



Rete dei Laboratori Universitari
di Ingegneria Sismica e Strutturale



6 / 13
OTTOBRE
2024

#settimanadiPC

SCUOLA DI INGEGNERIA STRUTTURALE – RELUIS

Bologna, 9-11 ottobre 2024

**Life Cycle Thinking e indici prestazionali integrati per la concezione e
valutazione degli interventi su edifici esistenti**

Costantino Menna, Chiara Passoni

Outline

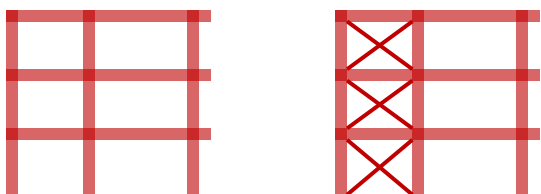
1. Introduzione al problema
2. Life Cycle Thinking
3. Strumenti disponibili per una progettazione sostenibile
4. Framework di progettazione basato su LCT
5. Indici prestazionali integrati ed esempi
6. Conclusioni

1. Introduzione al problema

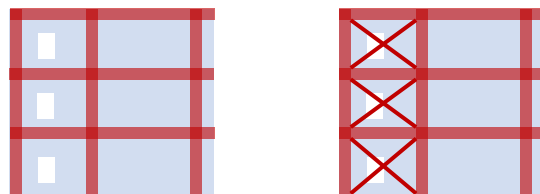
IMPATTI



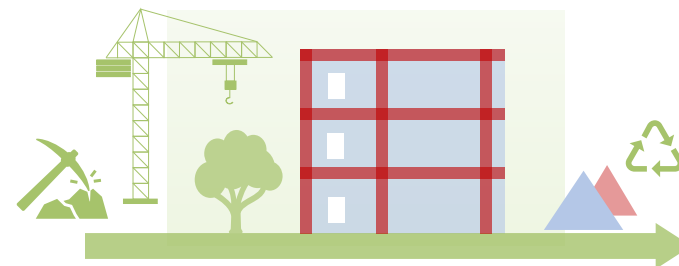
CONFINI



STRUTTURA
INTERVENTI STRUTTURALI

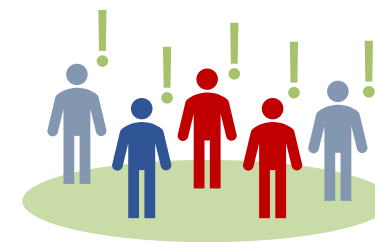
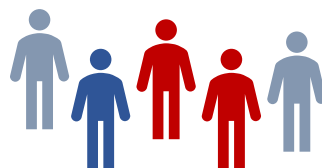


EDIFICIO NEL SUO INSIEME
INTERVENTI COMBINATI



EDIFICI NEL SISTEMA COSTRUITO
INTERVENTI SOSTENIBILI

INGEGNERI
STRUTTURISTI



1. Introduzione al problema



50%
**RAW MATERIAL
CONSUMPTION**



35%
**WASTE
PRODUCTION**

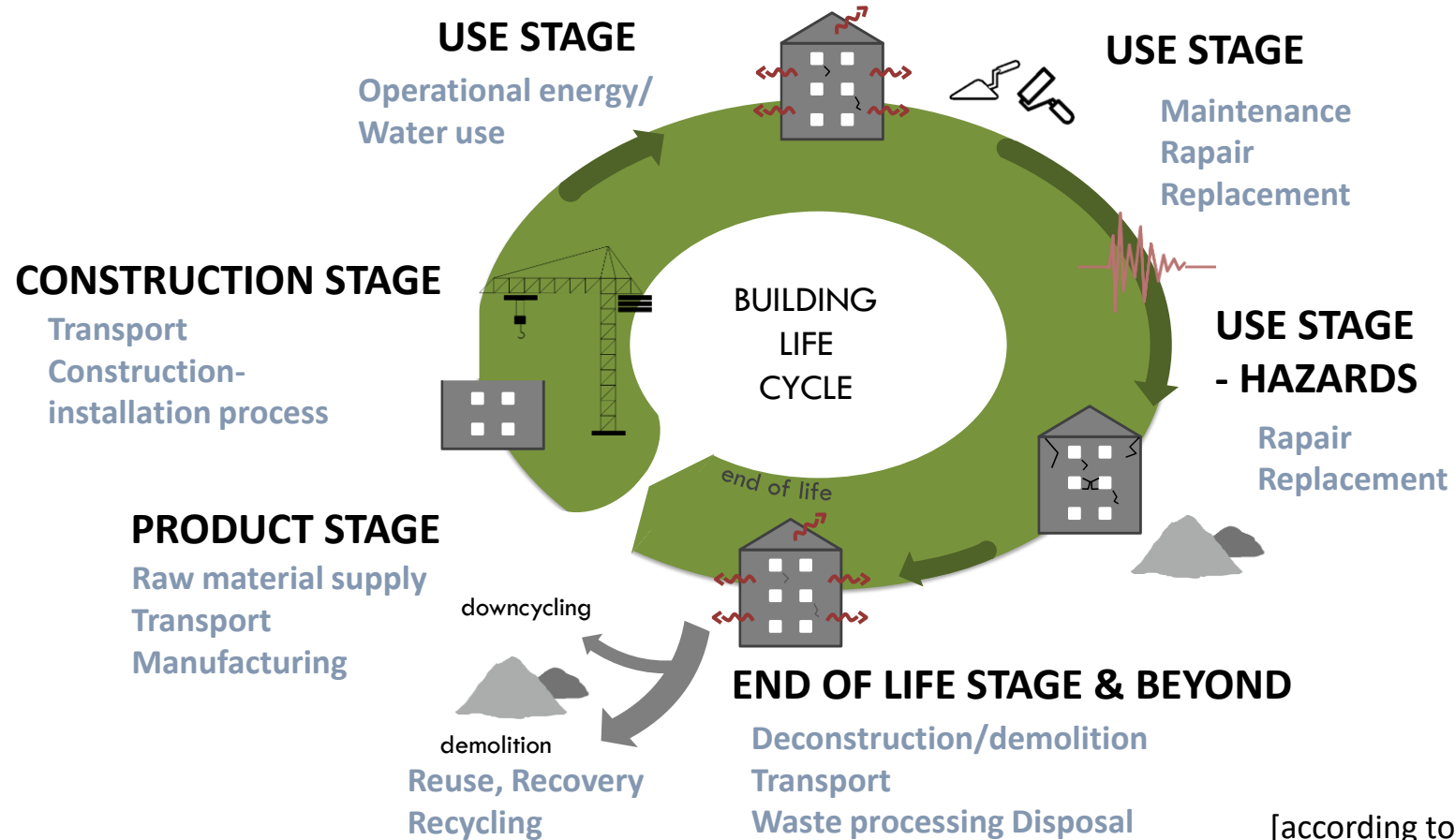


35%
**ENERGY
CONSUMPTION**



35%
**GHG
EMISSIONS**

2. Life Cycle Thinking (LCT)

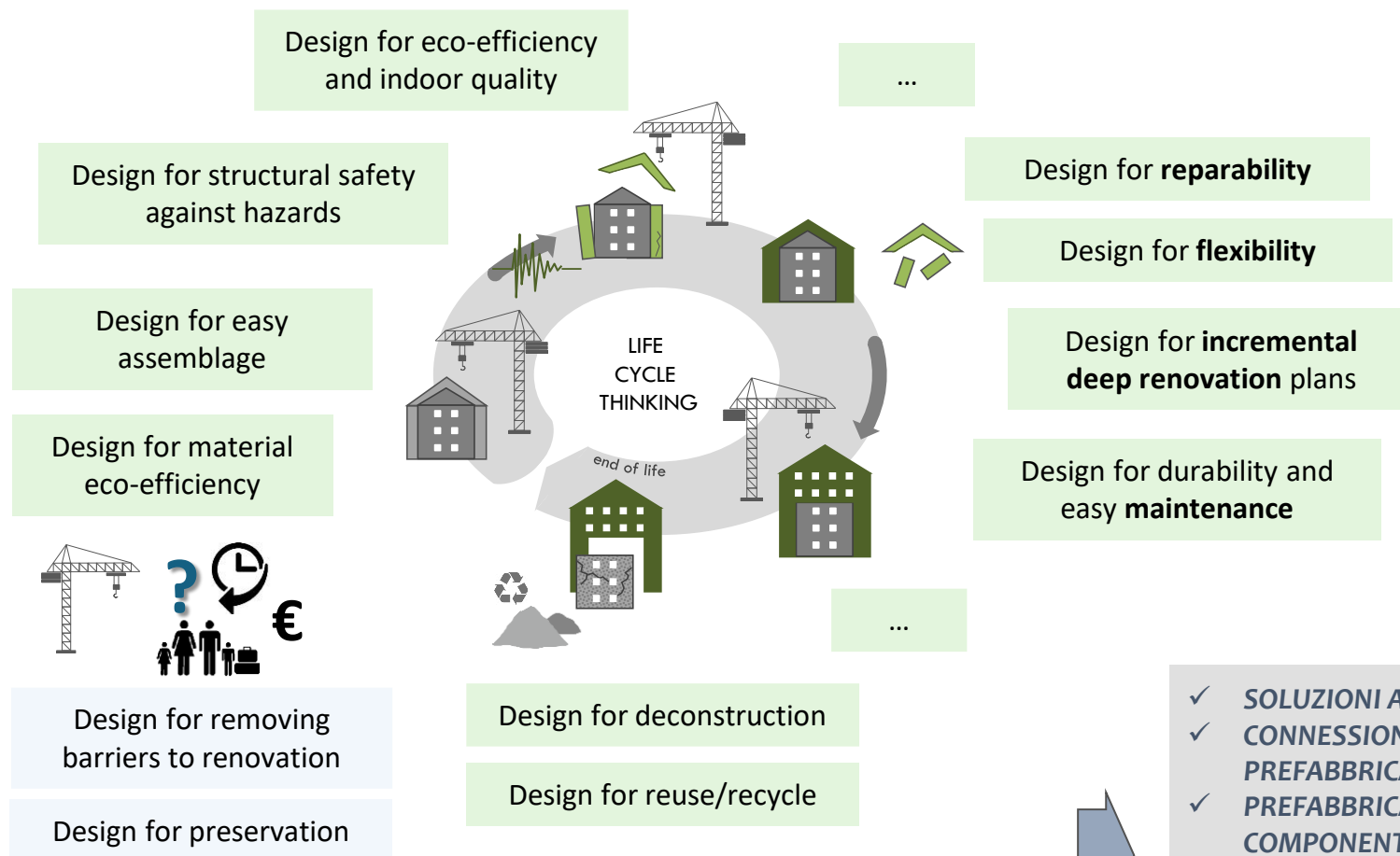


[according to UNI EN 15978]

2. Life Cycle Thinking (LCT)

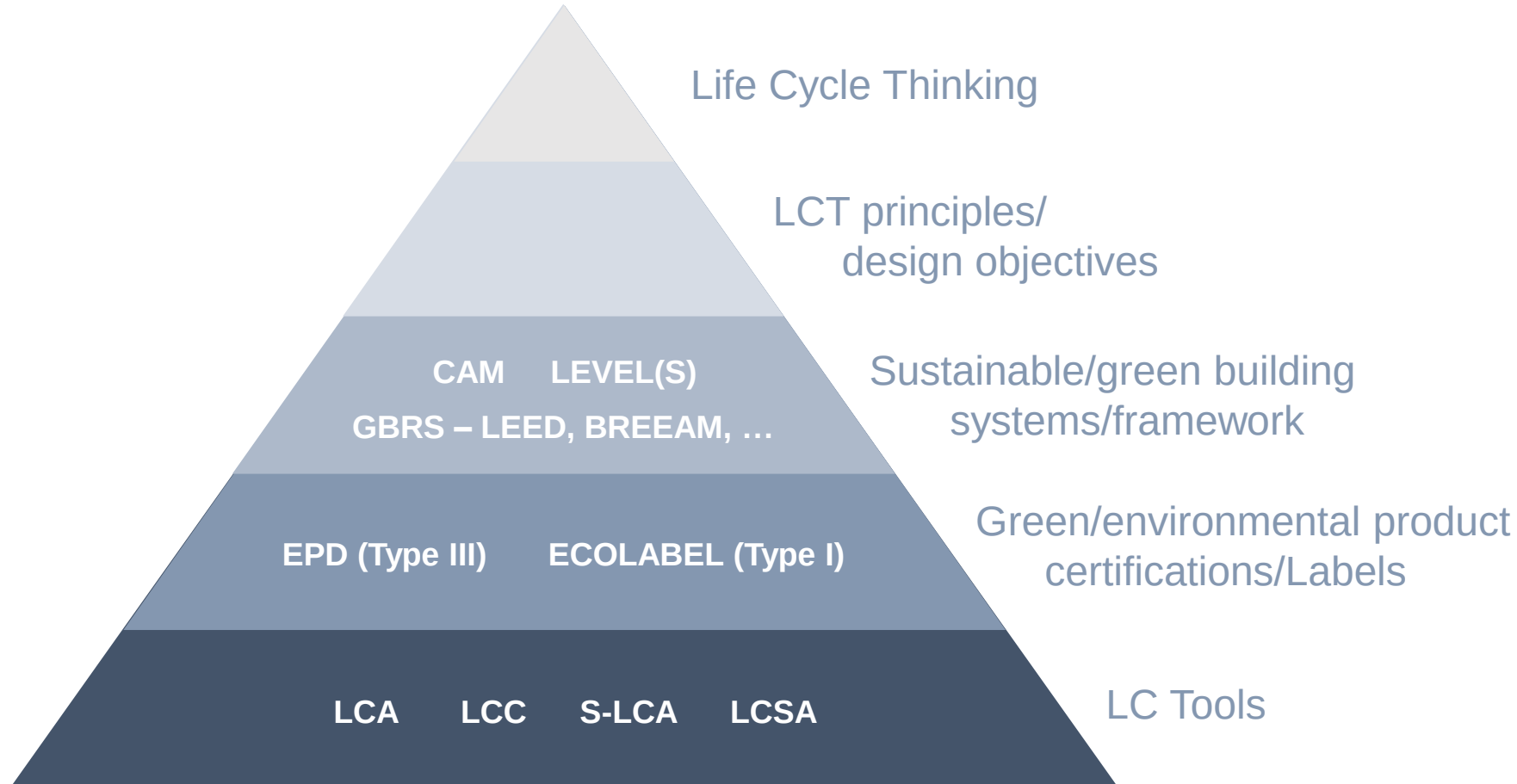
Life Cycle Structural Engineering è la disciplina che declina i principi del *Life Cycle Thinking* in ambito strutturale.

Adottando tale approccio è possibile concepire interventi di retrofit che consentano di massimizzare molteplici prestazioni minimizzando al tempo stesso gli impatti lungo l'intero ciclo di vita dell'edificio adottando nuovi criteri progettuali di sostenibilità.

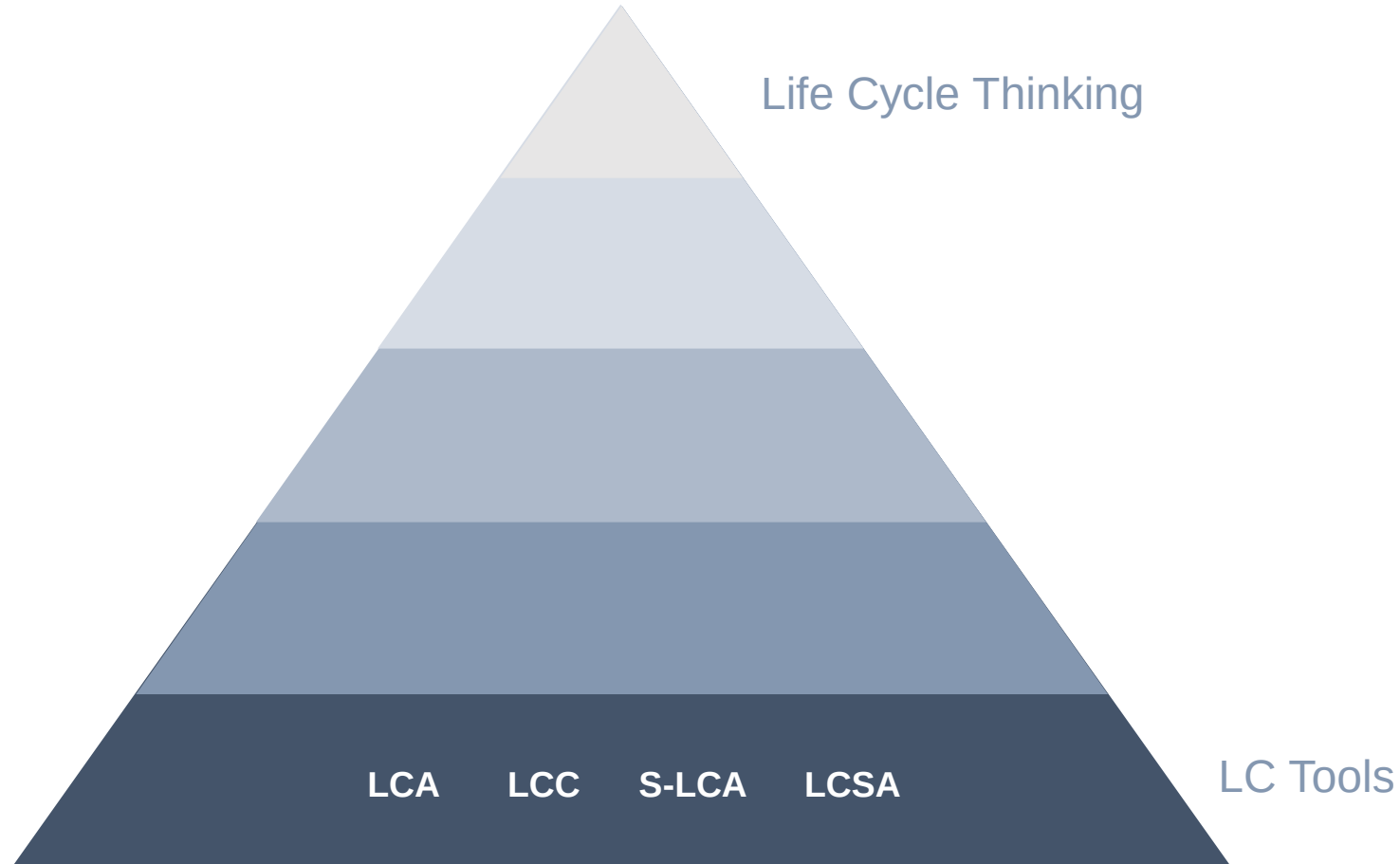


- ✓ SOLUZIONI A SECCO
- ✓ CONNESSIONI PREFABBRICATE
- ✓ PREFABBRICAZIONE DEI COMPONENTI
- ✓ MATERIE RICICLATE/ECOSOSTENIBILI
- ✓ ELEMENTI RIUTILIZZABILI
- ✓ ...

3. Strumenti disponibili per una progettazione sostenibile



3. Strumenti disponibili per una progettazione sostenibile



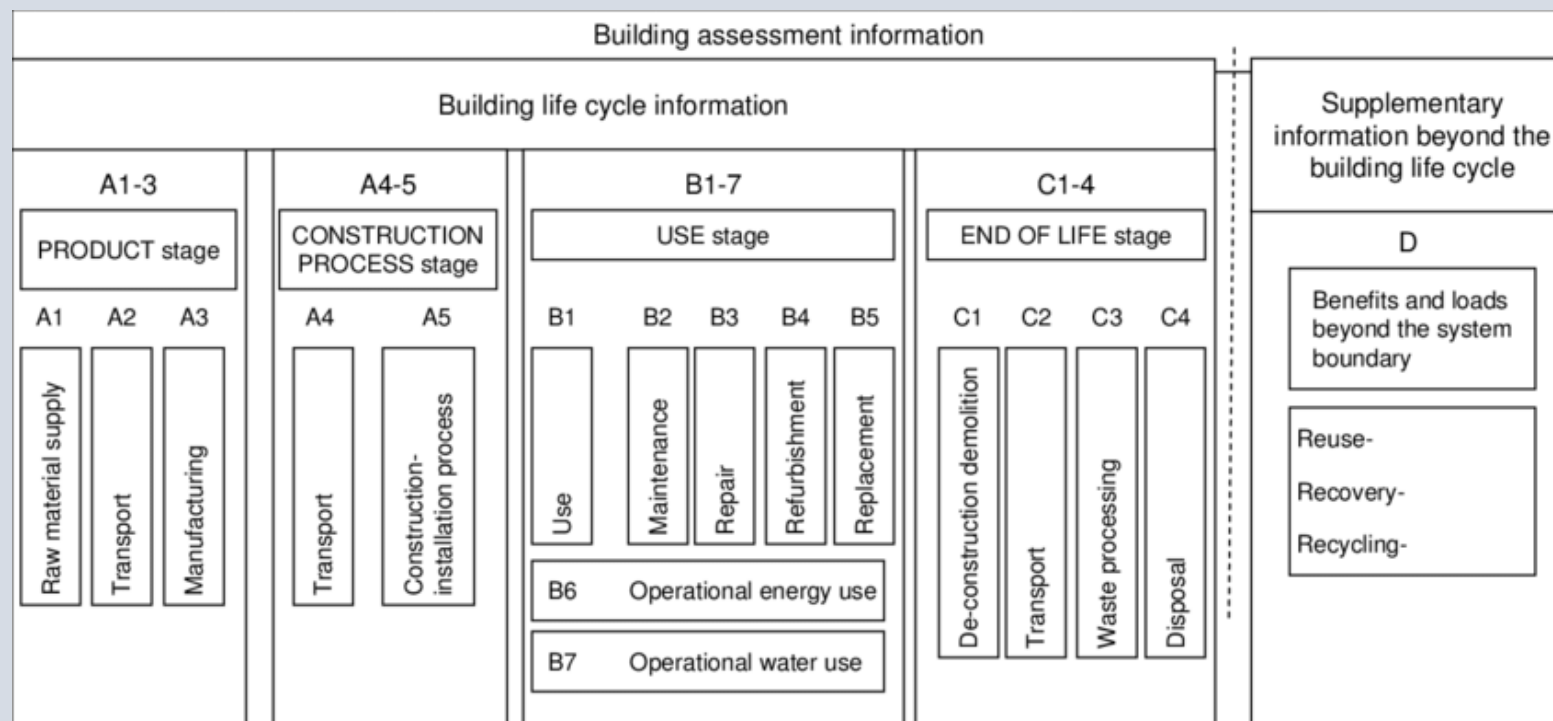
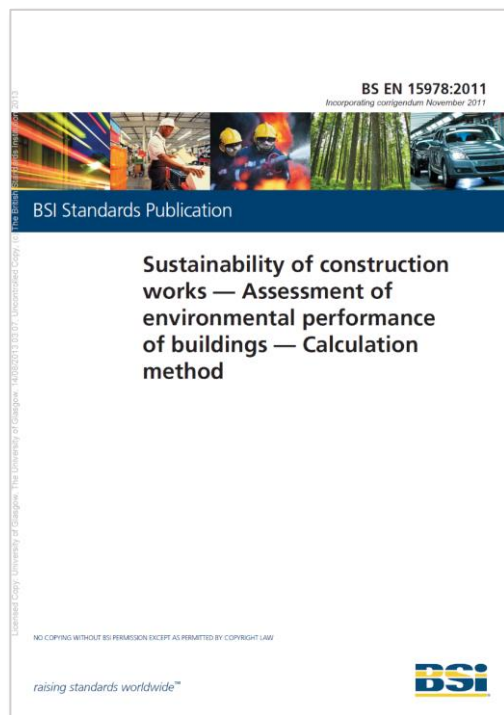
Life cycle tools misurano, monitorano e comunicano gli impatti dei prodotti, sia sociali che ambientali, consentendo di identificare più facilmente i prodotti con le migliori prestazioni

[UNEP/SETAC, 2012]

metriche

3. Strumenti disponibili per una progettazione sostenibile

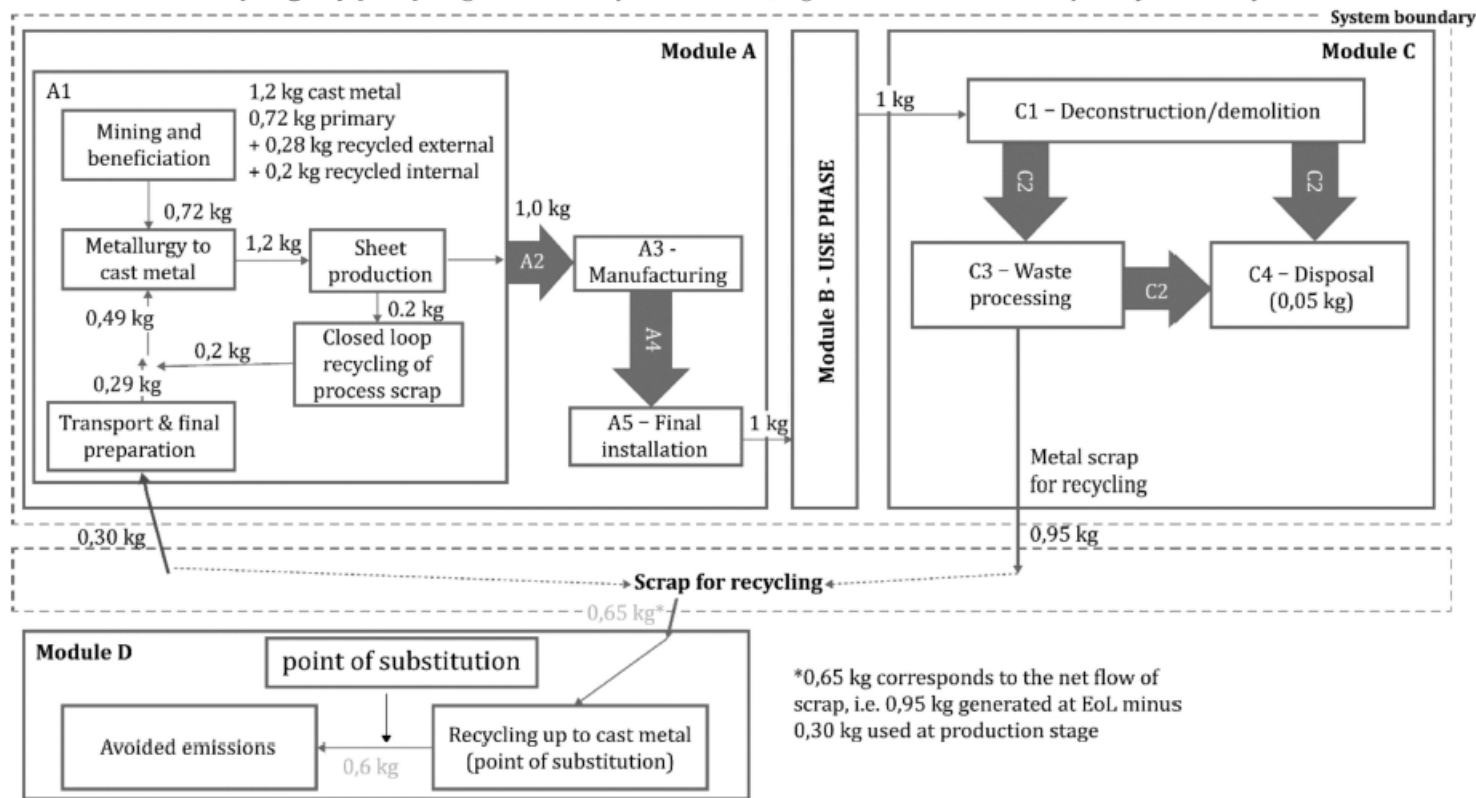
Fasi del ciclo di vita



[EN 15978, 2011]

3. Strumenti disponibili per una progettazione sostenibile

Overview Case 1 Recycling only (Steel) - 1 kg of metal sheet produced from 1,2kg of cast metal made of 60% primary & 40% recycled



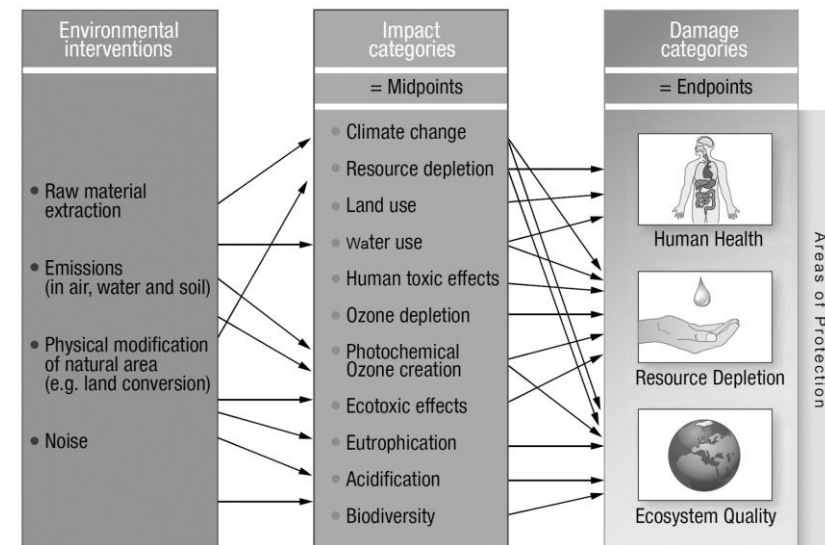
NOTE 1 Data are example only and not intended as default data.

NOTE 2 Reported recycled content percentage for cast metal includes process scrap recycled internally since this process scrap is produced downstream the casting process and is not internal scrap of the casting process.

Figure F.2 — Illustrative example of a flow diagram for the recycling case of a metal sheet (Case 1 - steel)

[prEN 17662, 2023]

Figure 5 – Life cycle impact assessment midpoint-damage framework

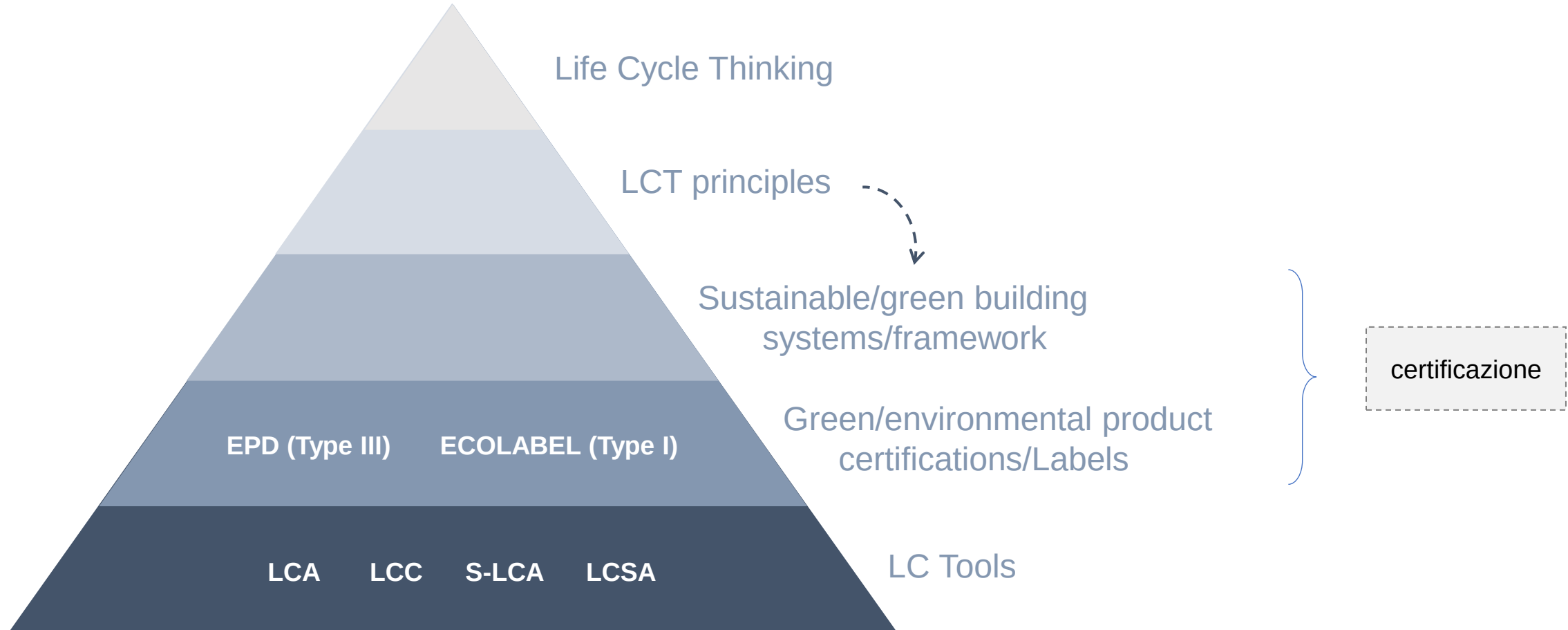


Source: Based on Jolliet O, Müller-Wenk R, Bare J, Brent A, Goedkoop M, Heijungs R, Itsubo N, Peña C, Pennington D, Potting J, Rebitzer G, Stewart M, Udo de Haes H, Weidema B. 2004. The LCIA midpoint-damage framework of the UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. Int J LCA. 9(6):394–404.

[UNEP/SETAC, 2012]

1. Mancanza di dati affidabili sugli impatti
2. Necessità di nuove competenze
3. Procedure lunghe
4. Molteplicità di dati in input

3. Strumenti disponibili per una progettazione sostenibile



3. Strumenti disponibili per una progettazione sostenibile



ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

MERCHANT BARS ITALIAN PLANTS AVERAGE

 **ACCIAIERIE BELTRAME S.P.A.**
AFV BELTRAME GROUP



Registration N°	Registration date	Valid until	Reference year
EPDITALY0018	2019-10-20	2024-10-19	2018
Revision			
v.1			
CPC Code			
EPD Italy reference			
41	AFVavgIT		

 **BELTRAME GROUP**

 **MERCHANT BARS**

AFV BELTRAME ITALIAN PLANTS

GWP Global warming potential
ODP Depletion potential of the stratospheric ozone layer
AP Acidification potential of land and water
EP Eutrophication potential
POCP Formation potential of tropospheric ozone photochemical oxidants
ADPE Abiotic depletion potential for non-fossil resources
ADPF Abiotic depletion potential for fossil resources

SCIENTIFIC NOTATION
Reading guide
GWP: $4.7\text{E}+02$ is equal to
 $4.7 \times 10^{-2} = 4.7 \times 100 = 470$

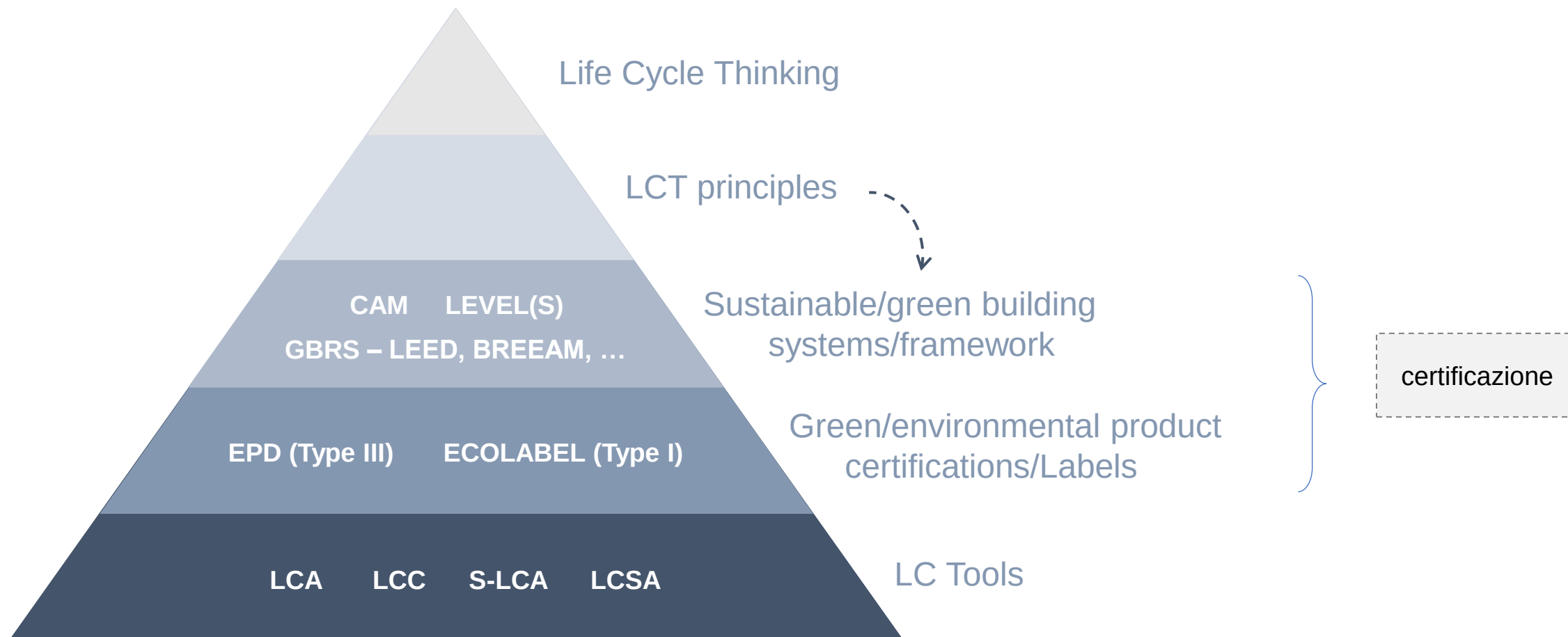
ENVIRONMENTAL IMPACTS PER DECLARED UNIT

POTENTIAL ENVIRONMENTAL IMPACTS	UNITS / D.U.	UPSTREAM PROCESS	CORE PROCESS		DOWNSTREAM PROCESS	TOTAL*
		A1 	A2 	A3 	A4 	
GWP	kg CO ₂ eq	4.7E+02	2.6E+01	2.3E+02	5.6E+01	7.8E+02
ODP	kg CFC-11 eq	5.5E-05	3.8E-06	7.7E-06	8.4E-06	7.5E-05
AP	kg SO ₂ eq	1.6E+00	1.7E-01	3.7E-01	2.1E-01	2.4E+00
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq	2.2E-01	3.0E-02	8.0E-02	4.5E-02	3.7E-01
POCP	kg C ₂ H ₄ eq	7.3E-02	4.4E-03	5.8E-02	4.5E-03	1.4E-01
ADPE	kg Sb eq	4.9E-05	6.2E-08	1.5E-04	6.9E-08	2.0E-04
ADPF	MJ	1.0E+04	3.5E+02	9.4E+02	7.3E+02	1.2E+04

*Totals may not correspond to the sum of the individual contributes due to approximations.

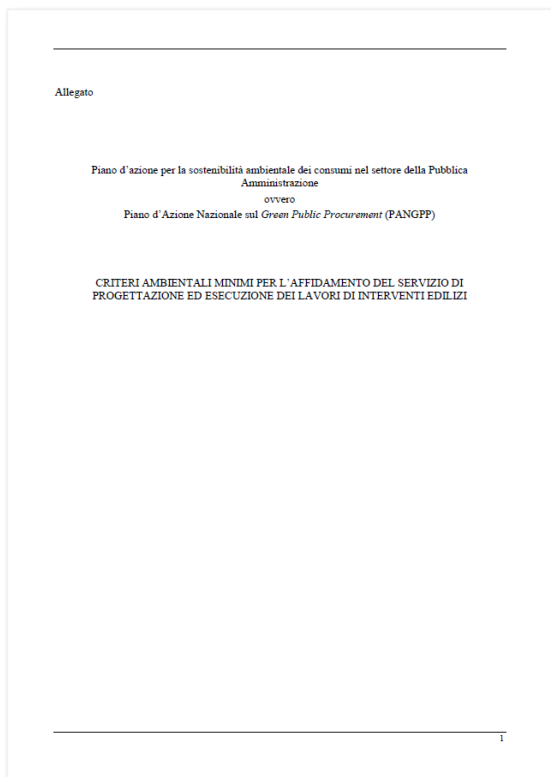


3. Strumenti disponibili per una progettazione sostenibile



3. Strumenti disponibili per una progettazione sostenibile

1. CRITERI AMBIENTALI MINIMI (CAM)



[Allegato PAN GPP al DM 23 giugno
2022 n.256 – (CAM edilizia)]

1	PREMESSA.....	4
1.1	AMBITO DI APPLICAZIONE DEI CAM ED ESCLUSIONI	4
1.2	APPROCCIO DEI CRITERI AMBIENTALI MINIMI PER IL CONSEGUIMENTO DEGLI OBIETTIVI AMBIENTALI	4
1.3	INDICAZIONI GENERALI PER LA STAZIONE APPALTANTE	10
1.3.1	Analisi del contesto, e dei fabbisogni	10
1.3.2	Competenze dei progettisti e della direzione lavori	11
1.3.3	Applicazione dei CAM	11
1.3.4	Verifica dei criteri ambientali e mezzi di prova	12
2	CRITERI PER L'AFFIDAMENTO DEL SERVIZIO DI PROGETTAZIONE DI INTERVENTI EDILIZI	15
2.1	SELEZIONE DEI CANDIDATI	15
2.1.1	Capacità tecnica e professionale	15
2.2	CLAUSELE CONTRATTUALI	16
2.2.1	Relazione CAM	16
2.2.2	Specifiche del progetto	17
2.3	SPECIFICHE TECNICHE PROGETTUALI DI LIVELLO TERRITORIALE-URBANISTICO	18
2.3.1	Inserimento naturalistico e paesaggistico	18
2.3.2	Permeabilità della superficie territoriale	18
2.3.3	Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico	19
2.3.4	Riduzione dell'impatto sul sistema idrografico superficiale e sotterraneo	20
2.3.5	Infrastrutturazione primaria	21
2.3.5.1	Raccolta, depurazione e riuso delle acque meteoriche	21
2.3.5.2	Rete di irrigazione delle aree a verde pubblico	21
2.3.5.3	Aree attrezzate per la raccolta differenziata dei rifiuti	21
2.3.5.4	Impianto di illuminazione pubblica	21
2.3.5.5	Sottoservizi per infrastrutture tecnologiche	21
2.3.6	Infrastrutturazione secondaria e mobilità sostenibile	21
2.3.7	Approvvigionamento energetico	22
2.3.8	Rapporto sullo stato dell'ambiente	22
2.3.9	Risparmio idrico	22
2.4	SPECIFICHE TECNICHE PROGETTUALI PER GLI EDIFICI	24
2.4.1	Diagnosi energetica	24
2.4.2	Prestazione energetica	25
2.4.3	Impianti di illuminazione per interni	26
2.4.4	Ispersione e manutenzione degli impianti di riscaldamento e condizionamento	26
2.4.5	Aerazione, ventilazione e qualità dell'aria	26
2.4.6	Benessere termico	27
2.4.7	Illuminazione naturale	27
2.4.8	Dispositivi di ombreggiamento	28
2.4.9	Tenuta all'aria	29
2.4.10	Inquinamento elettromagnetico negli ambienti interni	29
2.4.11	Prestazioni e comfort acustici	30
2.4.12	Radon	30
2.4.13	Piano di manutenzione dell'opera	31
2.4.14	Disassemblaggio e fine vita	31
2.5	SPECIFICHE TECNICHE PER I PRODOTTI DA COSTRUZIONE	33
2.5.1	Emissioni negli ambienti confinati (inquinamento indoor)	34
2.5.2	Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati	35
2.5.3	Prodotti prefabbricati in calcestruzzo, in calcestruzzo aerato autoclavato e in calcestruzzo vibrocompreso	35
2.5.4	Acciaio	35
2.5.5	Laterizi	36
2.5.6	Prodotti legnosi	36

2.5.7	Isolanti termici ed acustici	37
2.5.8	Tramezzature, contropareti perimetrali e controsoffitti	39
2.5.9	Murature in pietrame e miste	39
2.5.10	Pavimenti	39
2.5.10.1	Pavimentazioni dure	39
2.5.10.2	Pavimenti resilienti	40
2.5.11	Serramenti ed oscuranti in PVC	40
2.5.12	Tubazioni in PVC e Polipropilene	41
2.5.13	Pitture e vernici	41
2.6	SPECIFICHE TECNICHE PROGETTUALI RELATIVE AL CANTIERE	42
2.6.1	Prestazioni ambientali del cantiere	42
2.6.2	Demolizione selettiva, recupero e riciclo	43
2.6.3	Conservazione dello strato superficiale del terreno	44
2.6.4	Rinterri e riempimenti	45
2.7	CRITERI PREMIANTI PER L'AFFIDAMENTO DEL SERVIZIO DI PROGETTAZIONE	46
2.7.1	Competenza tecnica dei progettisti	46
2.7.2	Metodologie di ottimizzazione delle soluzioni progettuali per la sostenibilità (LCA e LCC)	46
2.7.3	Progettazione in BIM	47
2.7.4	Valutazione dei rischi non finanziari o ESG (Environment, Social, Governance)	47
3	CRITERI PER L'AFFIDAMENTO DEI LAVORI PER INTERVENTI EDILIZI	48
3.1	CLAUSELE CONTRATTUALI PER LE GARE DI LAVORI PER INTERVENTI EDILIZI	48
3.1.1	Personale di cantiere	48
3.1.2	Macchine operatrici	48
3.1.3	Grassi ed oli lubrificanti per i veicoli utilizzati durante i lavori	48
3.1.3.1	Grassi ed oli lubrificanti: compatibilità con i veicoli di destinazione	49
3.1.3.2	Grassi ed oli biodegradabili	49
3.1.3.3	Grassi ed oli lubrificanti minerali a base rigenerata	51
3.1.3.4	Requisiti degli imballaggi in plastica degli oli lubrificanti (biodegradabili o a base rigenerata)	52
3.2	CRITERI PREMIANTI PER L'AFFIDAMENTO DEI LAVORI	53
3.2.1	Sistemi di gestione ambientale	53
3.2.2	Valutazione dei rischi non finanziari o ESG (Environment, Social, Governance)	53
3.2.3	Prestazioni migliorative dei prodotti da costruzione	54
3.2.4	Metodologie di ottimizzazione delle soluzioni progettuali per la sostenibilità (LCA e LCC)	54
3.2.5	Distanza di trasporto dei prodotti da costruzione	55
3.2.6	Capacità tecnica dei posatori	55
3.2.7	Grassi ed oli lubrificanti per i veicoli utilizzati durante i lavori	56
3.2.7.1	Lubrificanti biodegradabili (diversi dagli oli motore): possesso del marchio Ecolabel (UE) o di altre etichette ambientali conformi alla UNI EN ISO 14024	56
3.2.7.2	Grassi ed oli lubrificanti minerali: contenuto di base rigenerata	56
3.2.7.3	Requisiti degli imballaggi degli oli lubrificanti (biodegradabili o a base rigenerata)	57
3.2.8	Emissioni indoor	58
3.2.9	Utilizzo di materiali e prodotti da costruzione prodotti in impianti appartenenti a Paesi ricadenti in ambito EU/ETS (Emission Trading System)	59
3.2.10	Etichettature ambientali	60
4	CRITERI PER L'AFFIDAMENTO CONGIUNTO DI PROGETTAZIONE E LAVORI PER INTERVENTI EDILIZI	61
4.1	SPECIFICHE TECNICHE PROGETTUALI	61
4.2	CLAUSELE CONTRATTUALI	61
4.3	CRITERI PREMIANTI	61
4.3.1	Metodologie di ottimizzazione delle soluzioni progettuali per la sostenibilità (LCA e LCC)	61
4.3.2	Valutazione dei rischi non finanziari o ESG (Environment, Social, Governance)	61
4.3.3	Prestazione energetica migliorativa	62
4.3.4	Materiali Rinnovabili	62
4.3.5	Selezione di pavimentazioni in gres porcellanato	62
4.3.6	Sistema di automazione, controllo e monitoraggio dell'edificio	63
4.3.7	Protocollo di misura e verifica dei risparmi energetici	63
4.3.8	Fine vita degli impianti	64

3. Strumenti disponibili per una progettazione sostenibile

2. SISTEMI DI CERTIFICAZIONE (GBRS)



LEED
Residential –
Multifamily
(2020)

LEED v4.1 Residential: Multifamily Scorecard

INTEGRATIVE PROCESS	1
Credit Integrative Process	1
LOCATION AND TRANSPORTATION	15
Credit LEED for Neighborhood Development Location	15
Credit Sensitive Land Protection	2
Credit High-Priority Site	1
Credit Surrounding Density and Diverse Uses	5
Credit Access to Quality Transit	3
Credit Bicycle Facilities	1
Credit Reduced Parking Footprint	1
Credit Electric Vehicles	2
SUSTAINABLE SITES	10
Prerequisite Construction Activity Pollution Prevention	P
Credit Site Assessment	1
Credit Protect or Restore Habitat	1
Credit Open Space	1
Credit Rainwater Management	3
Credit Heat Island Reduction	2
Credit Light Pollution Reduction	1
WATER EFFICIENCY	12
Prerequisite Water Use Reduction	P
Prerequisite Building-Level Water Metering	P
Credit Water Use Reduction	10
Credit Water Metering	2
ENERGY AND ATMOSPHERE	34
Prerequisite Fundamental Systems Testing and Verification	P
Prerequisite Minimum Energy Performance	P
Prerequisite Energy Metering	P
Prerequisite Fundamental Refrigerant Management	P
Credit Enhanced Commissioning	6
Credit Optimize Energy Performance	18
Credit Whole Building Energy Monitoring and Reporting	1
Credit Grid Harmonization	2
Credit Renewable Energy	5
Credit Enhanced Refrigerant Management	1
Credit Efficient Hot Water Distribution Systems	1
MATERIALS AND RESOURCES	13
Prerequisite Storage and Collection of Recyclables	P
Prerequisite Construction and Demolition Waste Management Planning	P
Credit Building Life-Cycle Impact Reduction	5
Credit Environmentally Preferable Products	6
Credit Construction and Demolition Waste Management	2

INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY	16
Prerequisite Minimum Indoor Air Quality Performance	P
Prerequisite Combustion Venting	P
Prerequisite Garage Pollutant Protection	P
Prerequisite Radon-Resistant Construction	P
Prerequisite Interior Moisture Management	P
Prerequisite Environmental Tobacco Smoke Control	P
Prerequisite Compartmentalization	P
Credit Enhanced Compartmentalization	1
Credit No Environmental Tobacco Smoke	1
Credit Enhanced Indoor Air Quality Strategies	4
Credit Low-Emitting Materials	4
Credit Indoor Air Quality Assessment	2
Credit Thermal Comfort	1
Credit Daylight and Quality Views	1
Credit Acoustic Performance	2
INNOVATION	6
Credit Innovation	5
Credit LEED Accredited Professional	1
REGIONAL PRIORITY	4
Credit Regional Priority	4
TOTAL POSSIBLE POINTS	110

P= PREREQUISITE
C= CREDITS

ΣC = TOTAL POINTS



3. Strumenti disponibili per una progettazione sostenibile

3. LEVEL(S) FRAMEWORK



Level(s) is the common EU framework of core sustainability indicators for buildings.

Macro-objective 1:
Greenhouse gas and air pollutant emissions along a buildings life cycle



Macro-objective 2:
Resource efficient and circular material life cycles



Macro-objective 3:
Efficient use of water resources



Macro-objective 4:
healthy and comfortable spaces



Macro-objective 5:
Adaptation and resilience to climate change



Macro-objective 6:
Optimised life cycle cost and value



Figure 2. The 6 macro-objectives of Level(s)

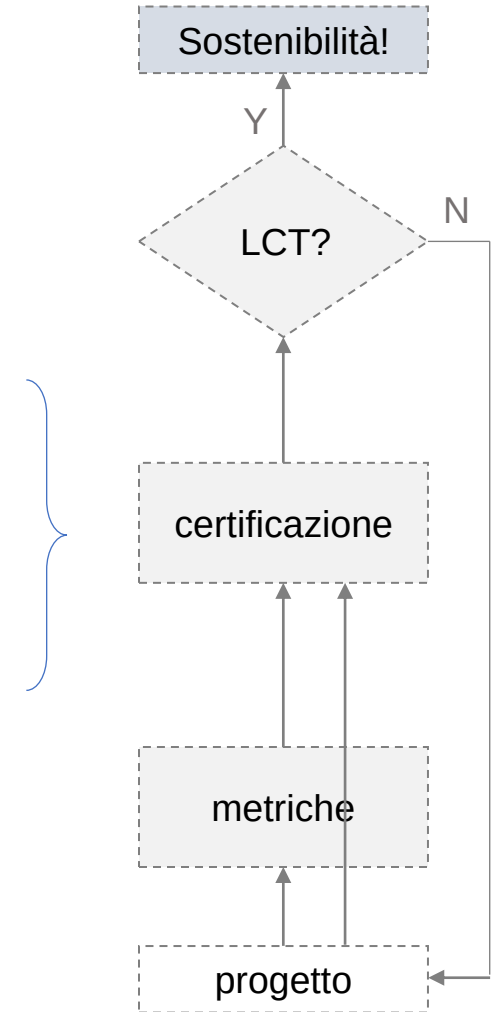
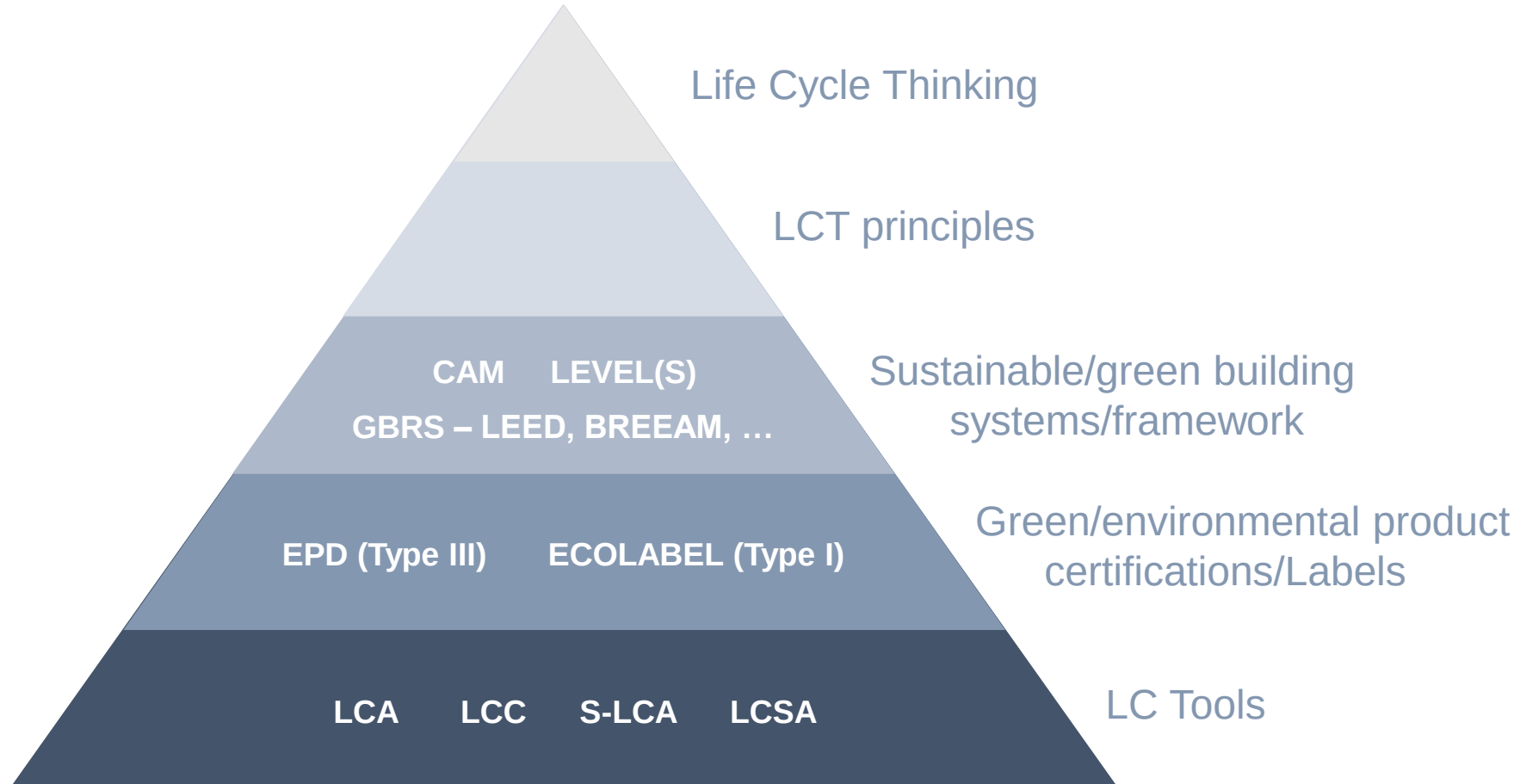
3. Strumenti disponibili per una progettazione sostenibile

3. LEVEL(S) FRAMEWORK

Table 1. Overview of the macro-objectives and their corresponding indicators

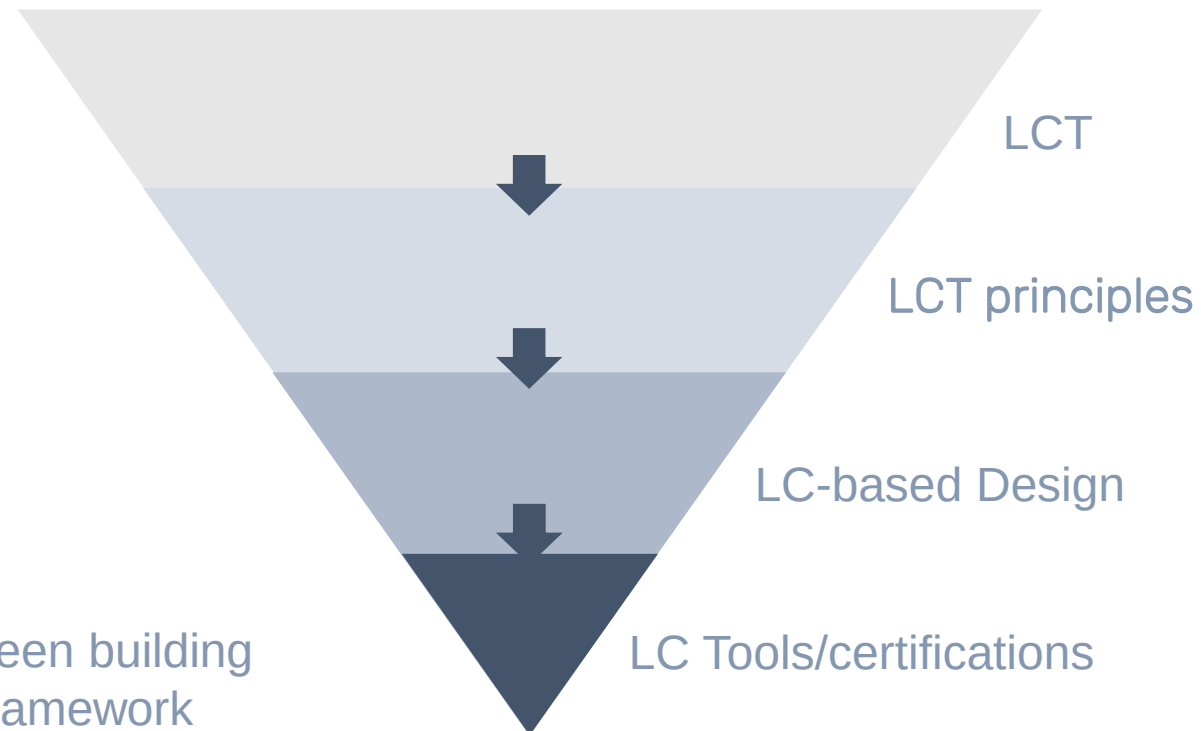
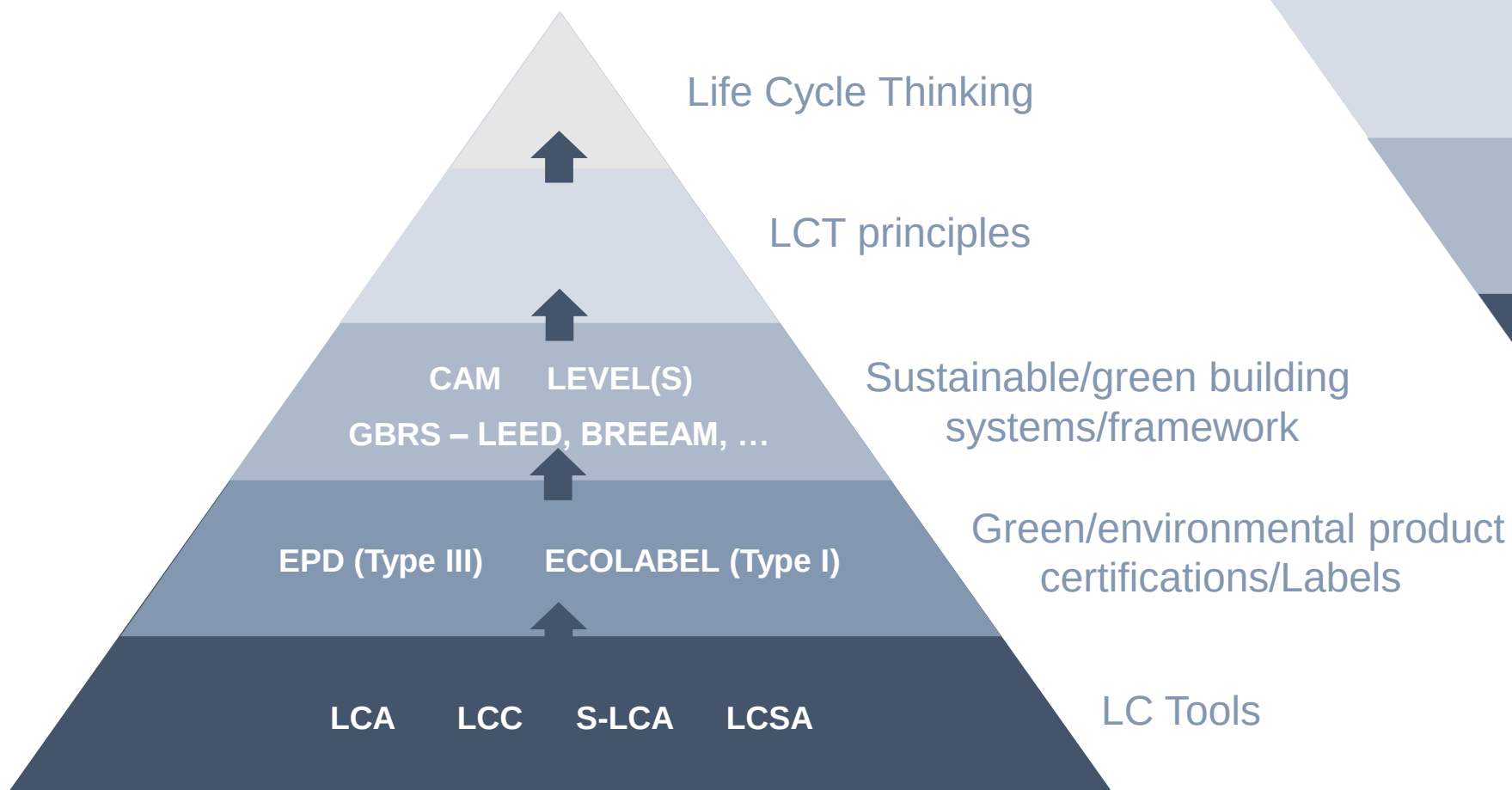
Macro-objective	Indicator	Unit of measurement	Summary information
1: Greenhouse gas and air pollutant emissions along a building's life cycle	1.1 Use stage energy performance	kilowatt hours per square metre per year (kWh/m ² /yr)	This indicator measures the primary energy demand of a building in the use stage. In a life cycle approach, this energy demand is also referred to as 'operational energy consumption'. It takes into account the benefits of generating low carbon or renewable energy.
	1.2 Life cycle Global Warming Potential	kg CO ₂ equivalents per square metre per year (kg CO ₂ eq./m ² /yr)	This indicator measures the greenhouse gas (GHG) emissions associated with the building at different stages in its life cycle. It therefore measures the building's contribution to emissions that cause the earth's global warming or climate change. This is sometimes also referred to as a 'carbon footprint assessment' or 'whole life carbon measurement'.
2. Resource efficient and circular material life cycles	2.1 Bill of quantities, materials and lifespans	Unit quantities, mass and years	This indicator measures the quantities and mass of construction products and materials necessary to complete defined parts of the building. It also allows for the estimation of the lifespans of defined parts of the building.
	2.2 Construction & demolition waste and materials	kg of waste and materials per m ² total useful floor area	This indicator measures the overall quantity of waste and materials generated by construction, renovation and demolition activities. This is then used to calculate the diversion rate to reuse and recycling, in line with the waste hierarchy.
	2.3 Design for adaptability and renovation	Adaptability score	The indicator assesses the extent to which the design of a building could facilitate future adaptation to changing occupier needs and property market conditions. It therefore provides a proxy for the capacity of a building to continue to fulfil its function and for the possibility to extend its useful service life into the future.
	2.4 Design for deconstruction, reuse and recycling	Deconstruction score	The indicator assesses the extent to which the design of a building could facilitate the future recovery of materials for reuse or recycling. This includes assessment of the ease of disassembly for a minimum scope of building parts, followed by the ease of reuse and recycling for these parts and their associated sub-assemblies and materials.
3. Efficient use of water resources	3.1 Use stage water consumption	m ³ /yr of water per occupant	The indicator measures the total consumption of water for an average building occupant, with the option to split this value into potable and non-potable water that is supplied. It also supports the identification of water scarce locations.
1-3. Full LCA	n/a	10 impact categories	-Climate change; Ozone depletion; Acidification; Eutrophication aquatic freshwater; Eutrophication aquatic marine; Eutrophication terrestrial; Photochemical ozone formation; Depletion of abiotic resources - minerals and metals; Depletion of abiotic resources – fossil fuels; Water use
	4.1 Indoor air quality	Parameters for ventilation, CO ₂ and humidity	The indicator measures a combination of indoor air conditions and target air pollutants:

3. Strumenti disponibili per una progettazione sostenibile

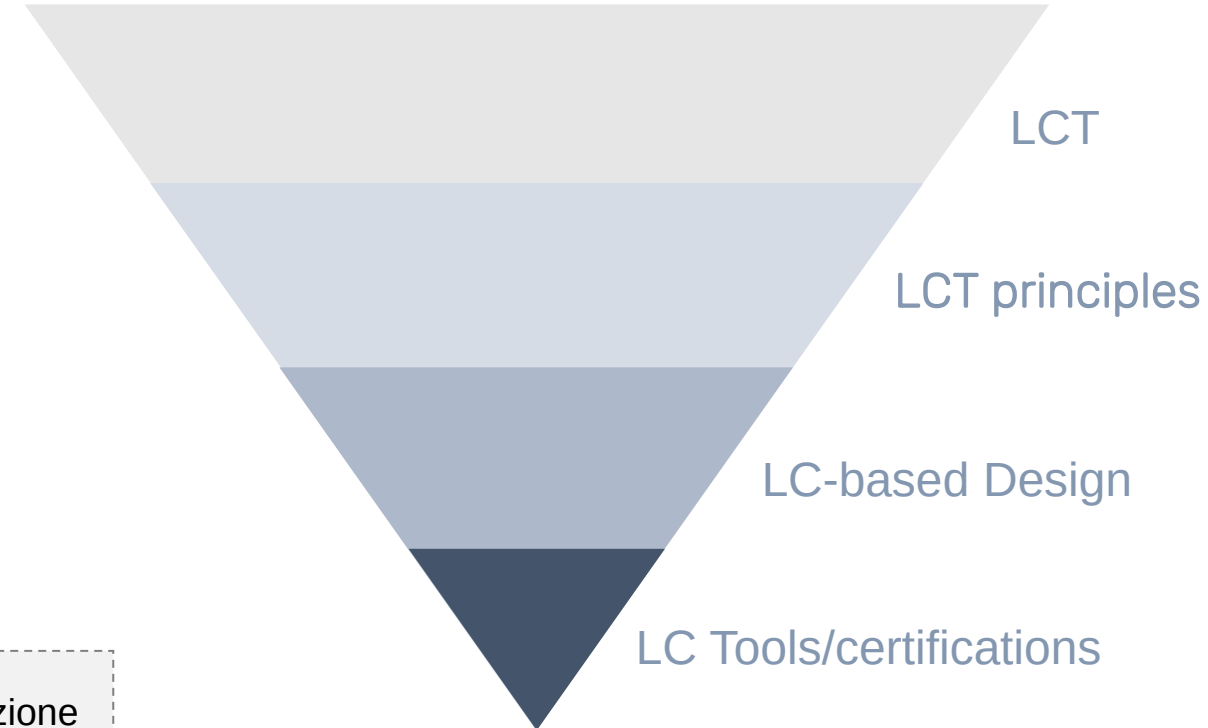
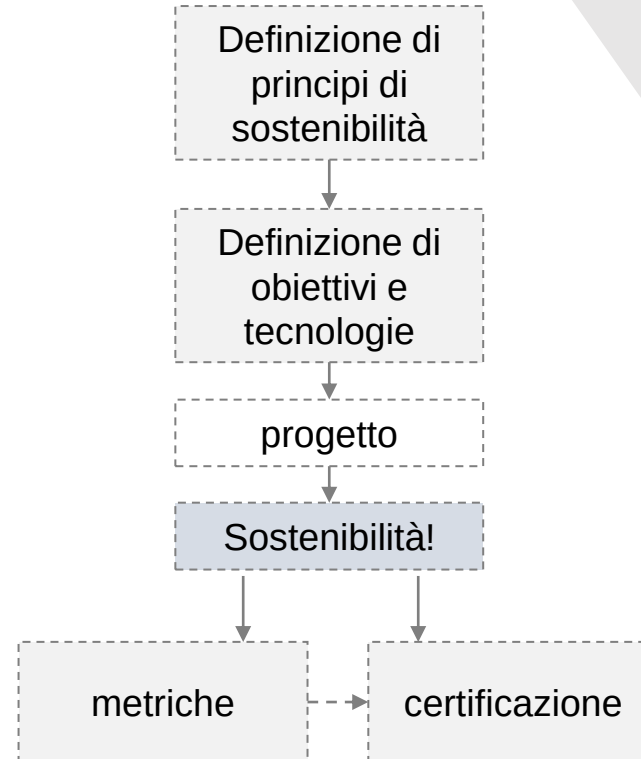


4. Framework di progettazione basato su LCT

Invertiamo il processo

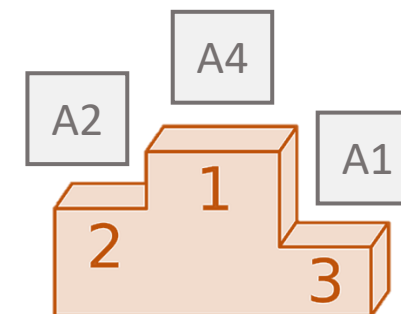
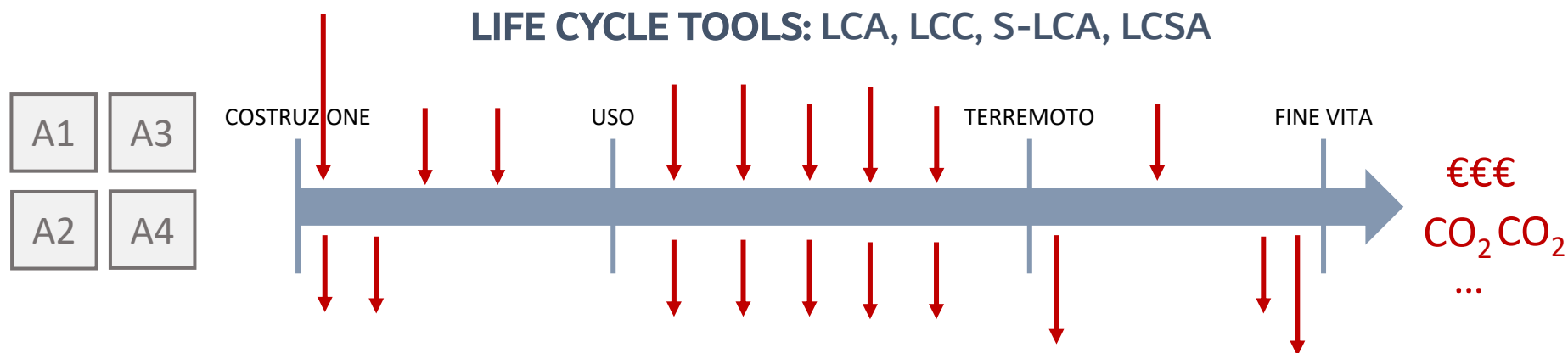


4. Framework di progettazione basato su LCT

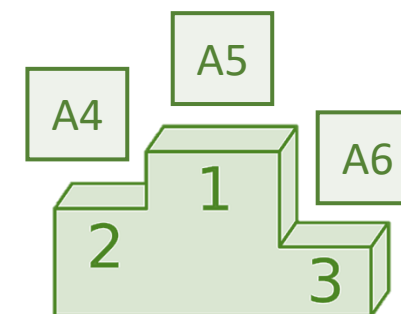
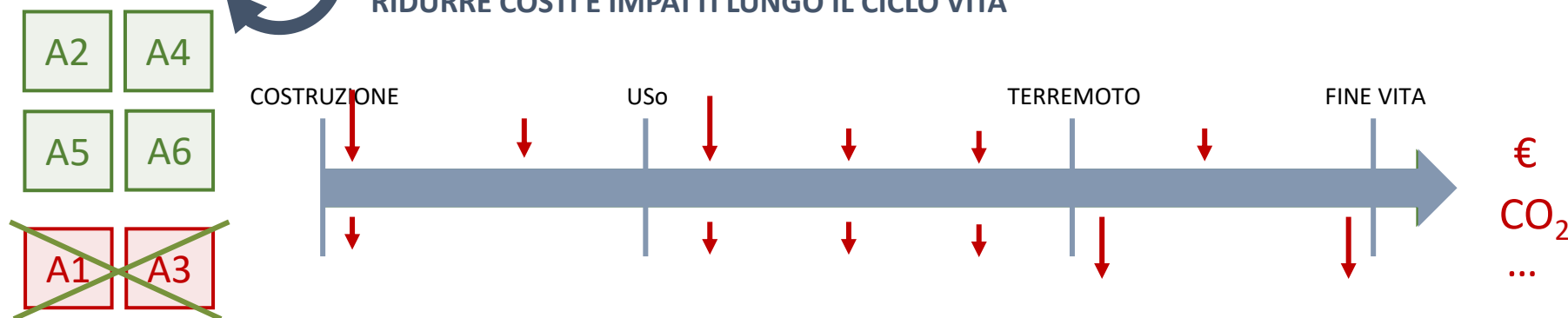


3. Strumenti disponibili per una progettazione sostenibile

LIFE CYCLE TOOLS: LCA, LCC, S-LCA, LCSA

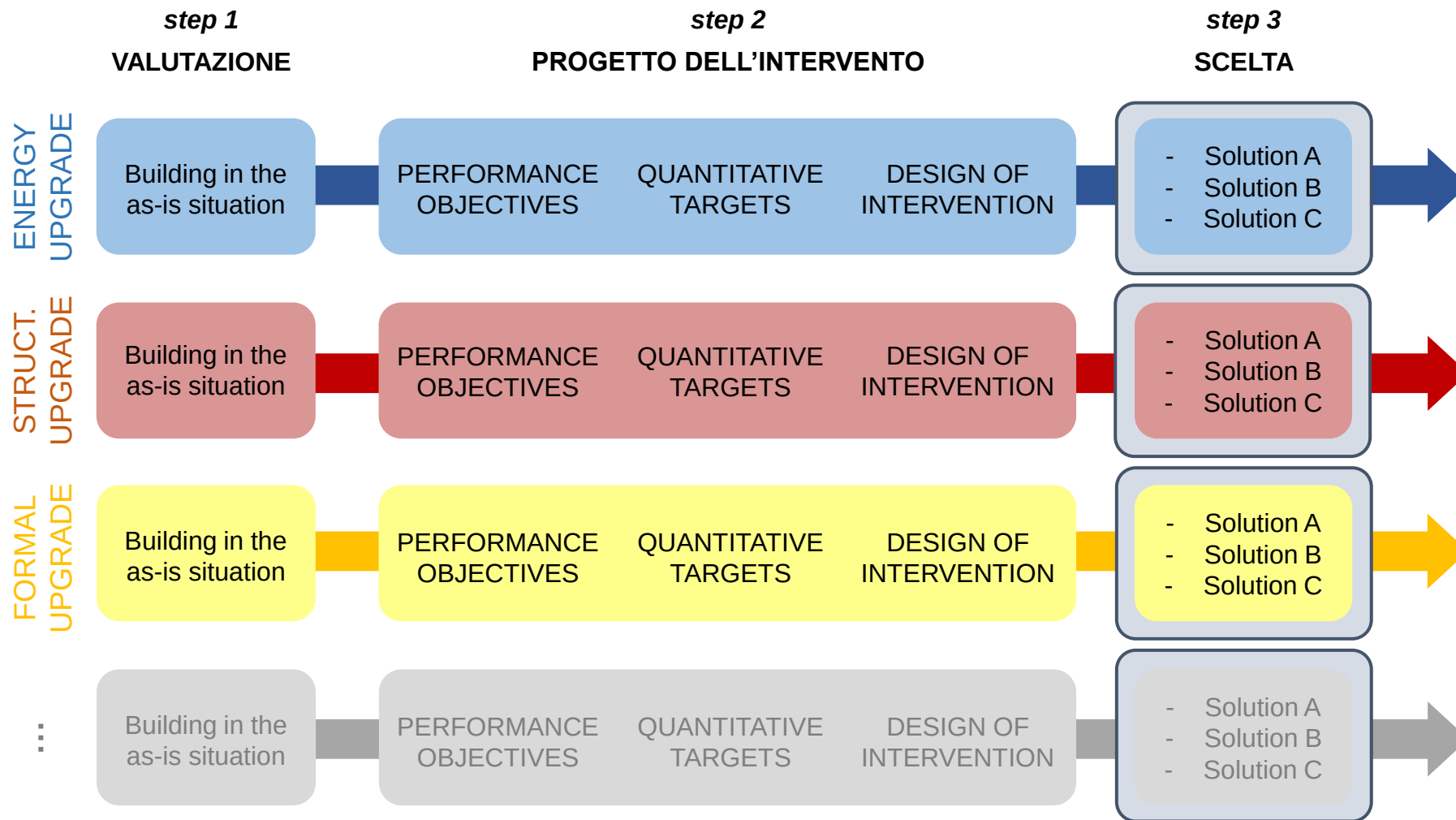


**OBIETTIVI E SCELTE TECNICHE BASATE SU UN
APPROCCIO LCT PRINCIPLES FINALIZZATE A
RIDURRE COSTI E IMPATTI LUNGO IL CICLO VITA**



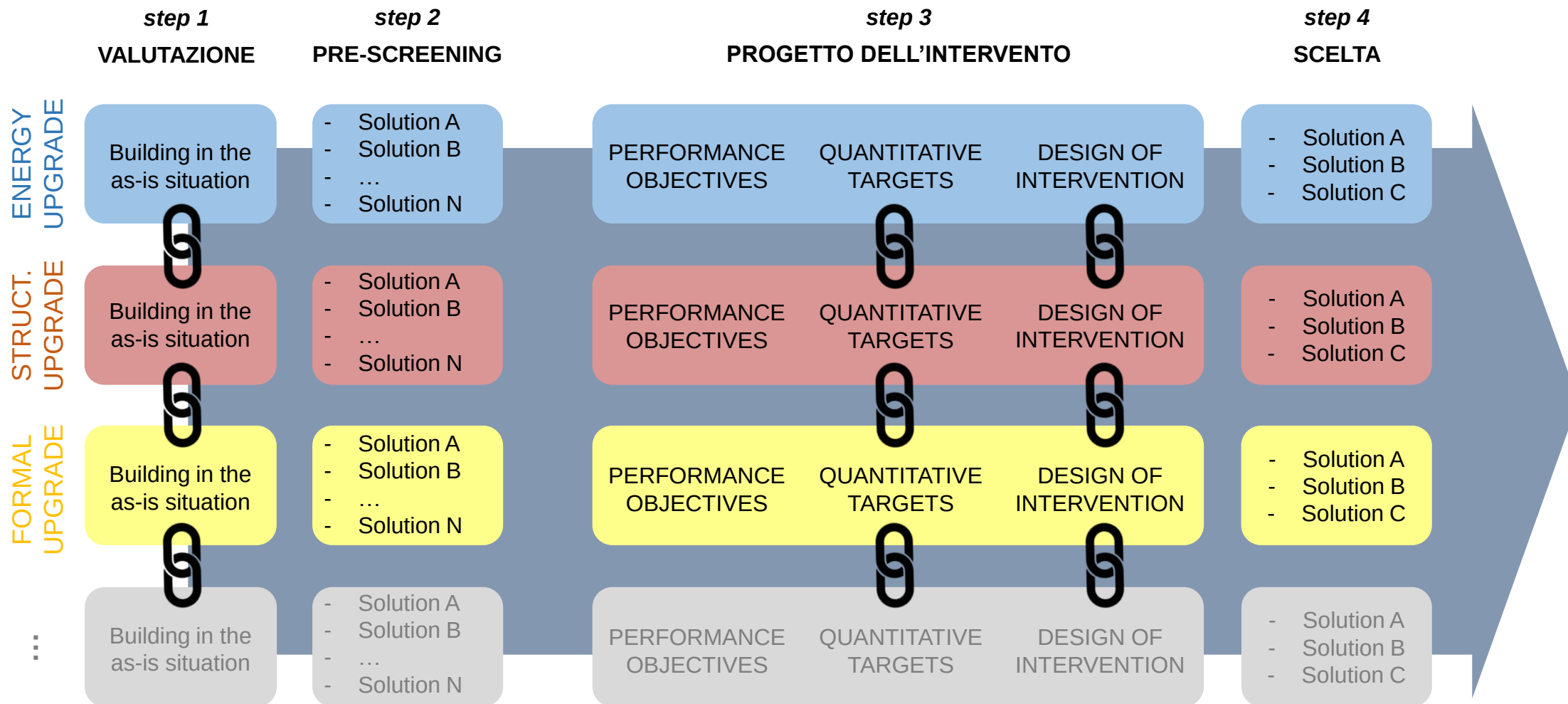
4. Framework di progettazione basato su LCT

PROGETTUAZIONE ATTUALE



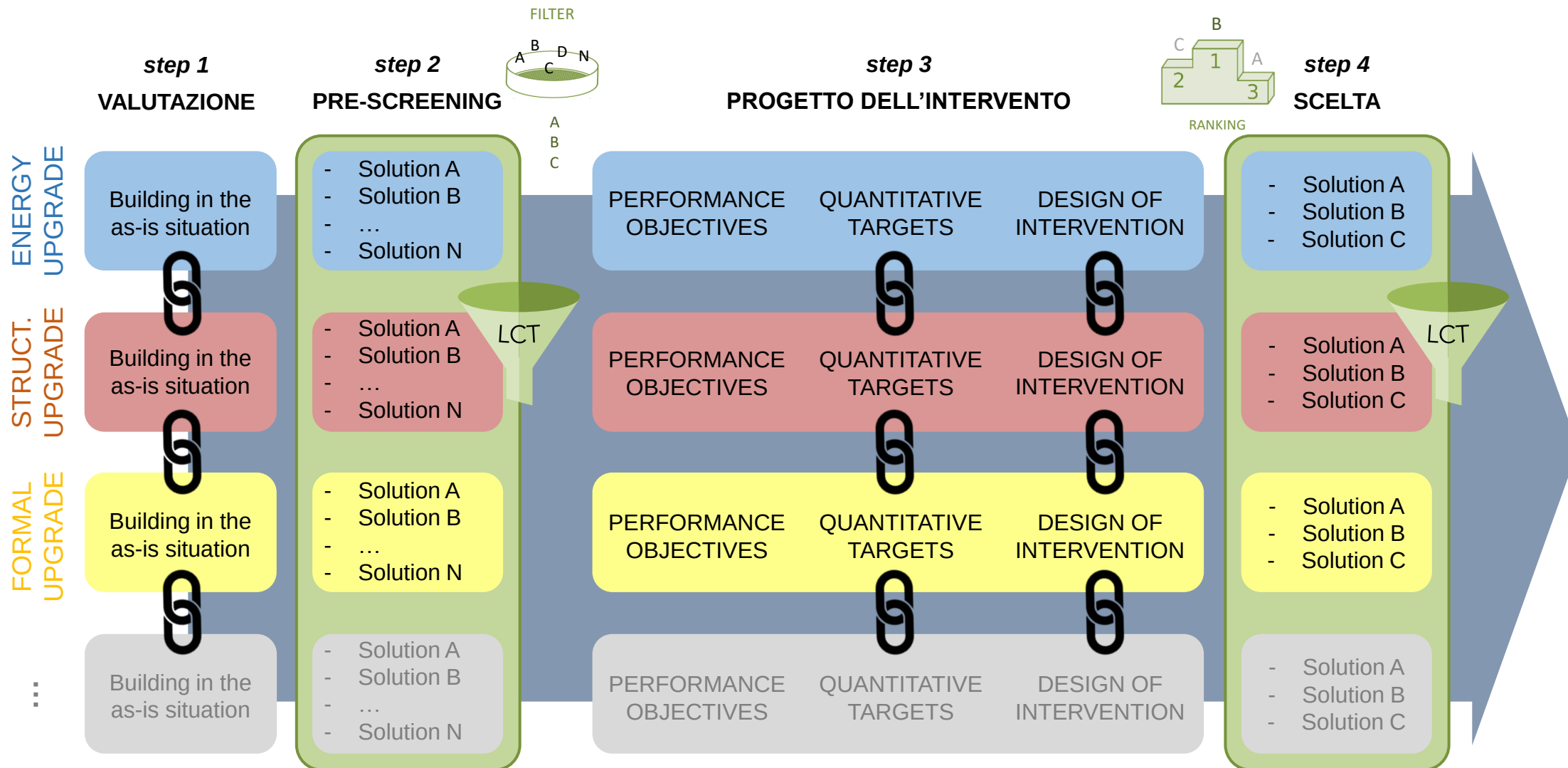
4. Framework di progettazione basato su LCT

SUSTAINABLE BUILDING RENOVATION (SBR) FRAMEWORK: *LCT-based design framework for combined retrofit interventions*

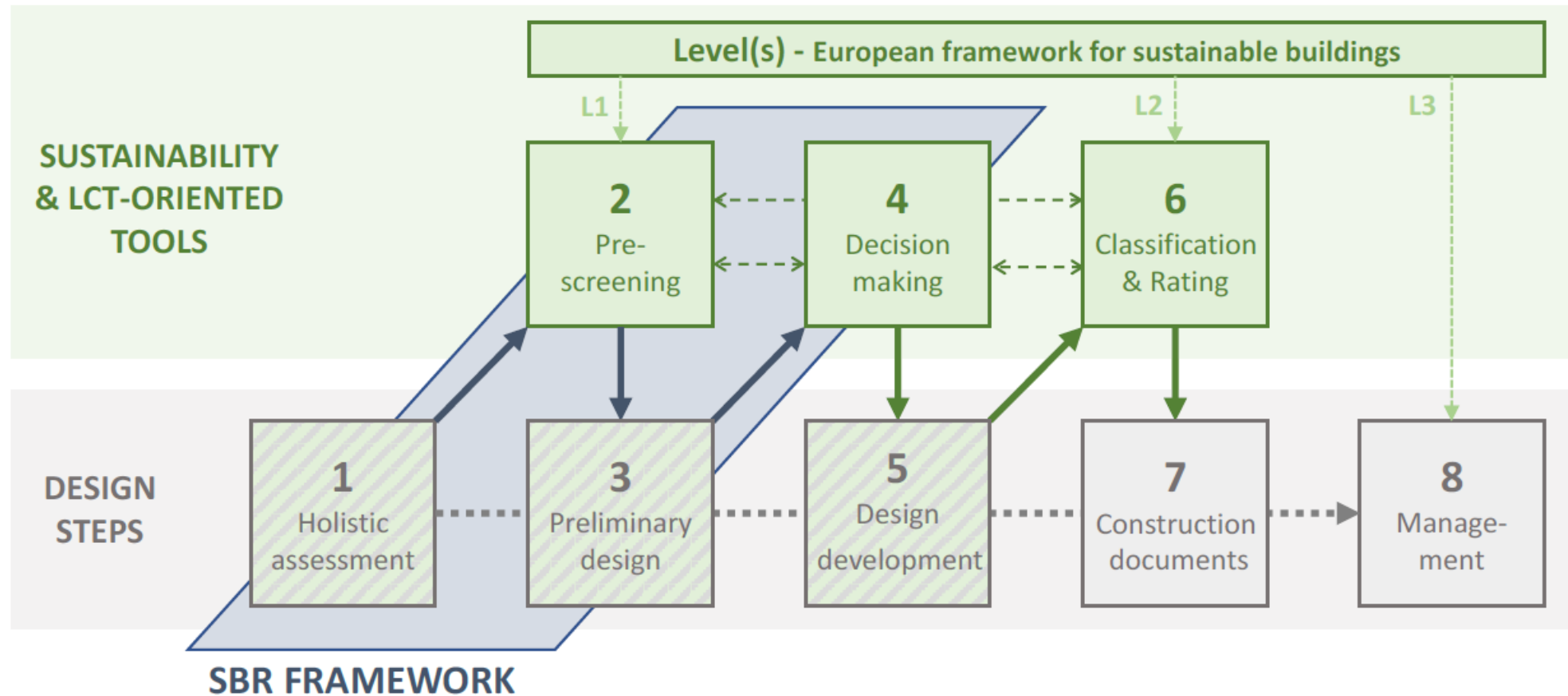


4. Framework di progettazione basato su LCT

SUSTAINABLE BUILDING RENOVATION (SBR) FRAMEWORK: LCT-based design framework for combined retrofit interventions

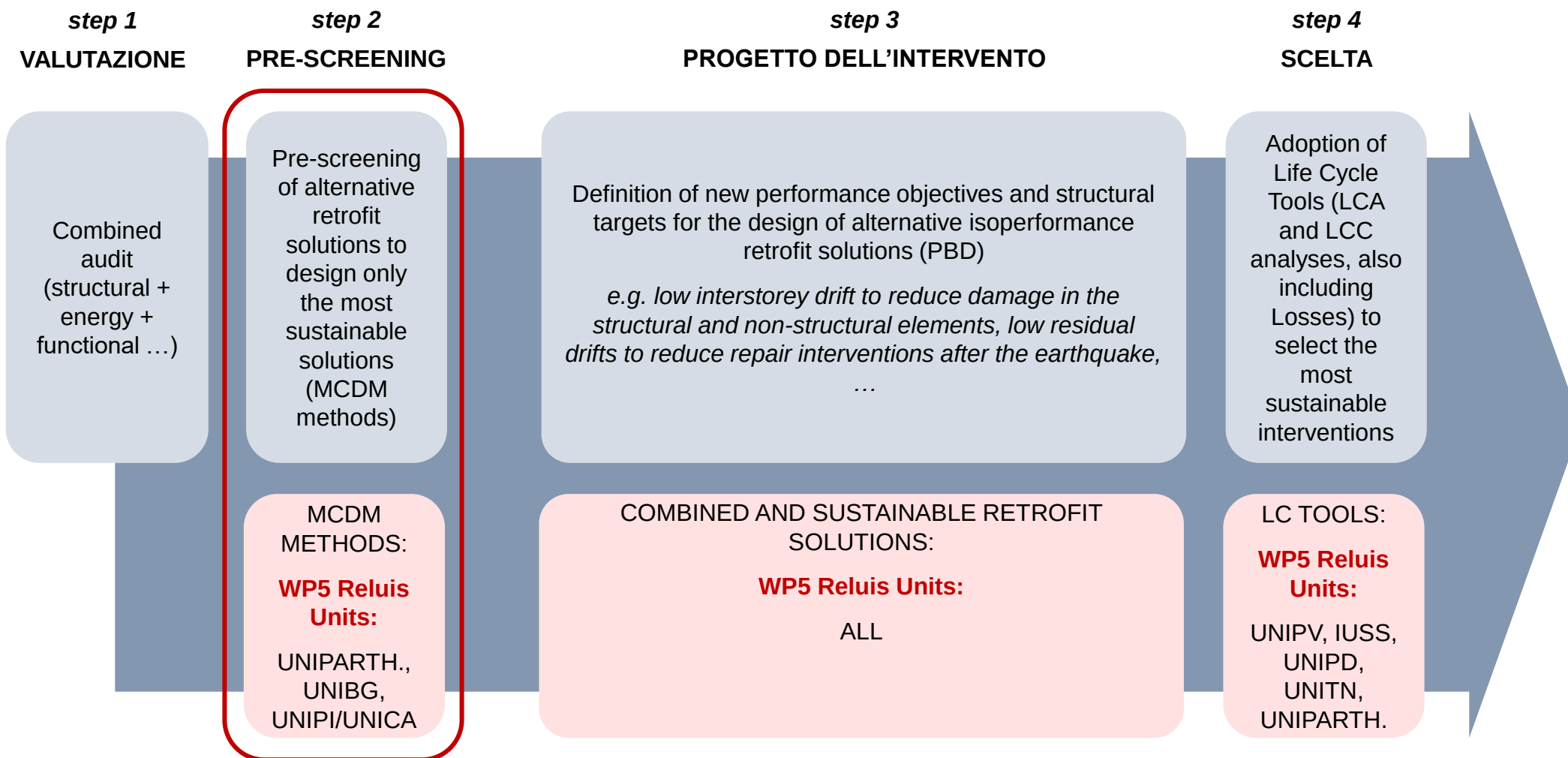


4. Framework di progettazione basato su LCT



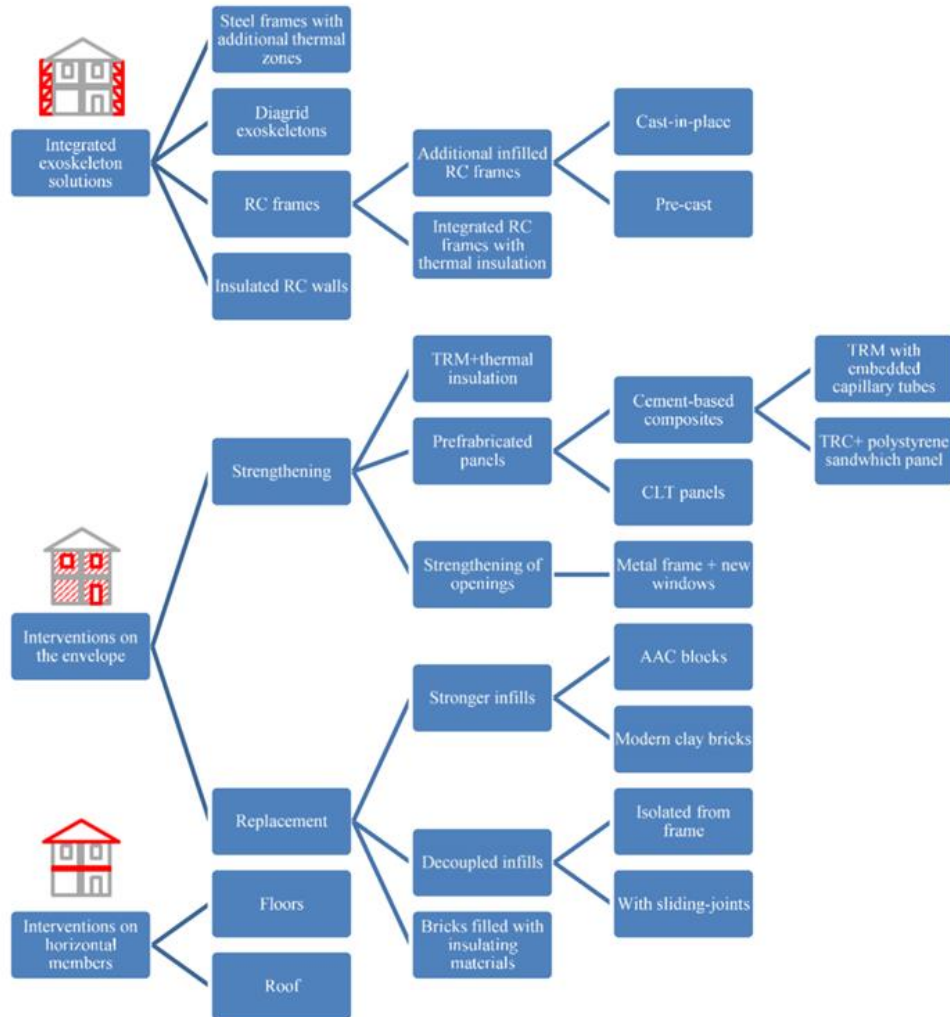
5. Indici prestazionali integrati ed esempi

SUSTAINABLE BUILDING RENOVATION (SBR) FRAMEWORK: *LCT-based design framework for combined retrofit interventions*

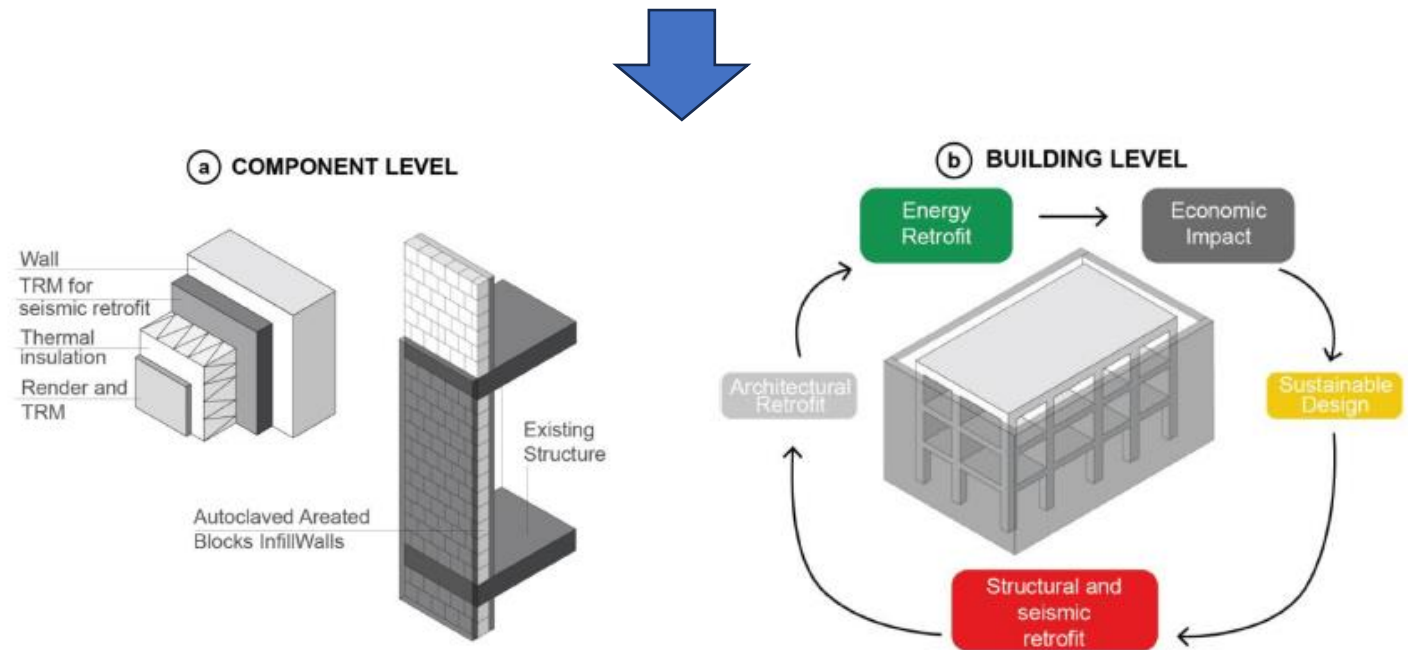


5. Indici prestazionali integrati ed esempi

Come valutare l'efficienza delle tecniche combinate? Quali prestazioni? Quali indicatori?



Tipologia di applicazione retrofit (ed implicazioni)



**Indicatori multi-performance
(es. Life Cycle based)**

5. Indici prestazionali integrati ed esempi

Metodi incrementali

		INTERVENTI DI EFFICIENTAMENTO ENERGETICO							
		Incremento del livello di invasività, incremento di efficacia							
		Basso			Medio		Alto		
		Tecnica di retrofit	Valvole termost.	Sostit. Finestre	Isolamento copertura	Insuffl.	Isolam. Termico	Nuovi Impianti	Energia rinnovabile
INTERVENTI DI RETROFIT SISMICO Incremento del livello di invasività, incremento di efficacia	Basso	Incamicatura FRP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		Incamicatura Acciaio	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		FRCM/ TRM	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Medio-Alto	Incamicatura c.a.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		Controventi in acciaio	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		Esoscheletri esterni	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Alto	Setti/pareti in c.a.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		Isolamento alla base	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		Durata dell'intervento: ✓ Breve ✓ Media ✓ Lunga							

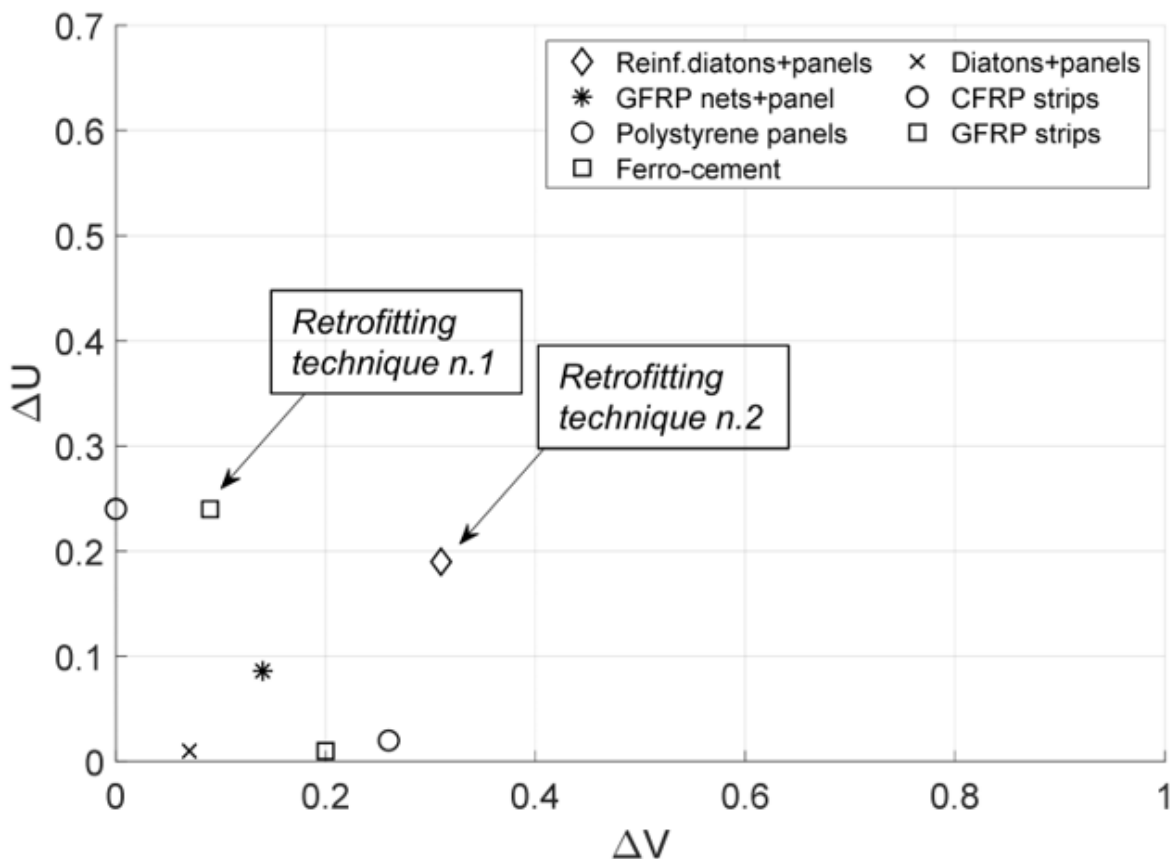
UR-UniNa

Improvement of energy efficiency (PEC_h)	Level of intervention
$< -60\%$	Envelope + systems
$-60\% \leq \text{reduction } PEC_h < -50\%$	Envelope + systems
$-50\% \leq \text{reduction } PEC_h < -40\%$	Envelope + systems
$-40\% \leq \text{reduction } PEC_h < -30\%$	Envelope or systems
$-30\% \leq \text{reduction } PEC_h < -20\%$	Envelope (local) or systems
$-20\% \leq \text{reduction } PEC_h < 10\%$	Envelope (local) or systems

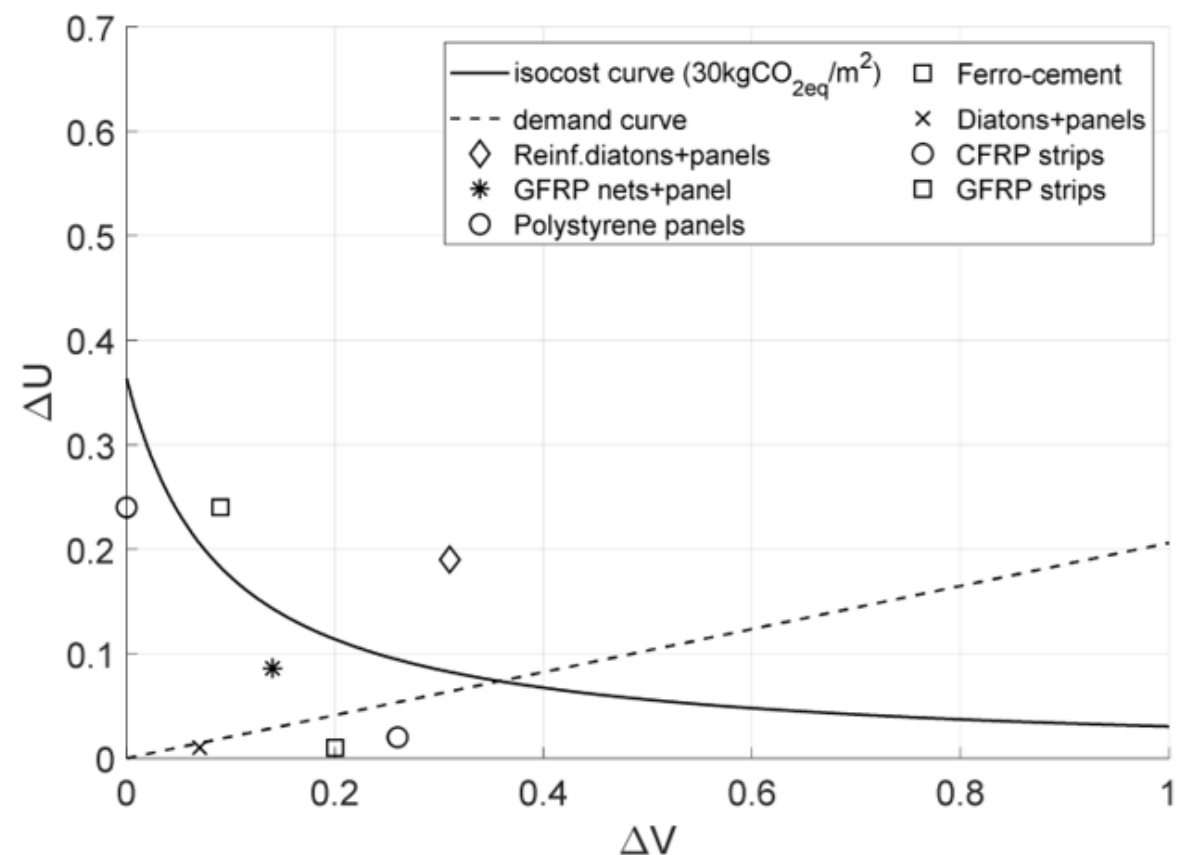
Improvement of safety level (PGA_C/PGA_D)	Structural level of intervention
$\geq 100\%$	Global Level + details
$80\% \leq SL < 100\%$	Global + Local details
$60\% \leq SL < 80\%$	Local + details
$45\% \leq SL < 60\%$	Local + details
$30\% \leq SL < 45\%$	Local + details
$15\% \leq SL < 30\%$	Local + details

5. Indici prestazionali integrati ed esempi

Metodi basati sulla definizione di curve iso-classe e iso-performance



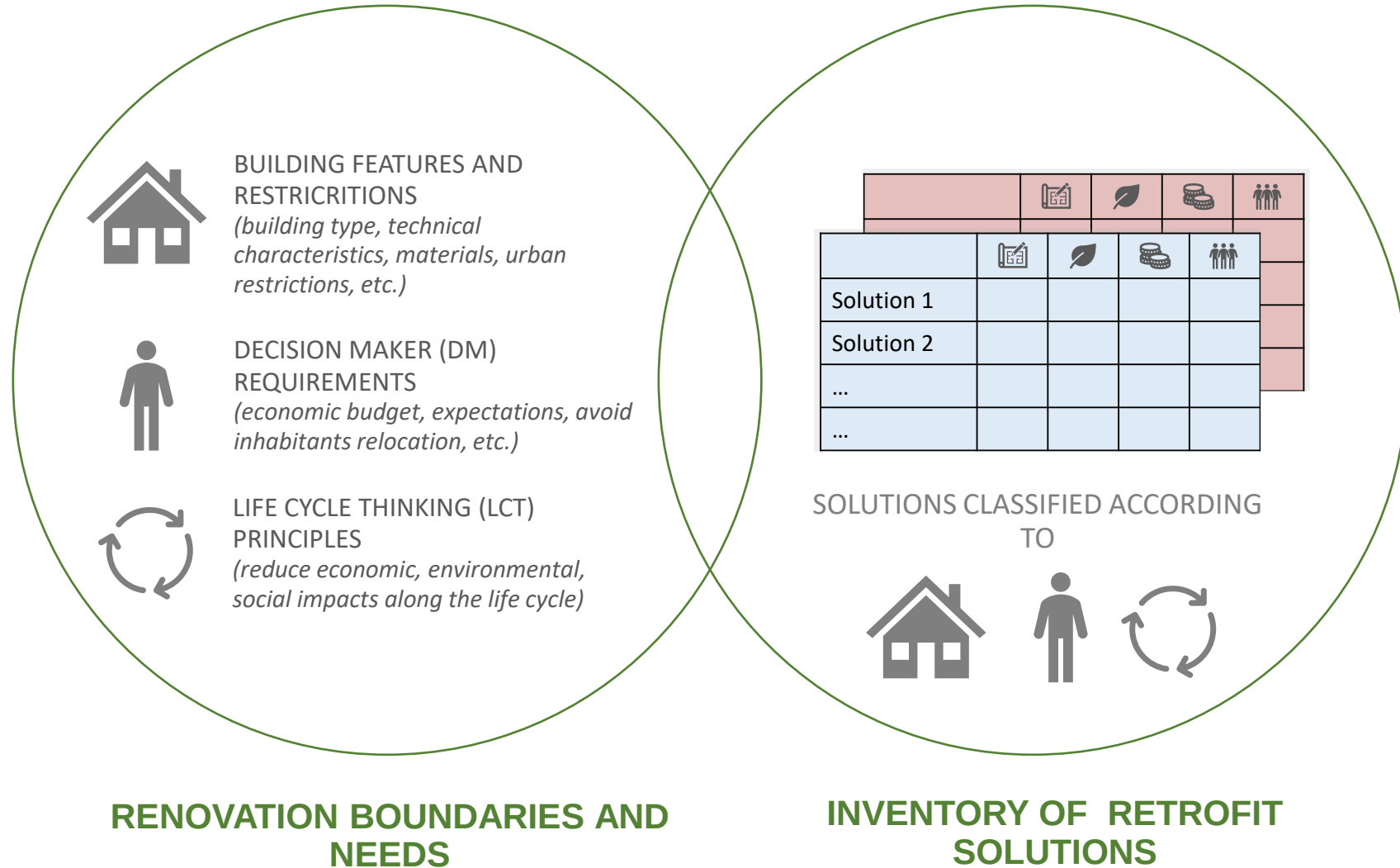
Fitting of set of data



5. Indici prestazionali integrati ed esempi

Metodi di pre-screening basati su criteri qualitativi

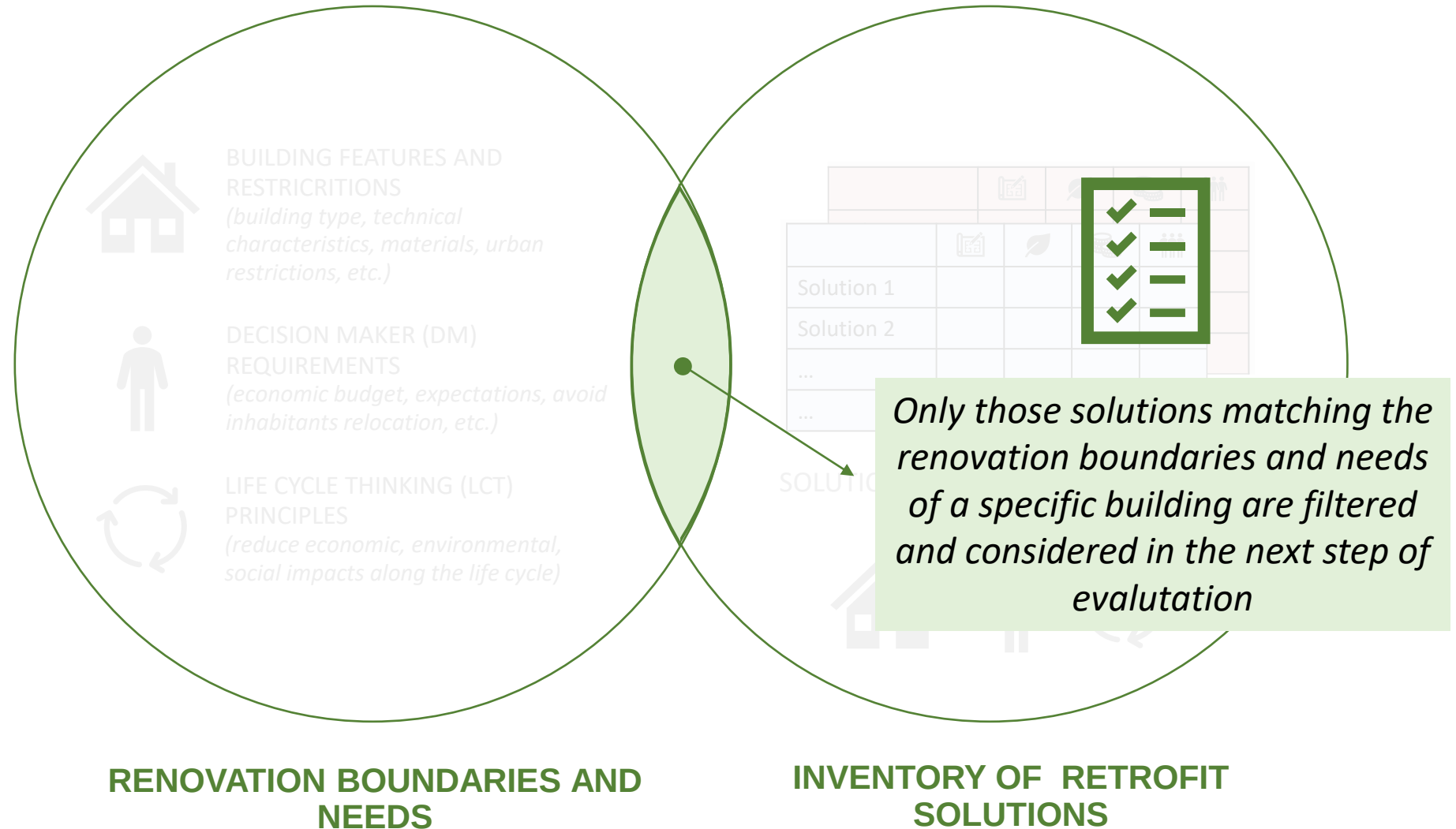
2A SOLUTION FILTER



5. Indici prestazionali integrati ed esempi

Metodi di pre-screening basati su criteri qualitativi

2A SOLUTION FILTER



5. Indici prestazionali integrati ed esempi

Metodi di pre-screening basati su criteri qualitativi

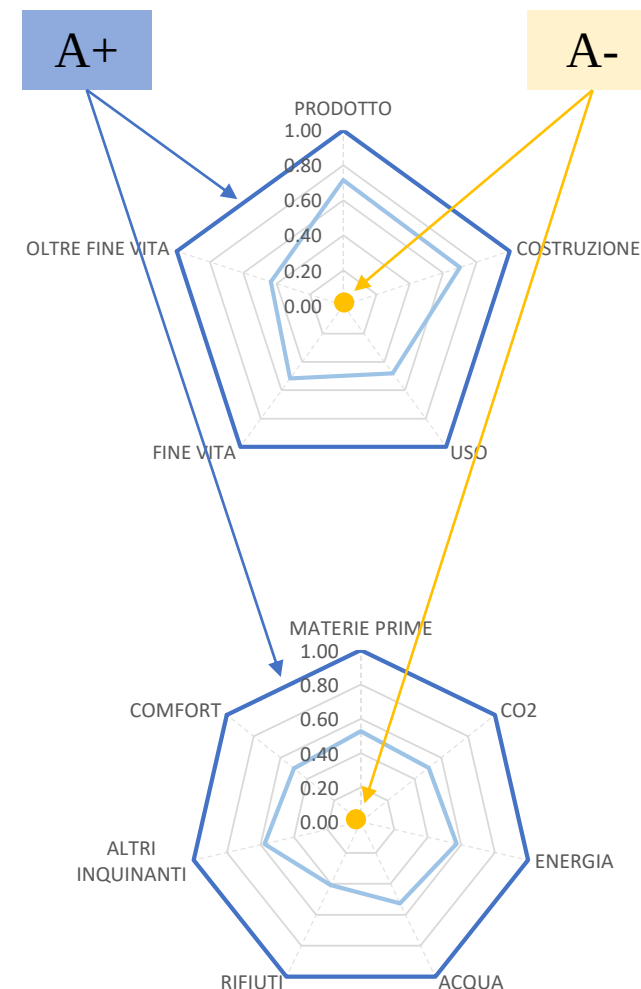
2B SOLUTION RANKING

Aggregation rules and plot of
radar graphs which define the
'sustainability profile' of the solutions

			Score (1-5)
A1-A3			
		Design for material eco-efficiency	
A1	M	Recycled material	
A1	M	Reused material	
A1	M	Renewable biomaterial	
A1	M	certified materials (env/soc)	
A1	M	sustainable extraction process (CO2, energy, water, waste, dust, noise, other pollutants...)	
A1	T	material optimization	
A2	M	Local material	
A3	M	sustainable production process (CO2, energy, water, waste, dust, noise, other pollutants...)	
A4-A5			
A4	M	Local products	
		Design for easy assemblage	
A5	T	dry technique	
A5	T	prefabrication	
A5	T	modularity/standardization	
A5	T	material optimization during construction (material, waste)	
A5	T	sustainable construction process (CO2, energy, water, waste, dust, noise, other pollutants...)	

UR-UniBG

...



5. Indici prestazionali integrati ed esempi

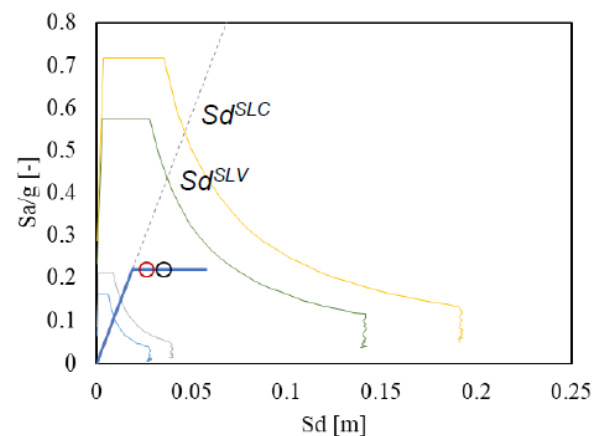
Metodi di pre-screening basati su criteri qualitativi - ESEMPIO



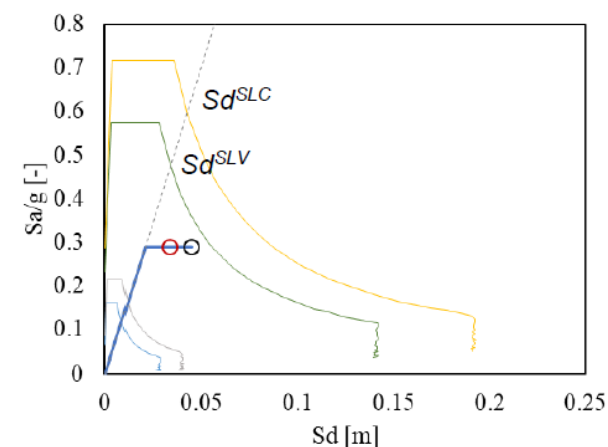
UR-UniBG

Edificio A

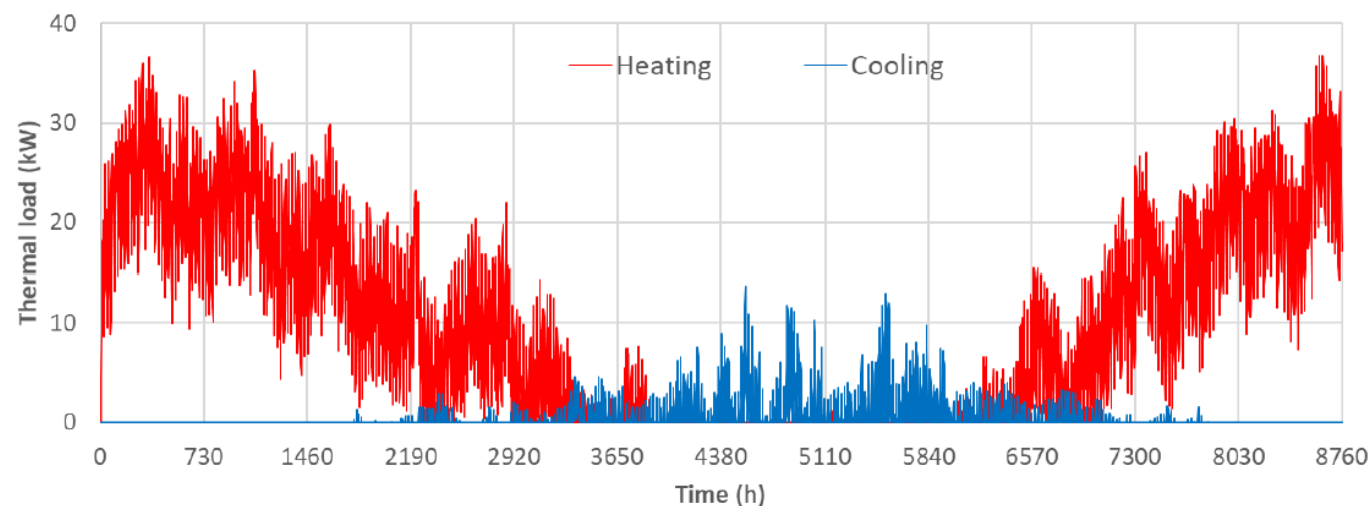
Distribuzione uniforme - Dir. X



Distribuzione uniforme - Dir. Y



- 30 years
- 50 years
- 475 years
- 2475 years
- BILINEAR
- CPLS
- LSLs



5. Indici prestazionali integrati ed esempi

Metodi di pre-screening basati su criteri qualitativi - ESEMPIO



$$C_i^* = \frac{S_{i-}}{S_{i+} + S_{i-}}$$

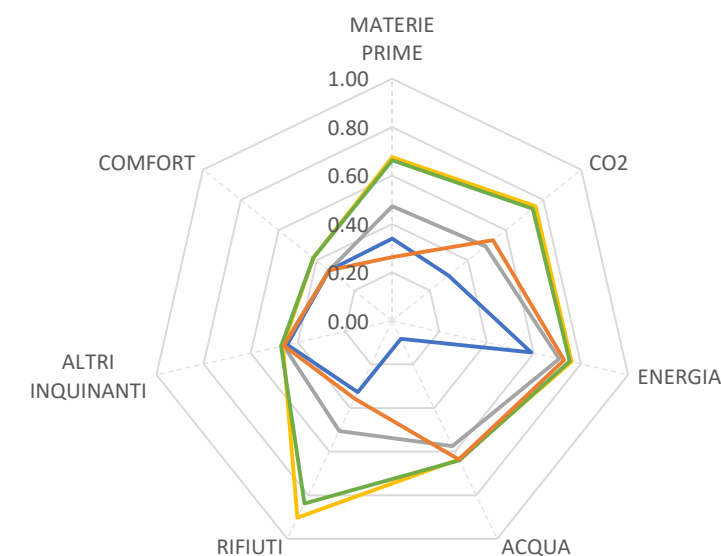
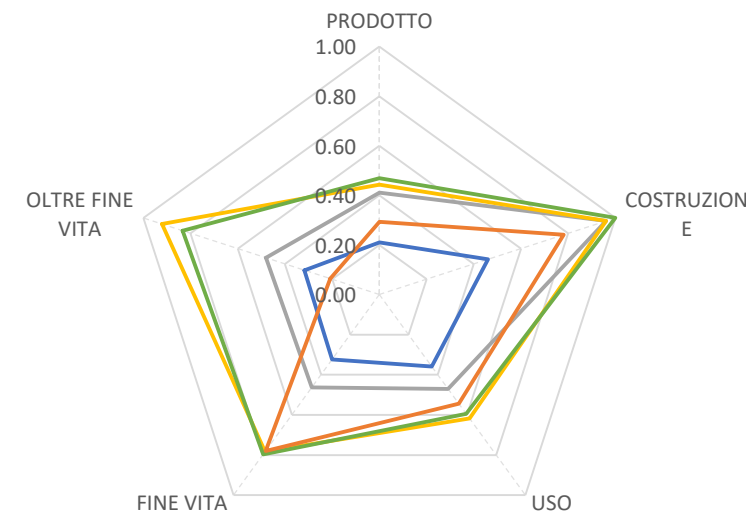
Pareti in c.a.	Pareti in acciaio	Diagrid in acciaio	Guscio in legno	Isolamento
-------------------	----------------------	-----------------------	--------------------	------------

IMPACTS FOR EACH LIFE CYCLE STAGE

A1-A3 PRODUCT	0.21	0.41	0.44	0.47	0.29
A4-A5 CONSTRUCTION	0.46	0.96	0.96	1.00	0.78
B1-B7 USE	0.36	0.47	0.62	0.60	0.54
C1-C4 END OF LIFE	0.32	0.46	0.78	0.80	0.78
D BEYOND END OF LIFE	0.32	0.48	0.92	0.83	0.21

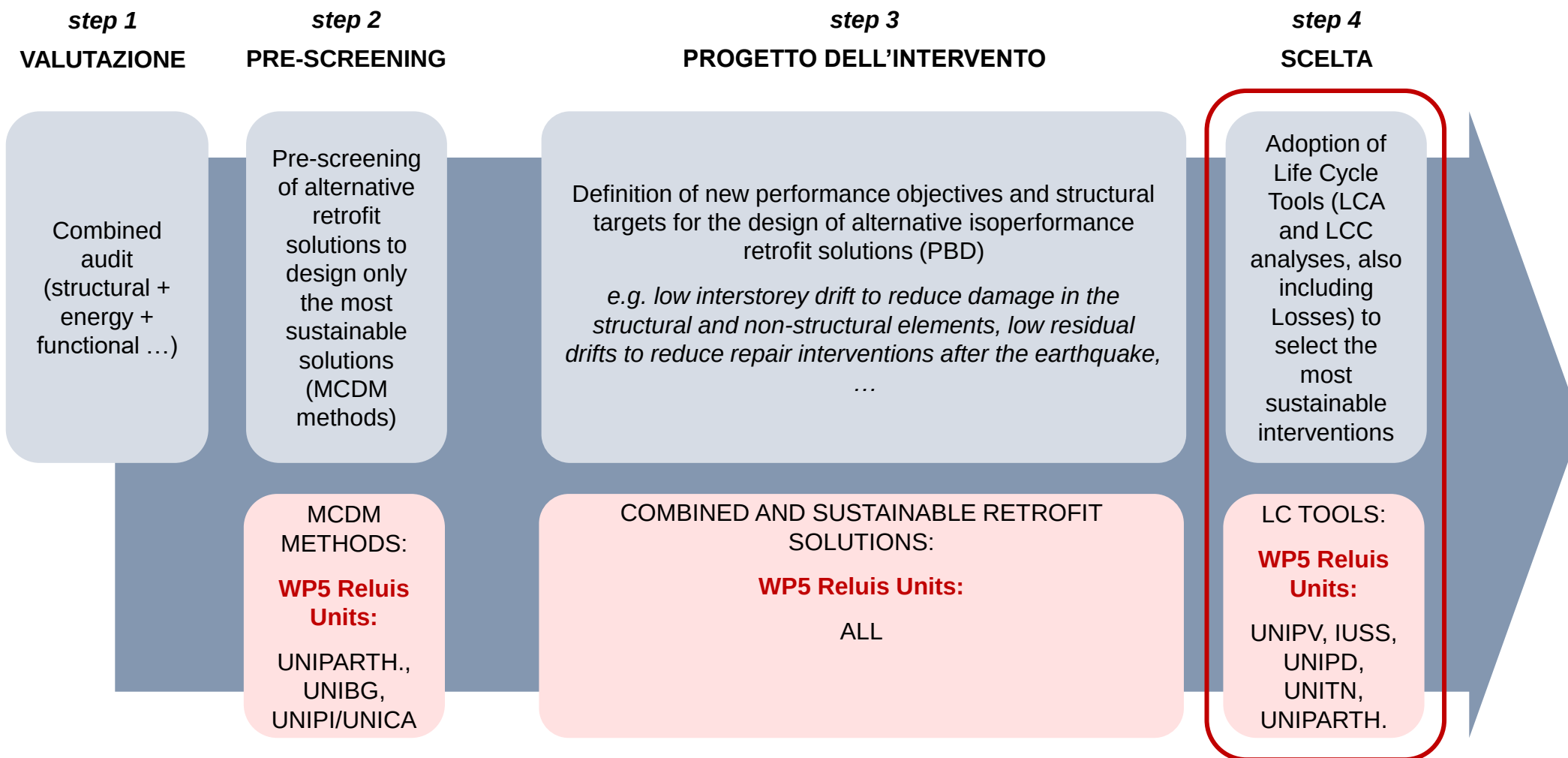
IMPACTS FOR EACH INDICATOR

RAW MATERIALS	0.34	0.47	0.68	0.66	0.26
CO2	0.30	0.49	0.76	0.74	0.53
ENERGY	0.59	0.71	0.76	0.75	0.73
WATER	0.08	0.57	0.64	0.64	0.64
WASTE	0.33	0.50	0.90	0.84	0.36
OTHER POLLUTANTS	0.45	0.46	0.46	0.47	0.46
COMFORT	0.33	0.33	0.42	0.42	0.33



5. Indici prestazionali integrati ed esempi

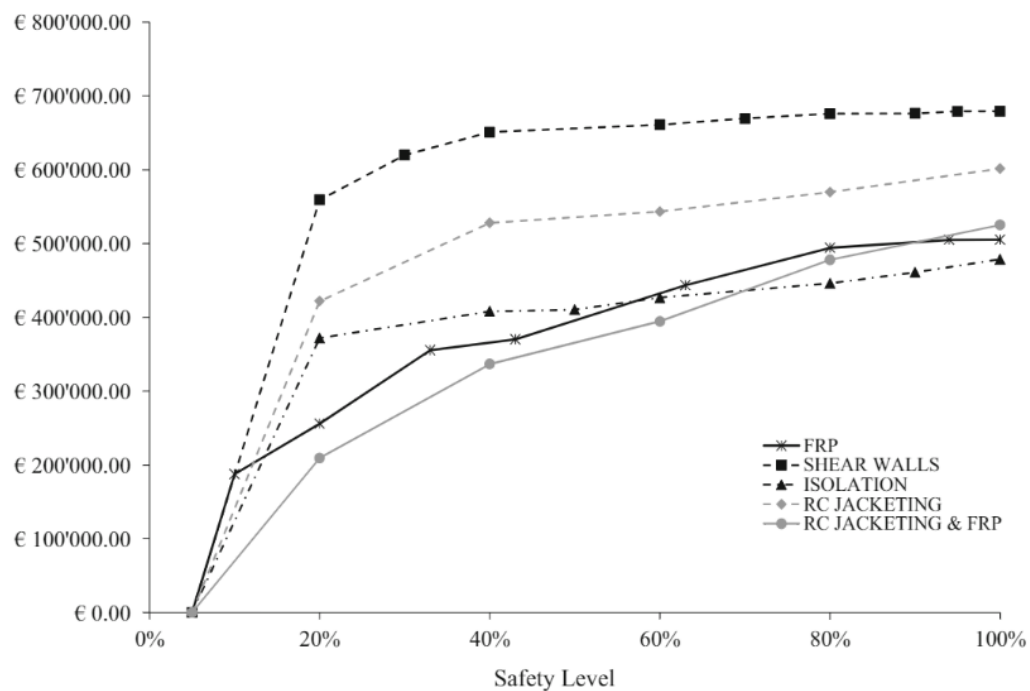
SUSTAINABLE BUILDING RENOVATION (SBR) FRAMEWORK: *LCT-based design framework for combined retrofit interventions*



5. Indici prestazionali integrati ed esempi

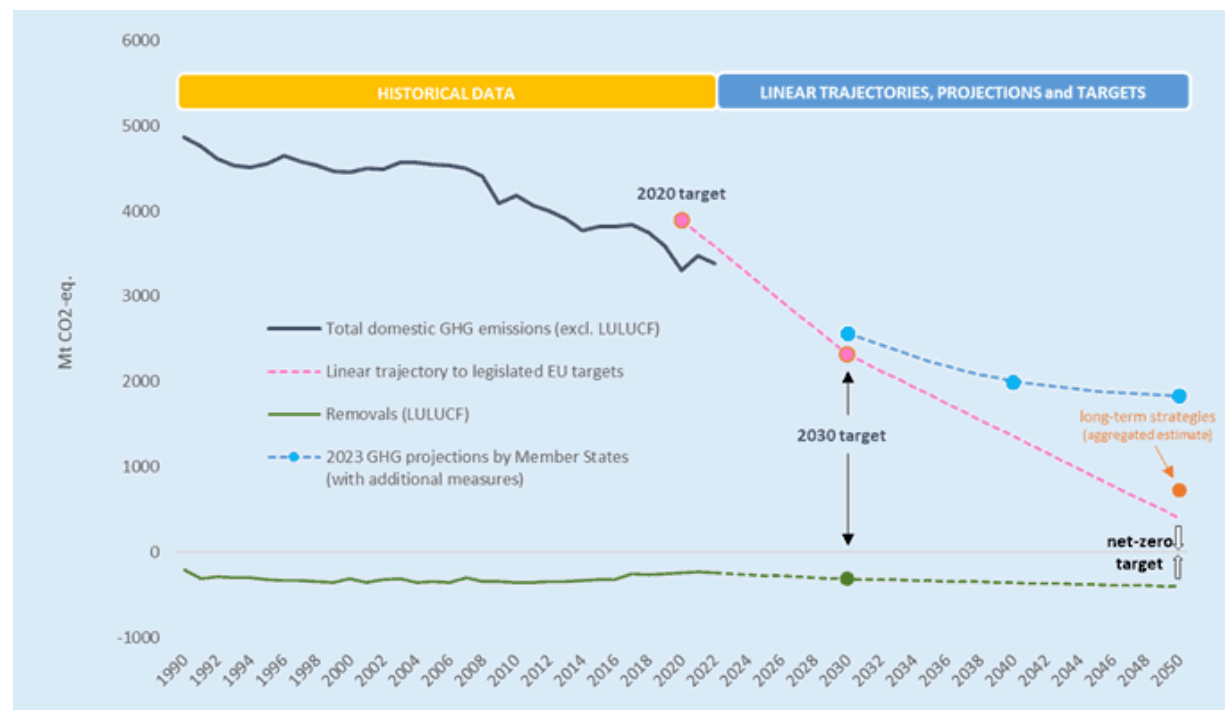
Motivazione: quali parametri? Come si può rappresentare quantitativamente il problema «integrato»?

Approcci tradizionali (costo + prestazione)



Vitiello et. al 2017

...necessità di rendere più ampia ed efficace la valutazione



https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/progress-climate-action_en

2. Metodologia VAN – Valore Attuale Netto

$$\Delta EAL [\text{€}] = (EAL_{as\ built} - EAL_{retrofitted}) \times \text{Building value}$$

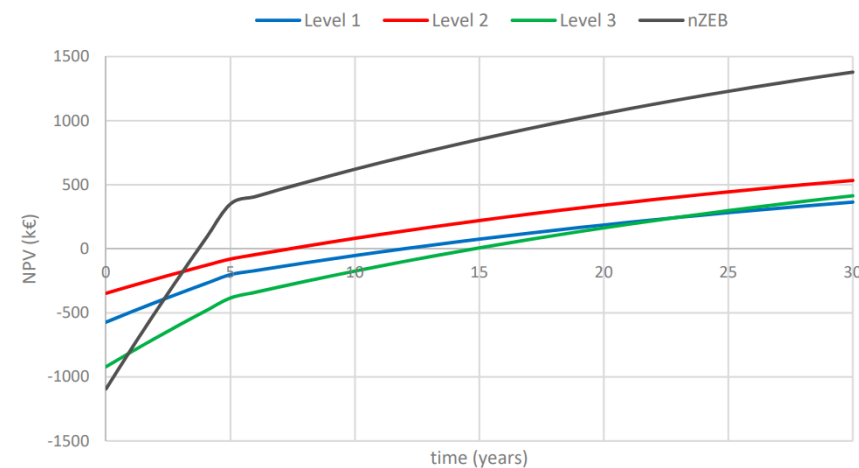
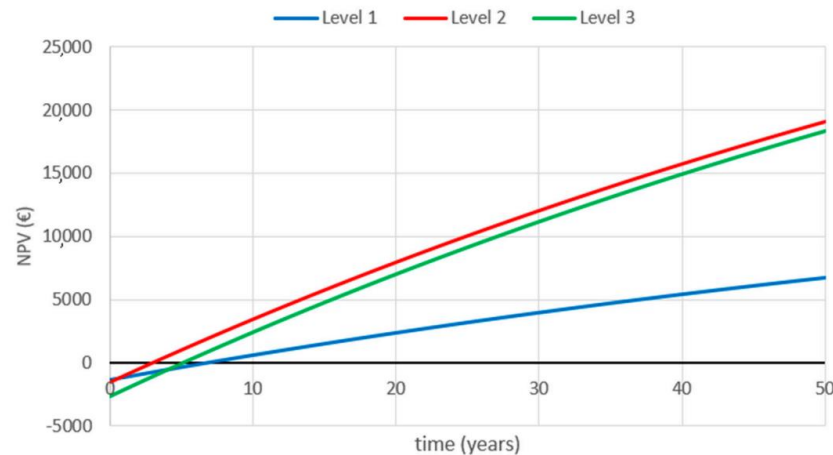
RISP. SISMICO

RISP. ENERGETICO

COSTO

INCENTIVO

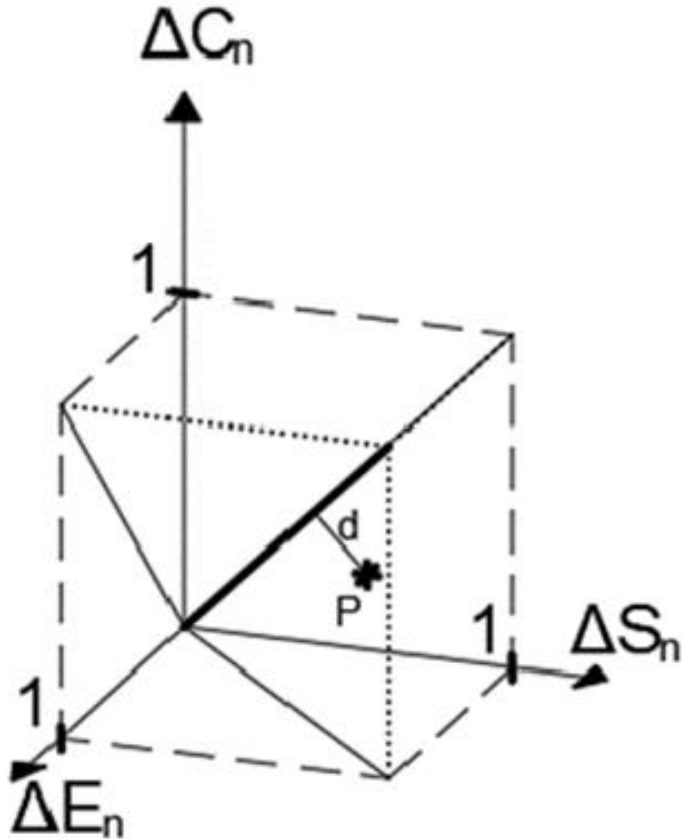
$$NPV = \underbrace{\sum_{t=1}^T \frac{\Delta EAL[\text{€}]}{(1+r)^t}}_{\text{RISP. SISMICO}} + \underbrace{R \sum_{j=1}^n \frac{1}{(1+a)^j}}_{\text{RISP. ENERGETICO}} - \underbrace{C - I_0}_{\text{COSTO}} + \underbrace{\frac{I}{m} \cdot \sum_{k=1}^m \frac{1}{(1+r)^k}}_{\text{INCENTIVO}}$$



3. Metodi multicriterio basati sulla valutazione del costo economico nel ciclo di vita

Modello tridimensionale:

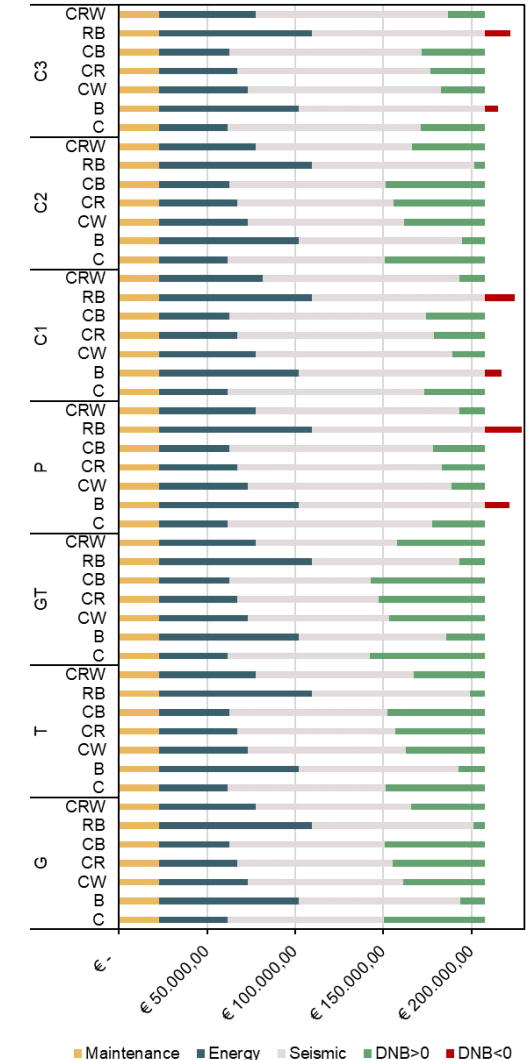
1. Miglioramento energetico (Δ Classe En.)
2. Miglioramento sismico (Δ Classe PAM)
3. Beneficio economico netto intervento (DNB)



$$\begin{cases} e = 1 - t \\ s = 1 - t \\ b = 1 - t \end{cases}$$

$$LCC = C_I + \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} \sum (C_M + C_E + C_S)$$

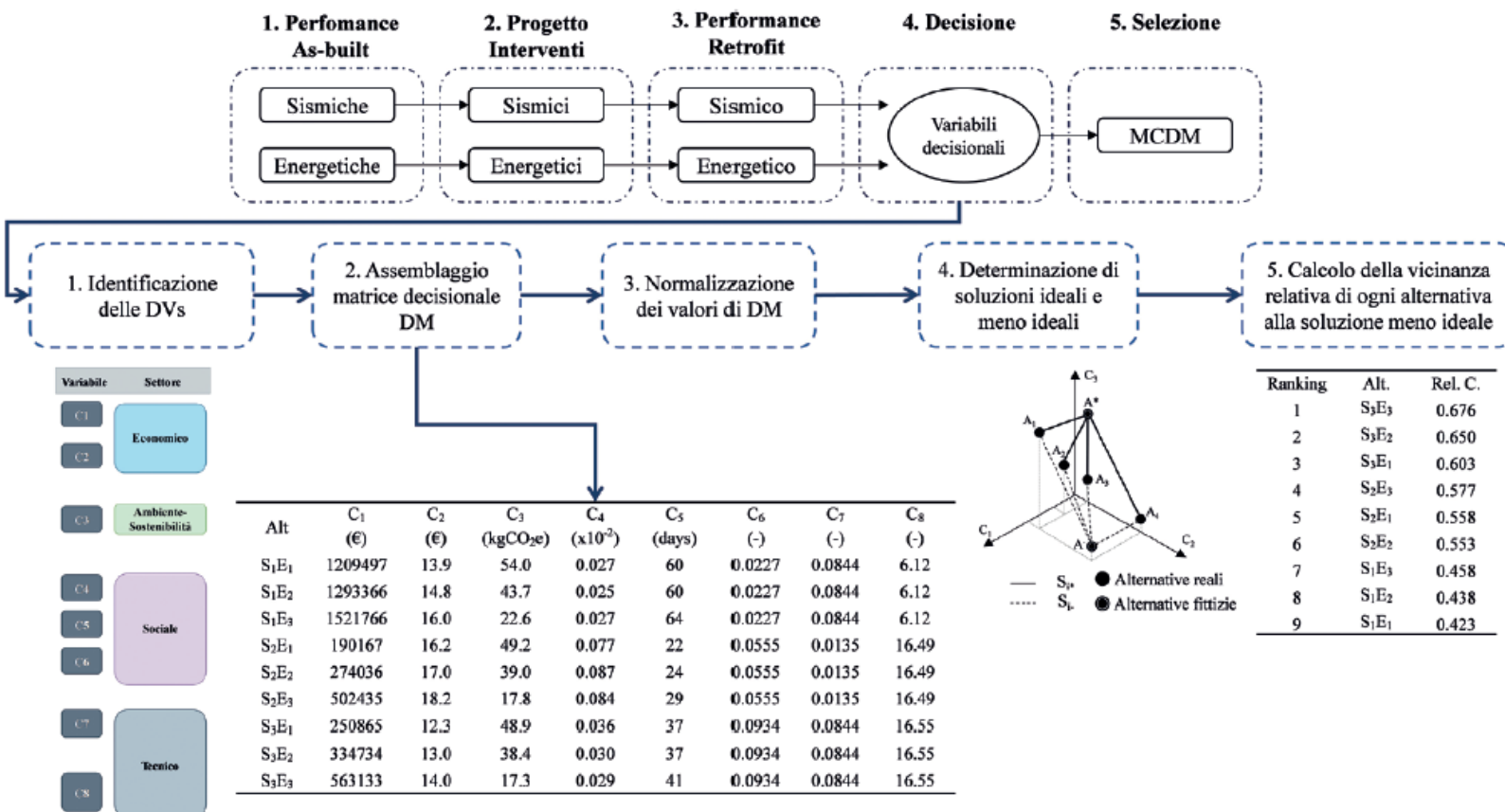
$$B_M = MPP_{E,S} + LCC_{AB} - LCC_m$$



4. Identificazione dell'intervento combinato ottimale con approccio Multi-Criteria Decision Making (MCDM)

Variabile	Settore	Definizione	Descrizione	Importanza	Peso
C1	Economico	Costo di installazione	Il costo di installazione è il costo combinato degli schemi di retrofit sismico ed energetico per ogni alternativa, considerando le efficienze che possono essere ottenute implementando entrambi gli schemi di retrofit simultaneamente	Alta	0.15
C2		Costo annuo previsto	Il costo annuo previsto di un'alternativa di retrofit comprende tre componenti: le perdite annuali previste (EAL), il costo di manutenzione dei componenti di retrofit e il costo energetico annuale (AEC)	Alta	0.19
C3	Ambiente-Sostenibilità	Impatti ambientali previsti nel ciclo di vita	Gli LCEI attesi sono calcolati utilizzando l'equazione proposta da Caruso et al. (2020); l'equazione comprende diverse componenti: Impatto Ambientale di Installazione (IEI) dell'alternativa di retrofit, l'Impatto Ambientale Annuale Previsto (EA EI) della struttura retrofittata, la vita utile prevista (SL) della struttura dopo il retrofit, l'Impatto Ambientale di Manutenzione (MEI) totale dell'alternativa durante la vita utile prevista e la superficie totale (A) dell'edificio	Alta	0.18
C4	Sociale	Probabilità annua di collasso	Tasso annuo di danni strutturali che potrebbero causare crolli	Media	0.14
C5		Durata degli interventi	Stima della durata dei lavori di intervento strutturale	Media	0.13
C6		Impatto architettonico	L'impatto degli schemi di retrofit strutturale ed energetico; se si presume che gli schemi di retrofit energetico abbiano un impatto visivo altrettanto basso una volta completata la costruzione, si può considerare solo l'impatto degli schemi di retrofit strutturale	Bassa	0.06
C7	Tecnico	Necessità di manodopera specializzata/conoscenze progettuali	Stima del fabbisogno di manodopera specializzata/conoscenze progettuali, utilizzando l'AHP e il giudizio degli esperti	Bassa	0.05
C8		Richiesto intervento in fondazione	Il rapporto massimo delle reazioni verticali tra l'edificio caso-studio e ciascuna delle alternative di retrofit viene utilizzato per rappresentare la quantità di lavoro necessario per migliorare le fondazioni della struttura esistente per far fronte ai carichi della struttura retrofittata.	Media	0.10

4. Identificazione dell'intervento combinato ottimale con approccio Multi-Criteria Decision Making (MCDM)



DV	Equazione
C1	$C_{pre_retrofit} + C_{retrofit_inst} + C_{post_retrofit}$
C2	$EAC = \frac{MC + (EAL + AEC) \times SL}{A \times SL}$ $MC = \sum_i^{nr,i} \frac{C_i \times IR \times (1 - IR^{SL/FI_i})}{(1 - IR)}$
C3	$LCEI = \frac{IEI + EAEI_{post-retrofit} \times SL + MEI}{A \times SL}$
C4	Definita a partire dalla curva di fragilità al collasso e dalla curva di hazard sismico
C5	Durata complessiva dei lavori per l'installazione del retrofit, considerando tutte le fasi di cantierizzazione fino a chiusura dei lavori.
C6	Procedura di gerarchia analitica (AHP) con la matrice delle preferenze basata sul giudizio professionale del decision-maker.
C7	Procedura di gerarchia analitica (AHP) con la matrice delle preferenze basata sul giudizio professionale del decision-maker
C8	$\max \left(\frac{R_{Z,as-built}}{R_{Z,retrofit}} \right)$

5. Indici prestazionali integrati ed esempi

6. Metodi basati sulla valutazione di sostenibilità complessiva degli interventi integrati



PARAMETRI ECONOMICI

- costi dei consumi energetici
- perdite sismiche attese in fase d'uso
- eventuale interruzione delle attività in caso di eventi sismici
- costi dell'intervento
- tempo di ritorno dell'investimento per l'intervento

COSTI (C)



PARAMETRI AMBIENTALI

- emissioni prodotte dai consumi energetici
- emissioni attese per potenziali attività di riparazione post-sisma
- emissioni dell'intervento

PAYBACK PERIOD (PB)

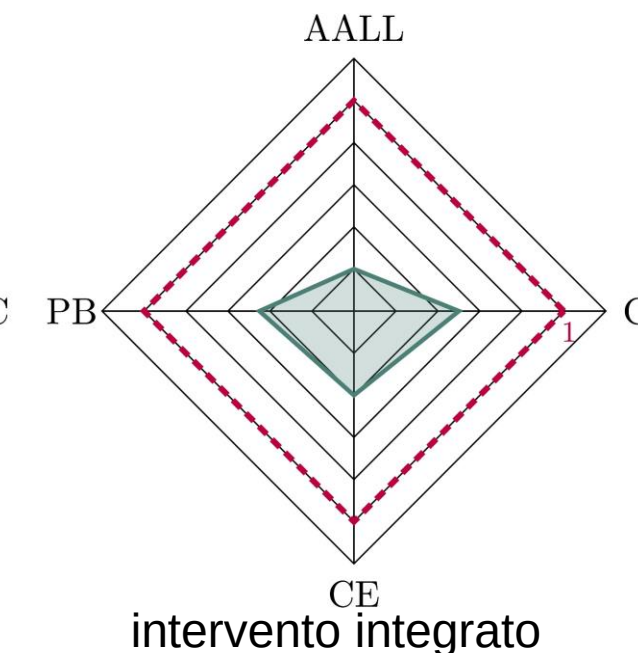
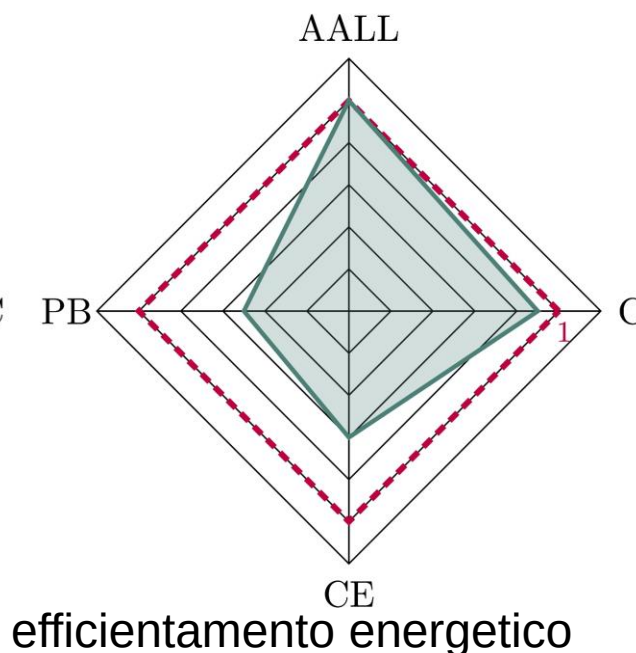
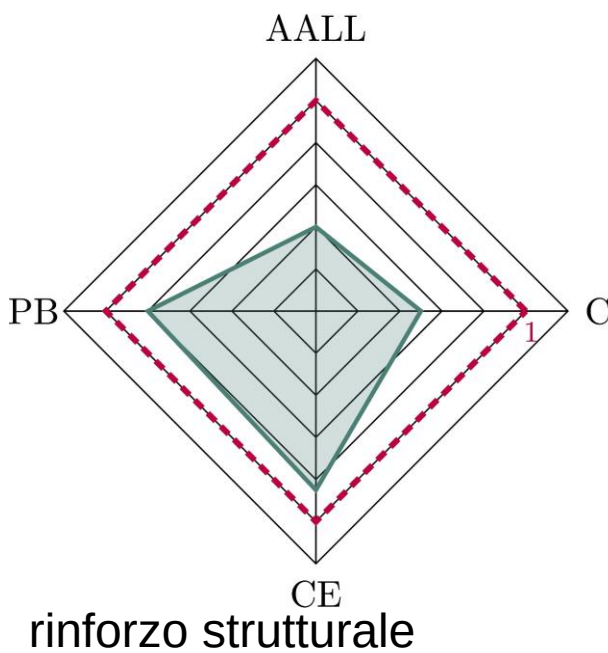
EMISSIONI ECO_2 (CE)



PARAMETRI SOCIALI

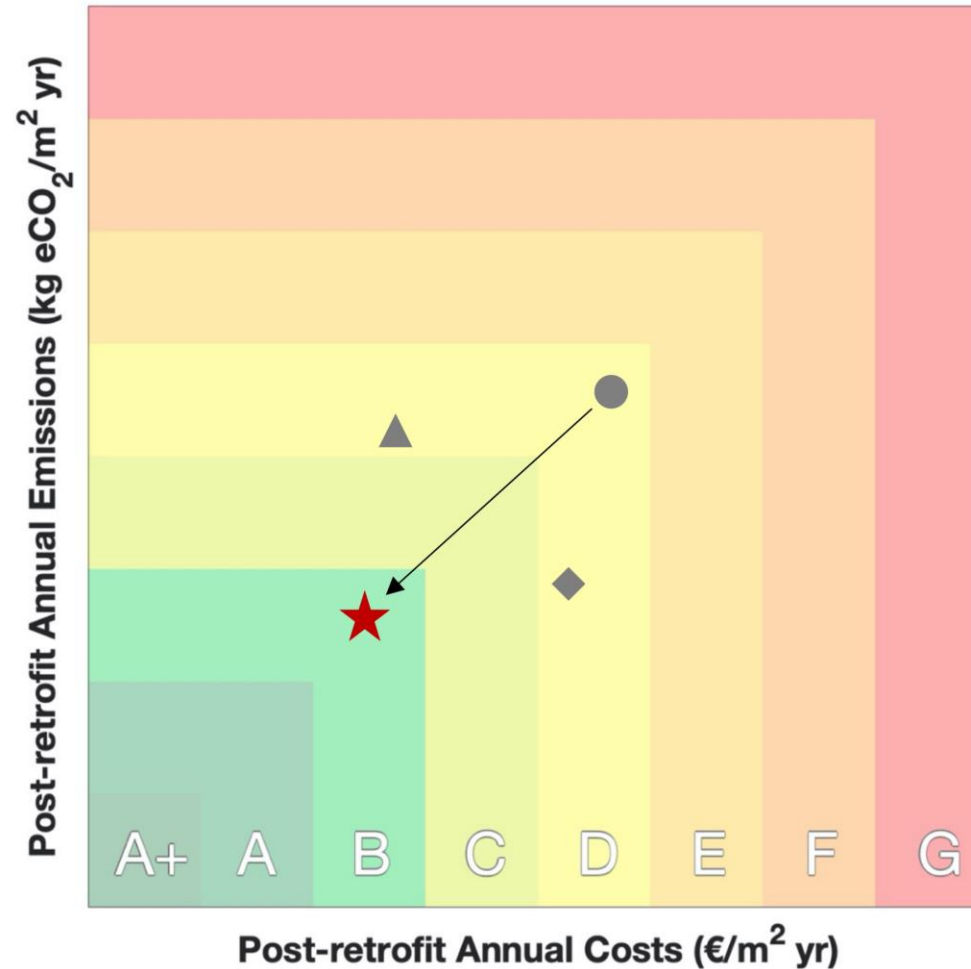
- perdite di vite umane dovute ad eventuali terremoti

PERDITE DI VITE (AALL)



5. Indici prestazionali integrati ed esempi

6. Metodi basati sulla valutazione di sostenibilità complessiva degli interventi integrati

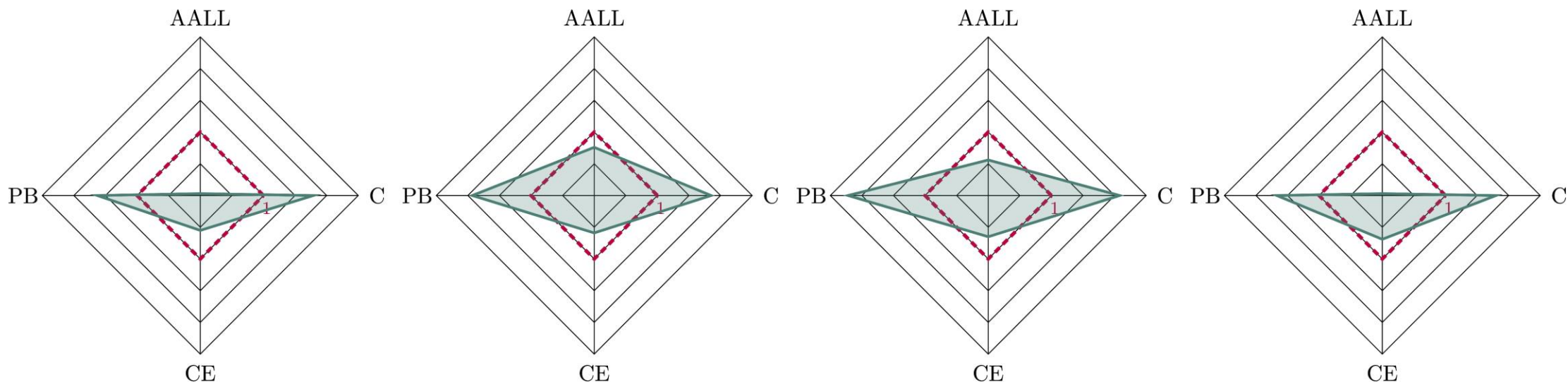


- As-built
- ▲ Seismic strengthening
- ◆ Energy efficiency upgrade
- ★ Integrated intervention

6. Metodi basati sulla valutazione di sostenibilità complessiva degli interventi integrati - ESEMPIO



Radar plots delle quattro tecniche considerando le 4 variabili decisionali: costi normalizzati post-retrofit (C), emissioni di carbonio (CE), periodo di ritorno (PB) e perdite di vite umane (AALL).



guscio in legno

diagrid in acciaio

pareti in acciaio

pareti in c.a. UR-UniPV

6. Conclusioni

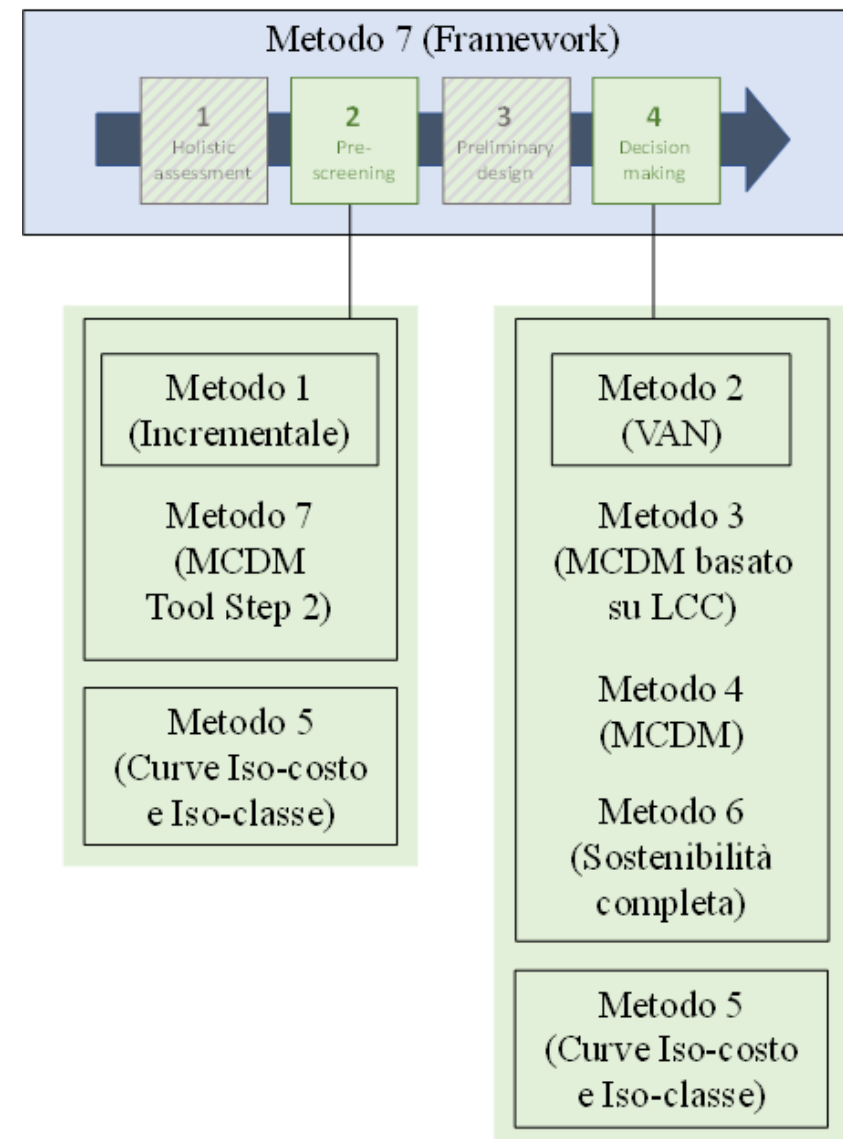
4. Metodi di valutazione integrata

4.1. Descrizione metodologica

- 4.1.1. Metodi incrementali
- 4.1.2. Metodologia VAN – Valore Attuale Netto
- 4.1.3. Metodi multicriterio basati sulla valutazione del costo economico nel ciclo di vita
- 4.1.4. Identificazione dell'intervento combinato ottimale con approccio Multi-Criteria Decision Making (MCDM)
- 4.1.5. Metodi basati sulla definizione di curve iso-classe e iso-performance
- 4.1.6. Metodi basati sulla valutazione di sostenibilità complessiva degli interventi integrati
- 4.1.7. Metodi olistici basati sul Life Cycle Thinking (LCT)

4.2. Applicazioni

4.3. Considerazioni conclusive



Conclusioni

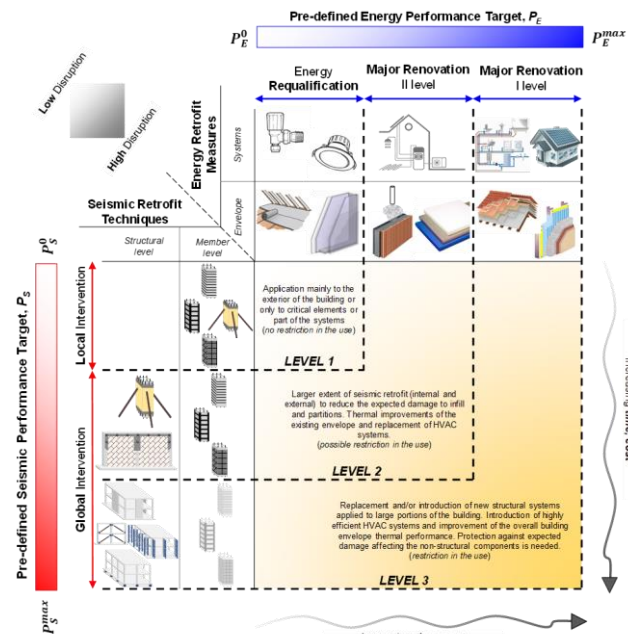
- **Identificazione di possibili approcci e relativa classificazione**
- **Diverse variabili da considerare (in aggiunta a quelle economiche)**
- **Importanza della variabile tempo (non solo stato iniziale del retrofit)**
- **Necessità di ampliare le tipologie di risultato ai fini del decision making**
- **Possibile utilizzo dei vari metodi in maniera «unificata» attraverso il framework di sostenibilità**



- ***Migliorare/ampliare databases funzionali alle valutazioni di sostenibilità***
- ***Favorire l'automazione (es. software, GUI ecc.) per le analisi complesse***

5. Indici prestazionali integrati ed esempi

Definizione di 7 approcci alternativi: tempo della valutazione, scala di riferimento, parametri di riferimento

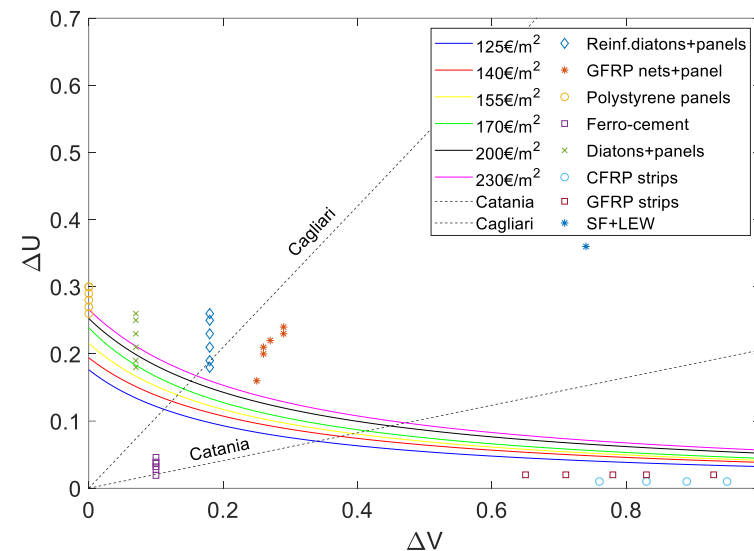


1. Interventi Incrementali: target prestazionali Sis-En

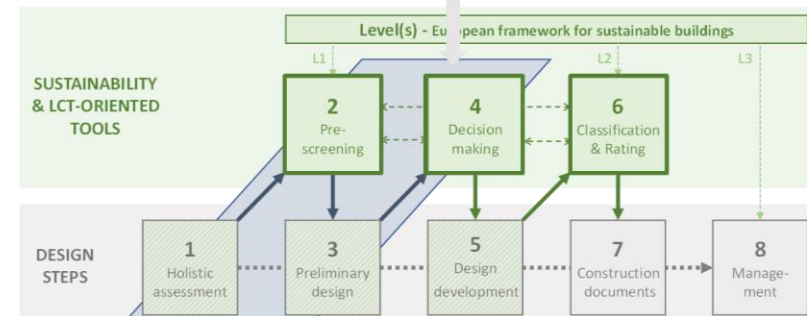
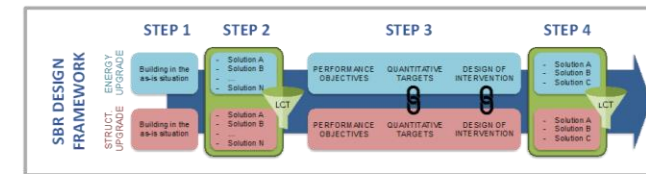
2. Definizione di curve di Iso-performance per le tecniche

3. Ottimizzazione dei costi: optimal, MCDM

4. Metodi olistici e/o basati su LCT



Menna C. (2021). Redefining the concept of sustainable renovation of LCT buildings. In: Sustainable Cities and Society 64, January 2021, 102019.





Rete dei Laboratori Universitari
di Ingegneria Sismica e Strutturale



6 / 13
OTTOBRE
2024

#settimanadiPC

SCUOLA DI INGEGNERIA STRUTTURALE – RELUIS

Bologna, 9-11 ottobre 2024

**Life Cycle Thinking e indici prestazionali integrati per la concezione e
valutazione degli interventi su edifici esistenti**

Costantino Menna, Chiara Passoni