λ_{Rim}	$CV_{\lambda R}$	$\lambda_{Ri,min}$	$\lambda_{Ri,max}$
Economic (R_1)	35%	26%	16%	21%	33%	19%	15%	24%	34%	15%	35%
Environmental (R_2)	38%	46%	55%	53%	33%	44%	50%	46%	17%	33%	55%
Social (R_3)	26%	23%	20%	26%	33%	37%	35%	29%	22%	20%	37%
Others (R_4)	0%	5%	10%	0%	0%	0%	0%	2%	-	0%	10%

Table 4. Weights' distributions for various sustainability/certification tools for buildings



Life Cycle Assessment for Sustainable Design: Classic and Low-Damage Precast Structures Subjected to Earthquakes

UPC

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Candidate:
Gianluca Cecconi

Supervisor:
Prof. Stefano Pampanin

Co-supervisor:
Prof. Albert de la Fuente Antequera

Sostenibilità

(Brundtland Commission report, 1987)

(Summit della terra, Rio de Janeiro, 1992)

(Protocollo di Kyoto, 1997)

Industria delle costruzioni

- 5-10% occupazioni lavorative
- 5-15% del PIL nazionale
- 40-45% emissioni e consumi energetici

(Houvila et al, 2007)

Life Cycle Analysis (LCA)

Definizione degli obiettivi

↓

Analisi d'inventario

← Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD)

Database su consumi energetici ed emissioni CO_2

↓

Valutazione degli impatti

← Modelli di valutazione degli impatti

↓

Interpretazione dei risultati

UNI EN ISO 14040:2006

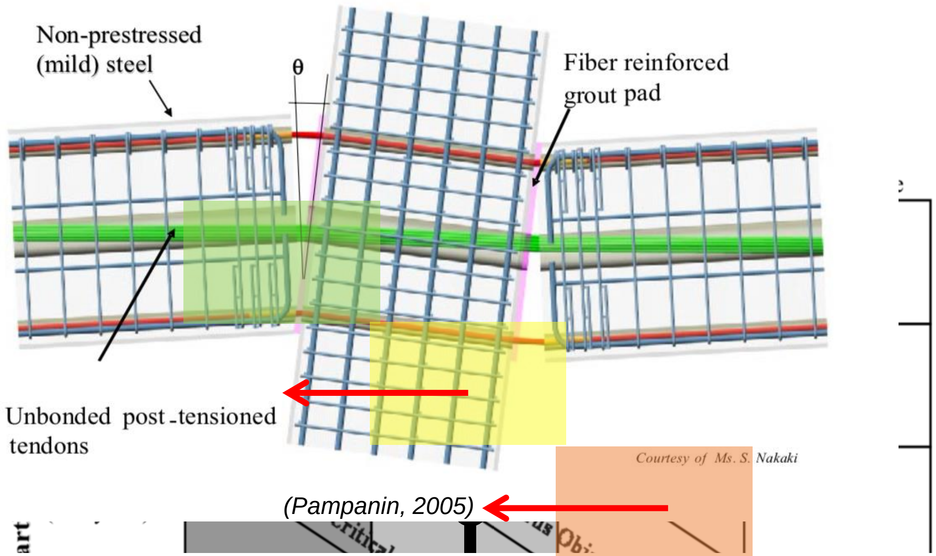
Acqusizione materie prime | Produzione | Costruzione | Uso | Demolizione | Riciclo

CRADLE TO GATE →

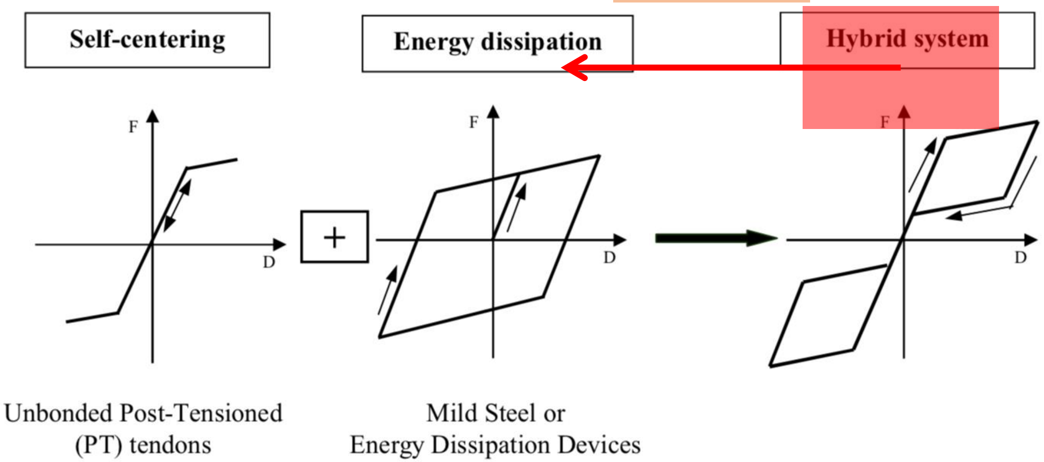
CRADLE TO GRAVE →

CRADLE TO CRADLE →

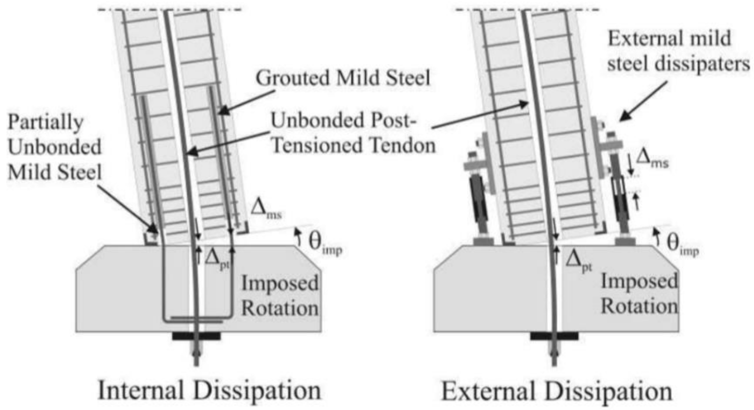
Nuove tecnologie



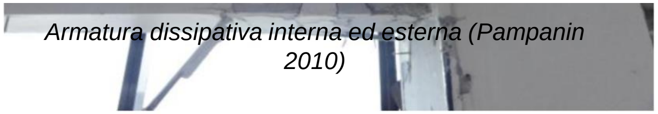
(Pampanin, 2005)



Flag-shape di un sistema ibrido (Fib 2003)



Marriott et al., 2008



Armatura dissipativa interna ed esterna (Pampanin 2010)

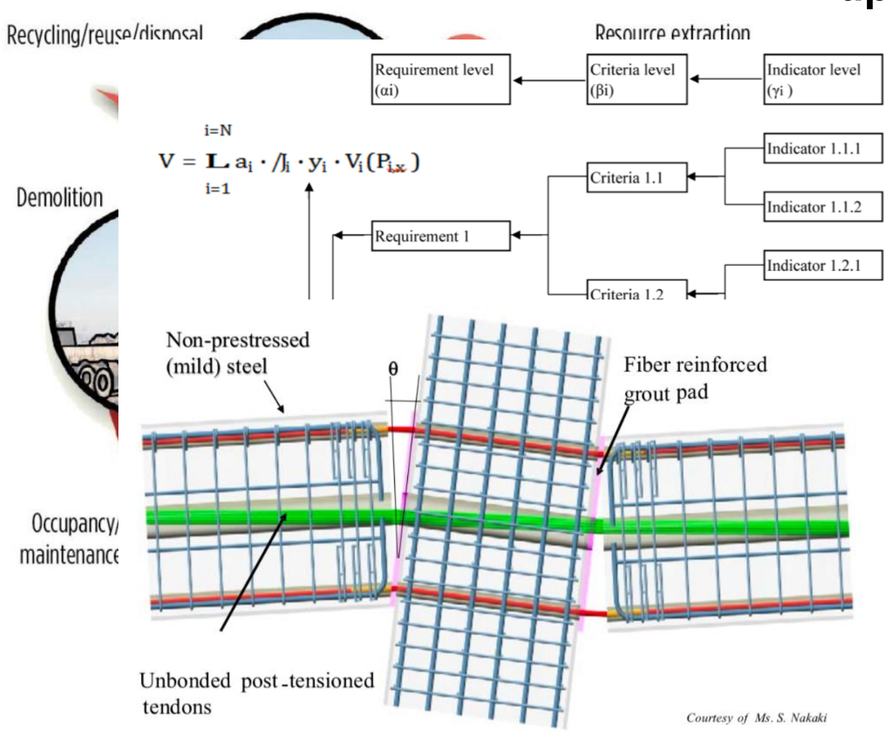
Connessione nell'edificio Alan MacDiarmid in Nuova Zelanda (Pampanin, 2010)

Obiettivi e finalità

- Identificare e confrontare gli **impatti ambientali** di soluzioni progettuali tradizionali (monolitico c.a.) ed innovative (prefabbricata basso-danneggiamento) mediante **LCA** (Life Cycle Analysis).

- Valutare la sostenibilità di complessi edilizi tramite l'applicazione di **metodi multi-criterio** per indiri **uppo sostenibile**

- Dimostrare come ustria delle costruzioni contri



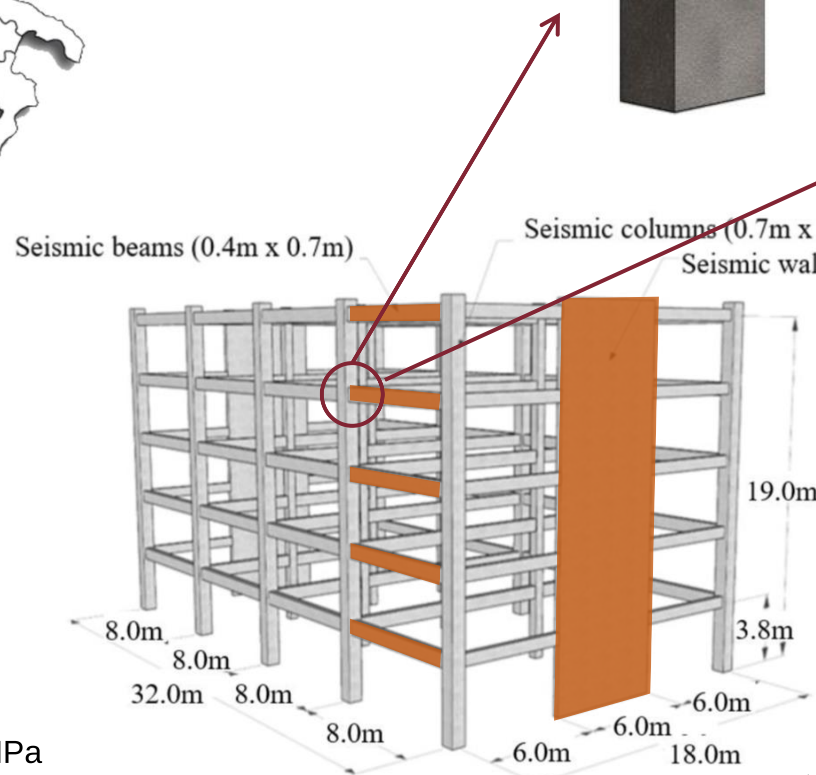
Caso studio

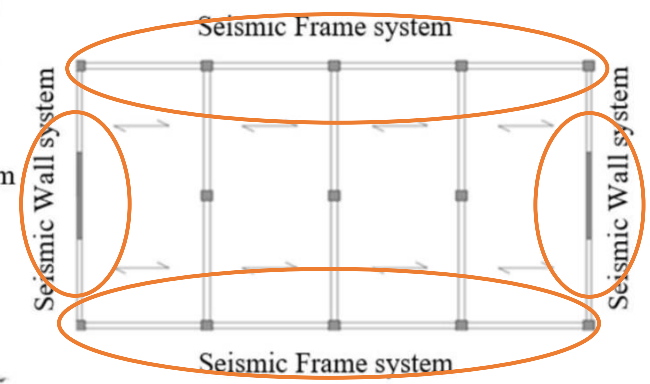
Dettagli connessioni trave-colonna (a) tecnologia PRESSS (b) monolitico
Cortesia di Rotisciani M.

SITO:
Reggio Calabria
PGA=0.35g
Uso uffici

DIMENSIONI:
Pianta 32x18m
Altezza 19m
H,int 3.8m
Area totale 2880 m²
Volume totale 10944 m³

MATERIALI:
Cls fck=50MPa
Acciaio B450C
Trefoli 15.2mm – fptu=1860 MPa
Barre MacAlloy 50mm – fptu=1030 MPa



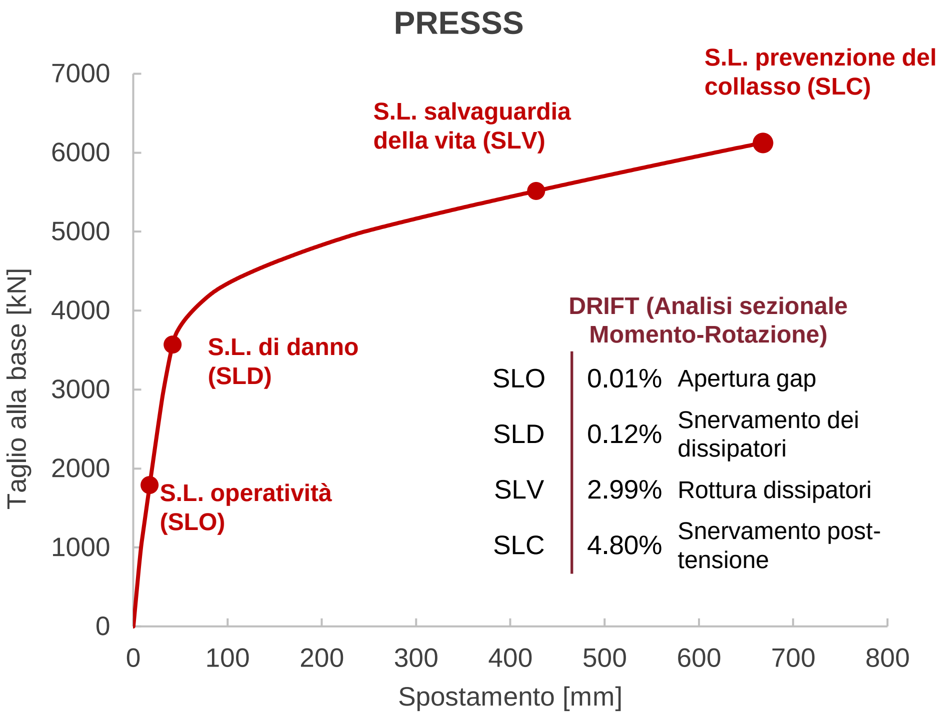


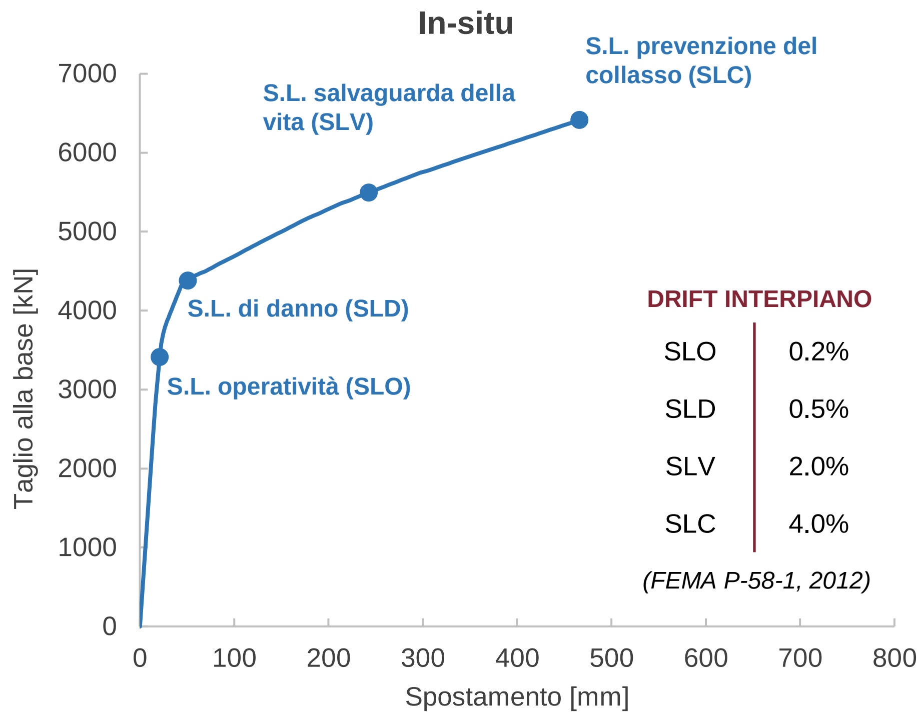
(Bianchi et al, 2018)

Analisi strutturali

Displacement-Based Design (Priestley 1998-…) → Progettazione connessioni → Modellazione Ruaumoko 2D (Carr, 1980-…) → Definizione stati limite: *(FEMA P-58-1, 2012) ed analisi sezionali*

→ Pushover in dominio ADRS → Identificazione PGA ad ogni S.L. → Curve di fragilità

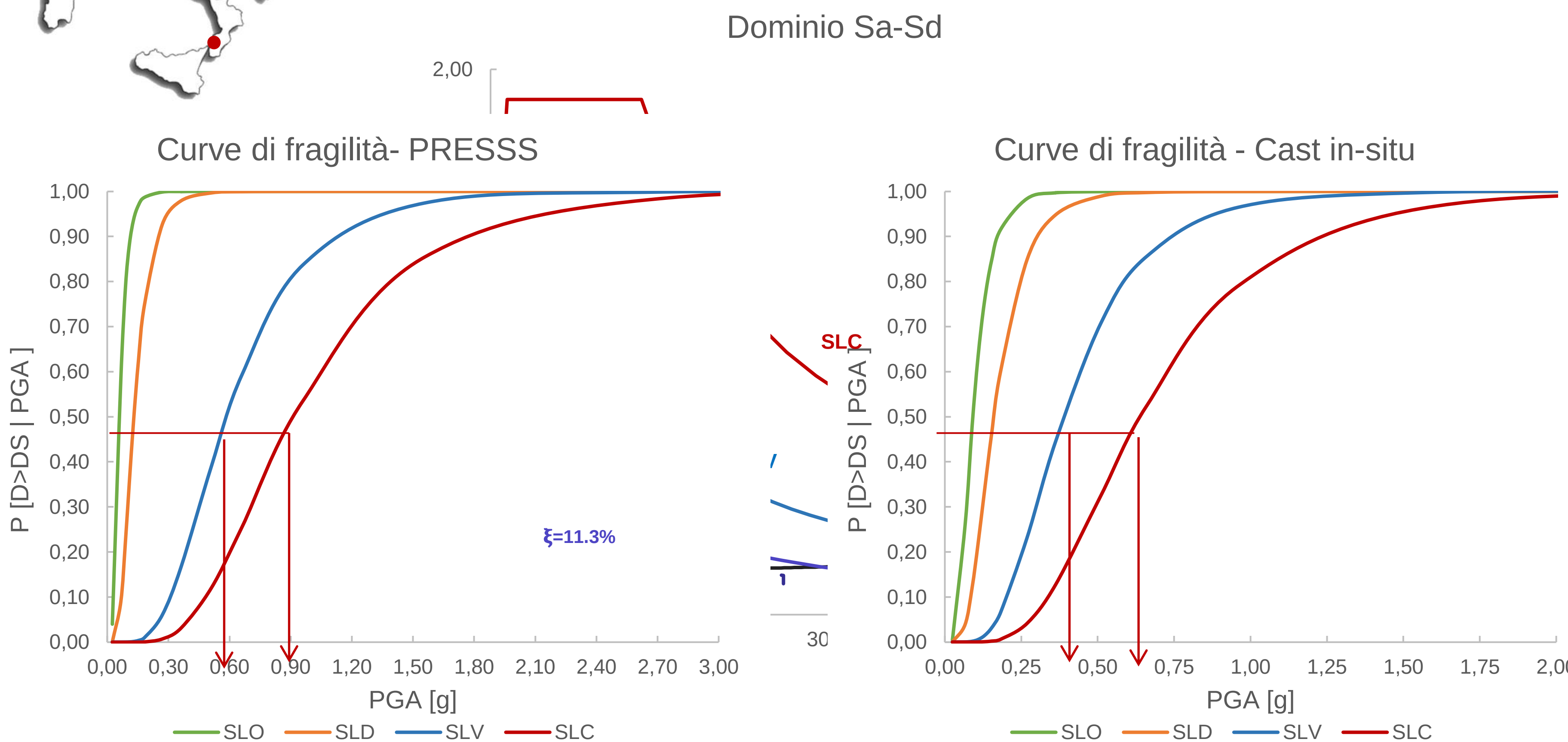




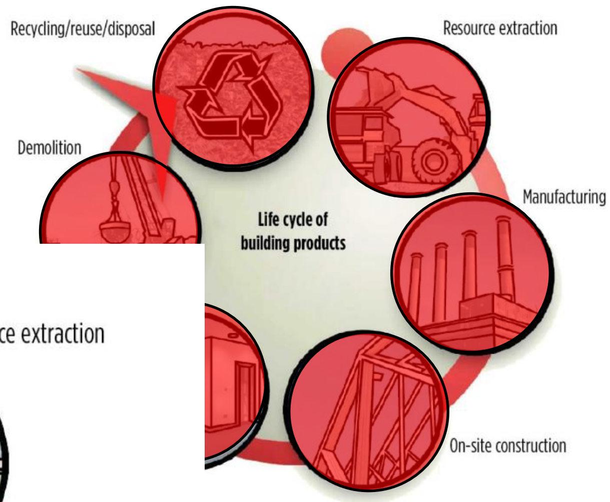
Analisi strutturali

Displacement-Based Design (Priestley 1998-…) → Progettazione connessioni → Modellazione Ruaumoko 2D (Carr, 1980-…) → Definizione stati limite: *(FEMA P-58-1, 2012) ed analisi sezionali*

→ Pushover in dominio ADRS → Identificazione PGA ad ogni S.L. → Curve di fragilità

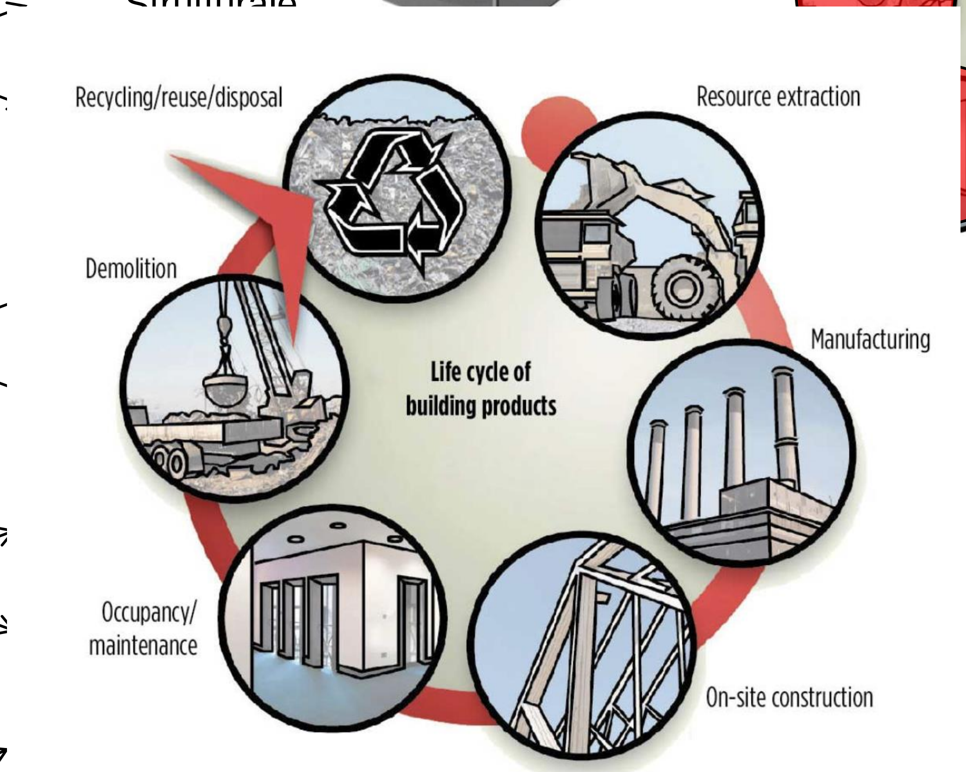


Life Cycle Analysis



Strutturale

Densità, superficie e peso per ogni materiale



Trasporto

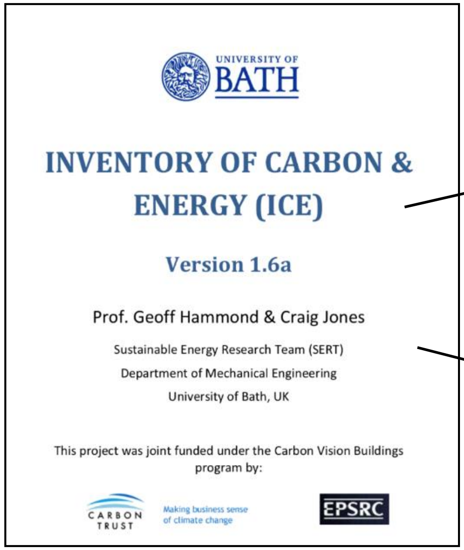
Fase d’uso

Fine vita

Lavorazioni smantellamento /riciclo

Life Cycle Analysis

ICE Database (Hammond & Jones)


UNIVERSITY OF BATH

INVENTORY OF CARBON & ENERGY (ICE)

Version 1.6a

Prof. Geoff Hammond & Craig Jones

Sustainable Energy Research Team (SERT)
Department of Mechanical Engineering
University of Bath, UK

This project was joint funded under the Carbon Vision Buildings program by:

CARBON TRUST — Making business sense of climate change — EPSRC

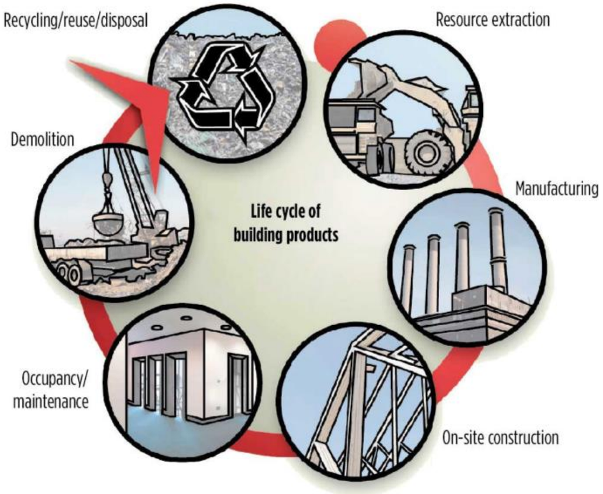
124 Misurazioni per Calcestruzzo

- Non armato
- Armato
- Prefabbricato
- Diverse resistenze caratteristiche

Altri materiali:

- Acciaio
- Legno
- Mattoni muratura
- Bitume
- Asfalto

	CO2 kgCO2/kg	Energia MJ/kg
C.A. 40/50	0.19	1.17
C.A 40/50 (150kg/m3)	0.30	2.73
Barre armatura	1.86	21.60
Legno (generale)	0.72	10.00
Trasporto (28ton)	0.14	2.40
Energia bassa tensione	0.04	2.90



Ecocosts 2012 LCA data on products and services (Vogtländer, 2012)

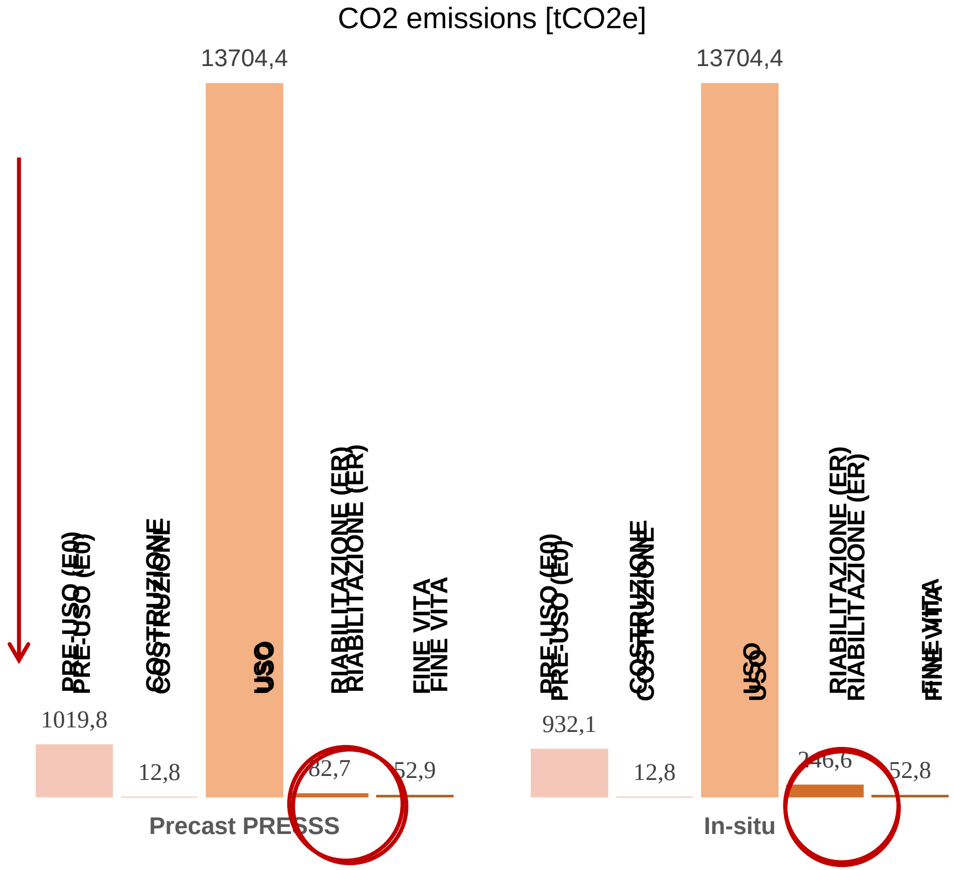
5500 valori di emissioni e consumi energetici per:

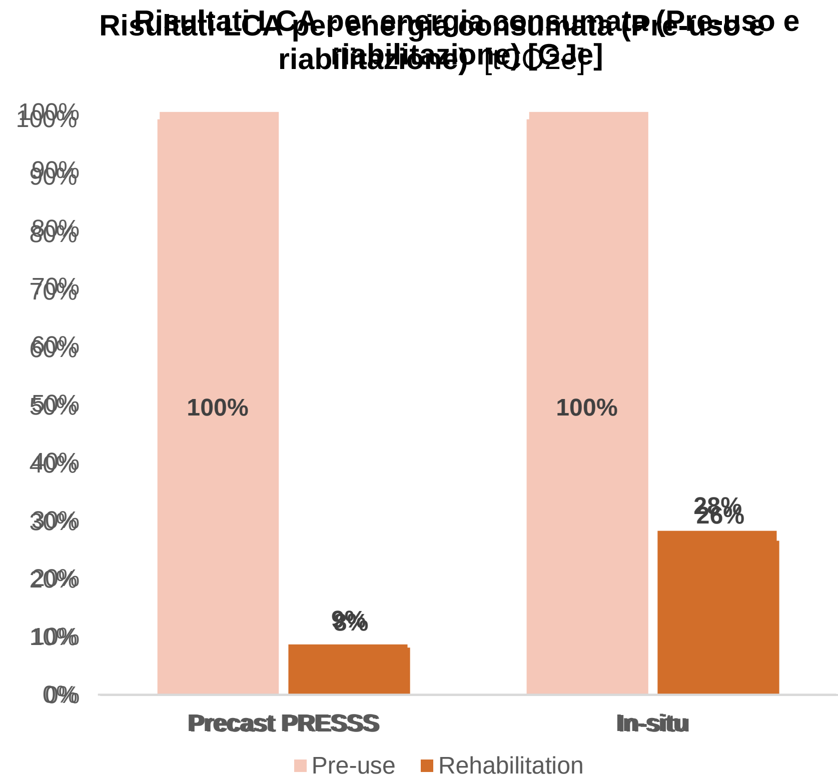
- Prodotti
- Lavorazioni
- Trasporto
- Energia
- Trattamento rifiuti

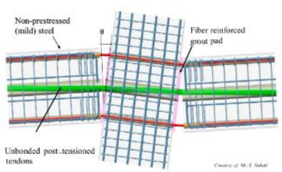
Life Cycle Analysis

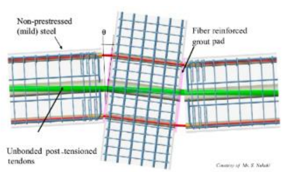
Probabilità superamento S.L. in 50 anni → Percentuale di materiale/lavorazioni necessarie per riabilitazione per ogni S.L. → Etot=E0+ER

(Menna et al, 2013)





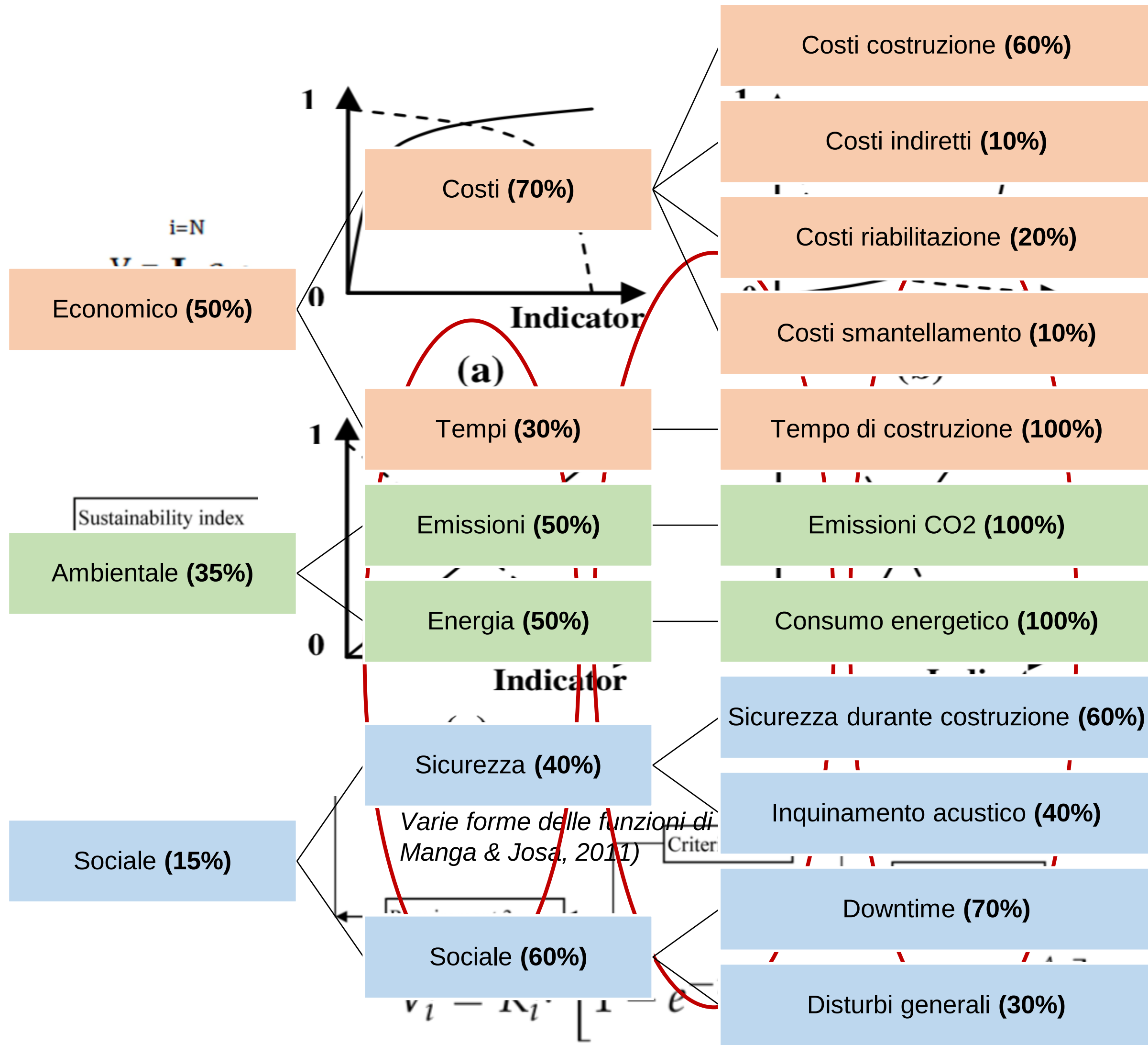




Metodo MIVES: analisi di sostenibilità

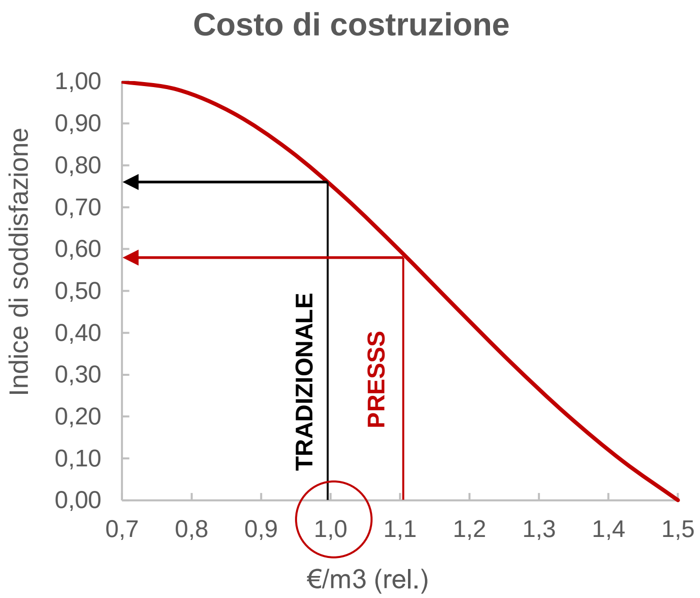
METODO DECISIONALE MULTI-CRITERIO

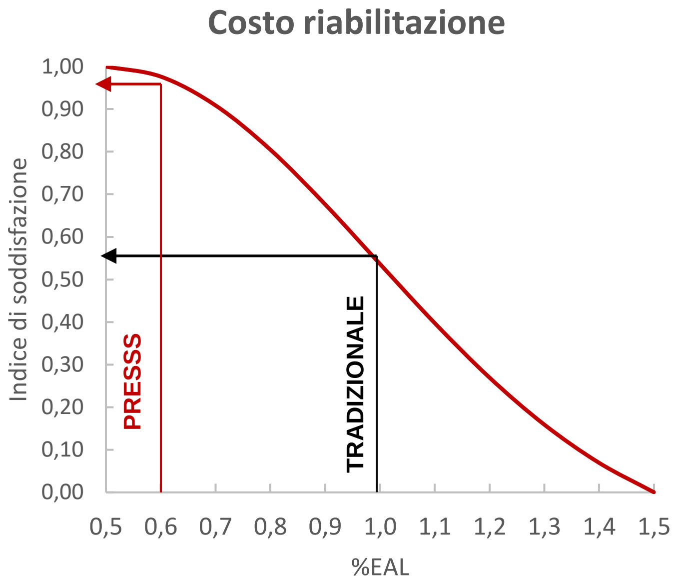
- Definizione problema e scelte da effettuare
- Definizione di un diagramma ad albero e pesi associati ad ogni indice-criterio-requisito
- Definizione di funzioni di valore che convertano variabili dimensionali in adimensionali
- Definizione delle alternative progettuali
- Valutazione dell’indice di sostenibilità
- Scelta della soluzione migliore



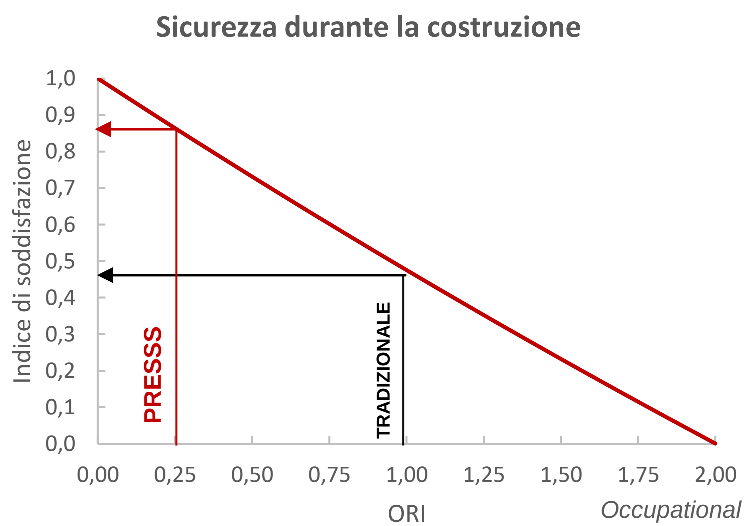
Varie forme delle funzioni di ... Manga & Josa, 2011)

Metodo MIVES: funzioni di valore



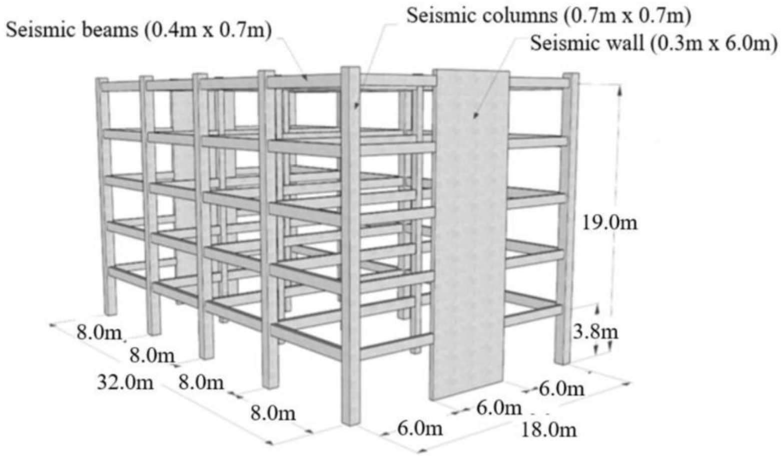


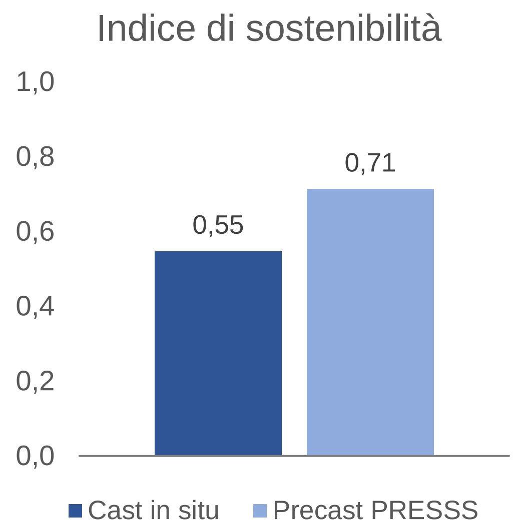
La soluzione monolitica è utilizzata come standard di confronto ed è quindi rappresentata dal valore unitario

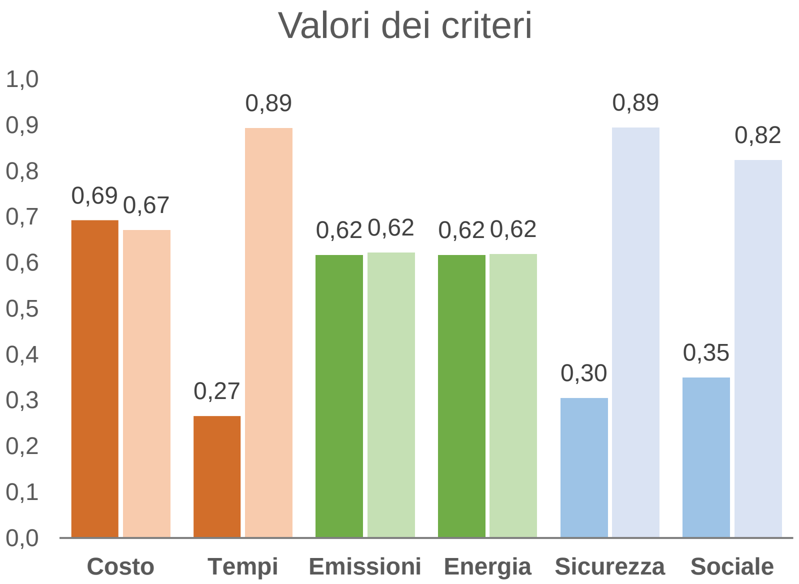


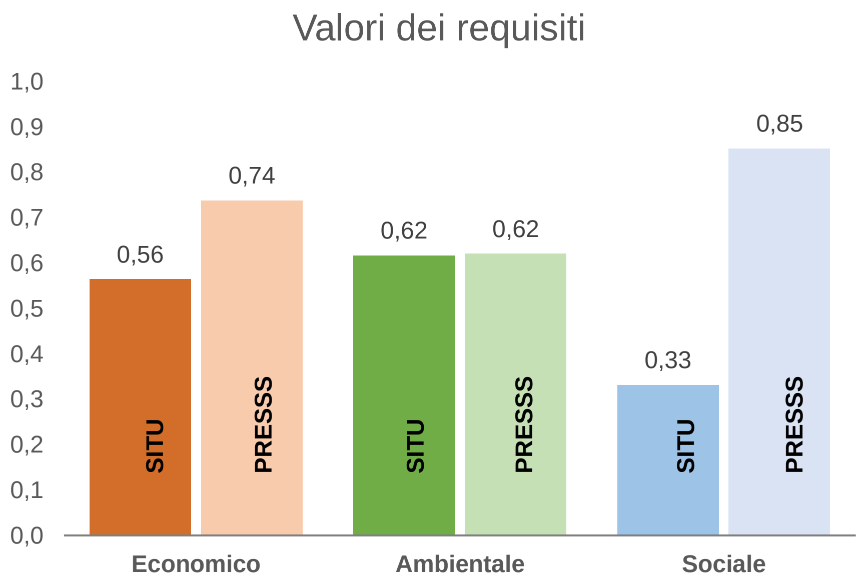
Occupational Risk I
(Casanovas et al 20

Metodo MIVES: risultati



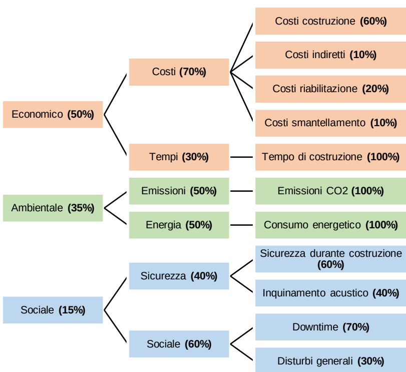






Analisi di sensitività

Variazione dei pesi



28000 combinazioni

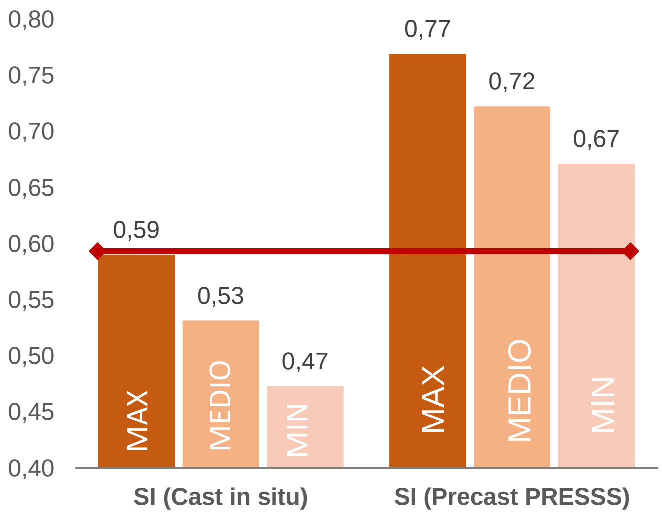
La soluzione tradizionale è utilizzata come riferimento standard. Cambiano solo i parametri della soluzione prefabbricata PRESSS.

Variazione dei parametri

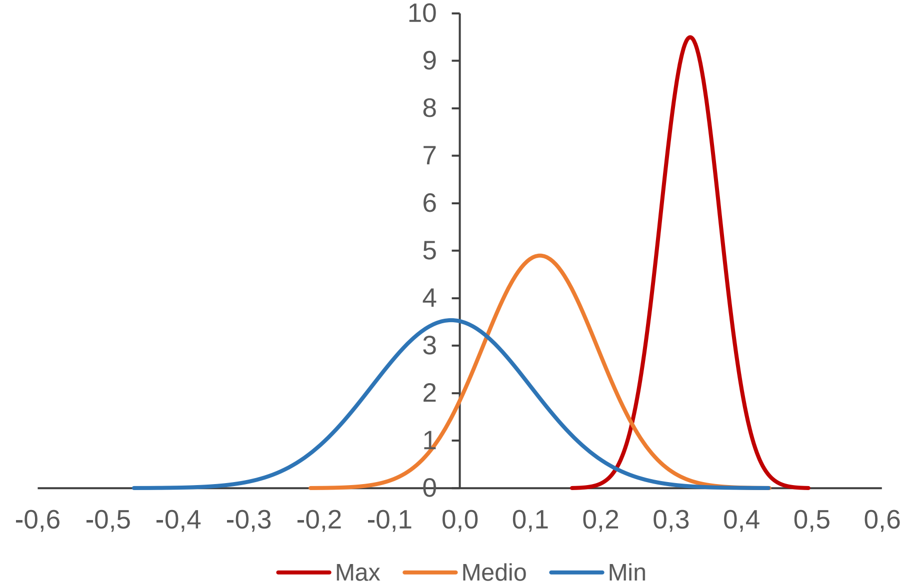
Costo costruzione **[5/20%]**	Costo indiretto **[-30/30%]**
Costo smantellamento **[10/30%]**	Emissioni/Energia **[0/30%]**

$$Variazione\ indice\ (VI) = \frac{(SI, precast\ - SI, situ)}{(SI, precast)}$$

Indice di sostenibilità



Distribuzione normale di VI (variazione indice)



Monetizzazione

Indice	Costo Cast in-situ (CC)	Costo PRESSS (PC)	Risparmio (PC-CC)
Costo costruzione	**€ 3 699 072**	**€ 4 068 979**	**-€ 369 907**
Tempi di costruzione	*€ 406 898*	*€ 111 897*	*€ 295 001*
Costo indiretto	€ 369 907	€ 244 139	€ 125 768
Costo di riabilitazione	**€ 535 997**	**€ 308 876**	**€ 227 122**
Costo di smantellamento	€ 86 400	€ 112 320	-€ 25 920
Emissioni CO2 Consumo di energia	€ 2 817 447	€ 2 809 711	€ 7 736
Salute e sicurezza durante costruzione	€ 5 791	€ 1 524	€ 4 267
Inquinamento acustico	€ 8 537	€ 301	€ 8 236
Downtime	**€ 4 284 440**	**€ 1 276 931**	**€ 3 007 509**
Disturbi generali	€ 8 537	€ 301	€ 8 236
	€ 11 816 129	**€ 8 823 083**	**€ 2 993 047**

Uomini Giorno

Costo di affitto giornaliero dell'intero edificio

Stima % costi per lavori scavo e strutturali (*DEI, Tipologie edilizie, 2014*)

- € 17 000

Guadagno giornaliero di un'attività associata all'edificio

Incidenza manodopera, compenso lavoratori e composizione squadra tipo

Perdite legate al downtime dell'edificio

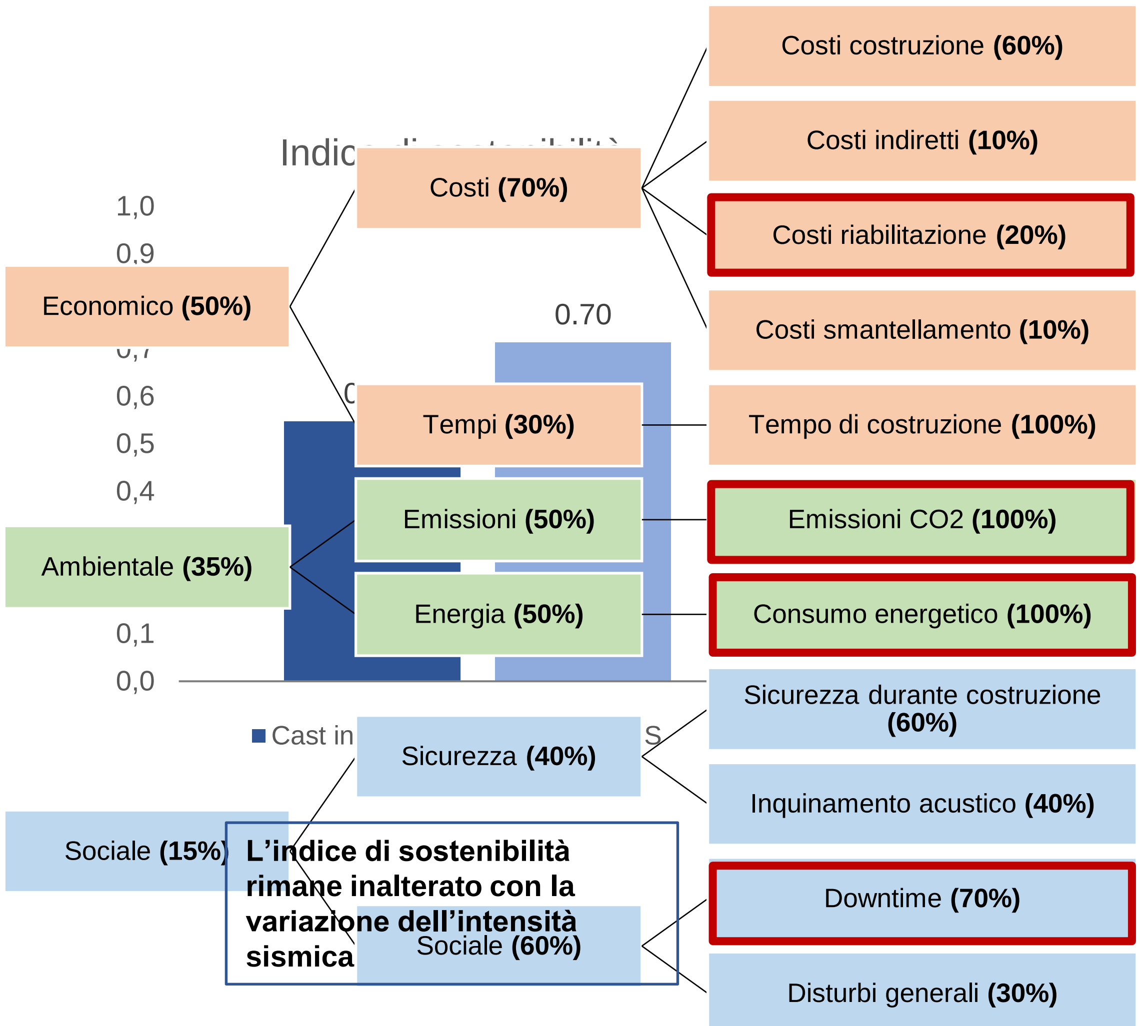
Numero di giorni di cantiere

Caso studio: bassa sismicità

SITO:

Salerno

PGA=0.15g



L'indice di sostenibilità rimane inalterato con la variazione dell'intensità sismica

Conclusioni e sviluppi futuri

- La soluzione innovativa presenta un maggiore indice di sostenibilità grazie alle caratteristiche della prefabbricazione (maggiore **velocità di realizzazione**, minori **costi indiretti**, maggiore **sicurezza in cantiere**) e del basso danneggiamento (minori **perdite economiche** legate al sisma, **downtime** ridotto).

- Dal punto di vista ambientale, con lo sviluppo di edifici a **basso fabbisogno energetico** i benefici in termini di riduzioni di emissioni di CO_2 ed energia consumata per la **fase di riabilitazione** assumono importanza, in favore alla soluzione a basso danneggiamento.

Sviluppi futuri

- Migliorare l'affidabilità dei dati utilizzati tramite il coinvolgimento di diverse **figure professionali**

- Implementare la procedura di sostenibilità per la valutazione di soluzioni in diverso **materiale**

- Valutare tramite il metodo delineato la sostenibilità degli **elementi non strutturali a basso danneggiamento** in confronto a quelli **tradizionali**

Grazie per l'attenzione!