



DIPARTIMENTO  
DI ECCELLENZA  
MUR



*Come l'ingegneria e la tecnologia possono garantire la sostenibilità delle strutture in calcestruzzo armato?*

17 Novembre 2023

AULA T1, PALAZZINA C

Università degli Studi di Napoli Federico II – CAMPUS SAN GIOVANNI

# **Tecniche e metodologie integrate per la sostenibilità di edifici esistenti in c.a.**

**Andrea Prota**, Università degli Studi di Napoli Federico II  
**Costantino Menna**, Università degli Studi di Napoli Federico II

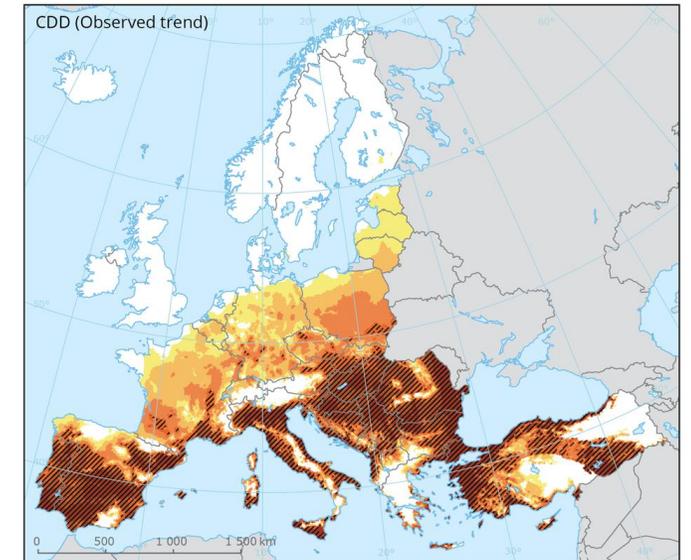
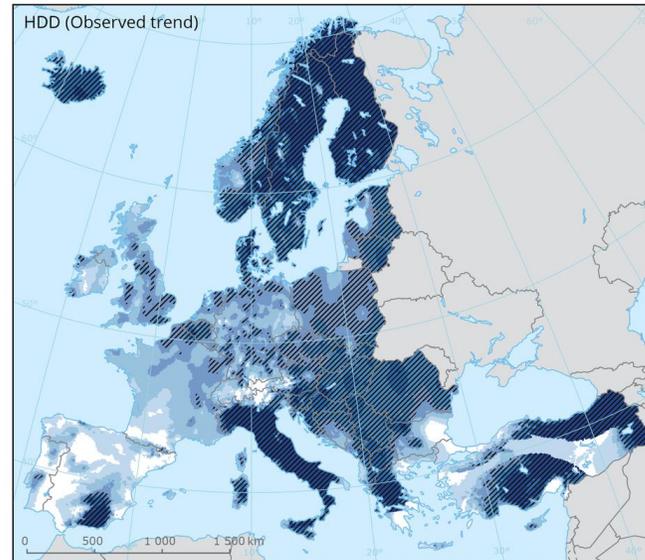
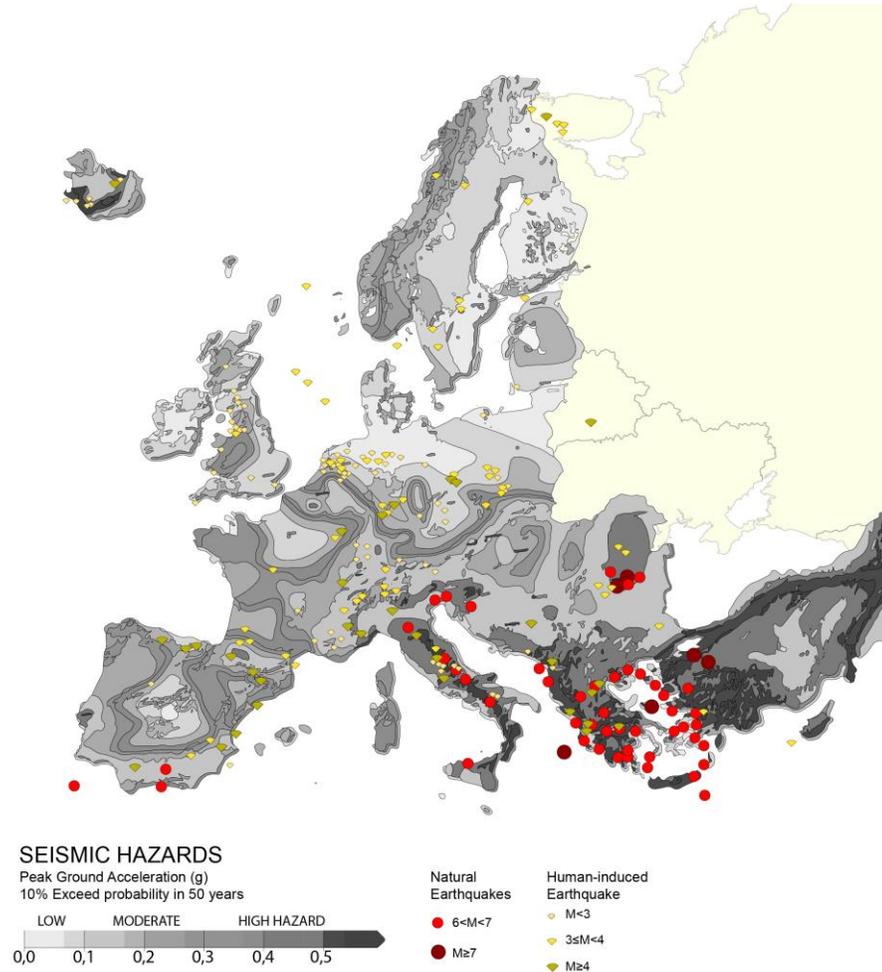


# Outline

- ***Motivation***: perchè abbiamo bisogno di metodi integrati?
- ***Tecniche integrate***: tecnologie e valutazione
- ***Principi***: su cosa si fonda la valutazione integrata?
- ***Classificazione***: principali gruppi di approcci metodologici
- **Esempi, risultati e conclusioni**

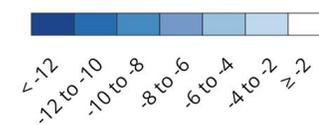
# Perché abbiamo bisogno di approcci metodologici integrati?

- Contesto geografico: severità climatica e rischio sismico estesi in Europa



Observed trend in heating and cooling degree days (1981-2017)

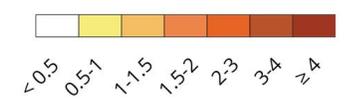
Heating degree days per year



Stippling depicts regions where the trend is statistically significant at 5% level

No data  
Outside scope

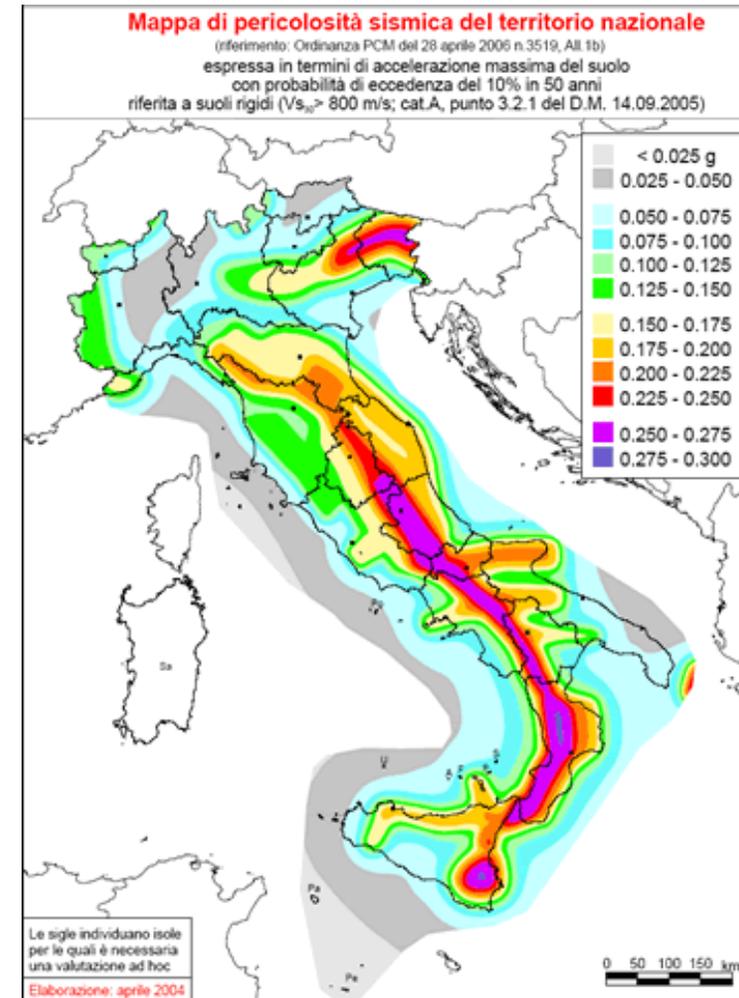
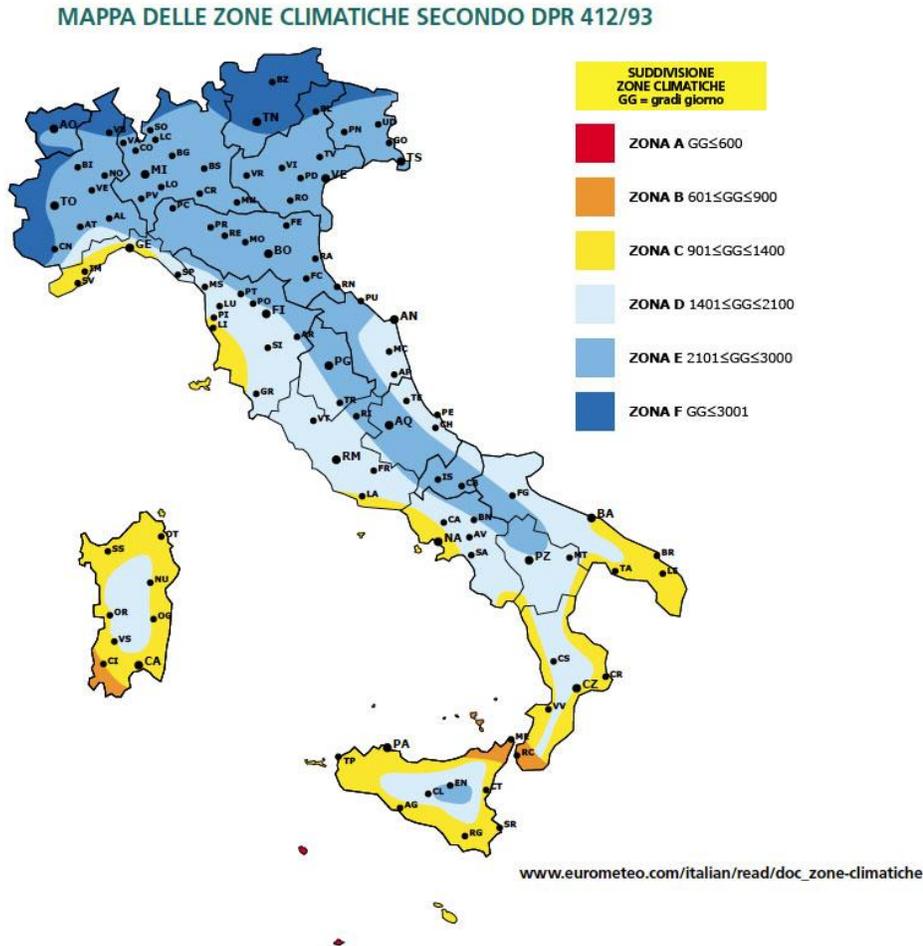
Cooling degree days per year



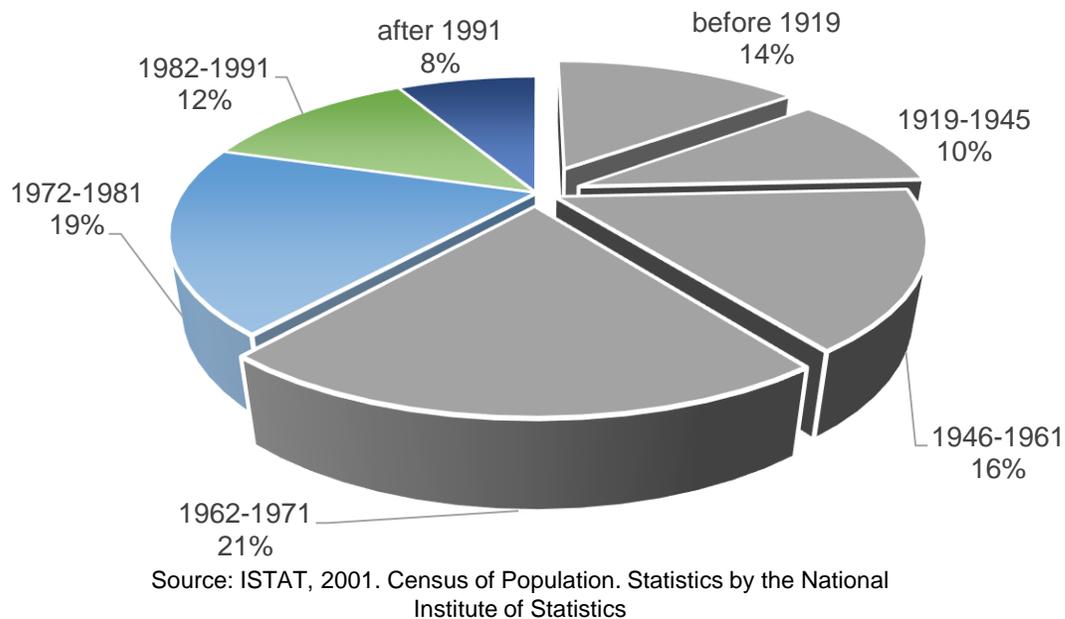
Observed trends in heating and CDDs In Europe (1981-2017). Visualisation source: European Environment Agency (EEA), 2019

Data from European Environment Agency (EEA) and the Human-Induced Earthquake Database

- **Contesto geografico: severità climatica e rischio sismico estesi in Europa**



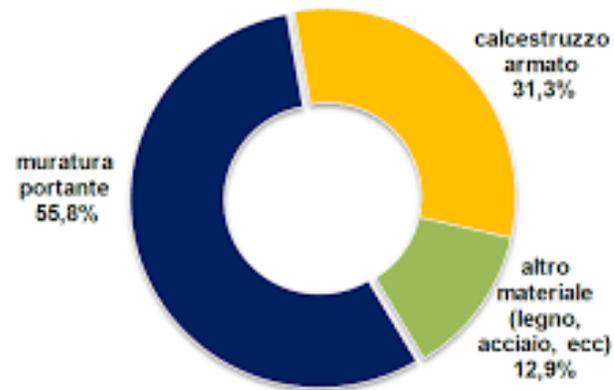
- **Edifici esistenti:** vulnerabilità sismica e scarsa efficienza energetica associata all'epoca di costruzione



- **1976 - 1977** - Legge 373/76 and D.M. 10/3/1977  
“*Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici*”
- **1974** - Legge n. 64 del 2 Febbraio 1974  
“*Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche*”

Circa il **55-60%** del patrimonio edilizio esistente è stato costruito senza alcuna misura progettuale per l'efficienza energetica e/o specifiche soluzioni antisismiche

- **Eterogeneità:** difficoltà ad analizzare il costruito italiano dal punto di vista dell'efficienza energetica e vulnerabilità sismica



Elaborazione Ance su dati Censimento Istat 2011

- Cemento armato
- Muratura
- Patrimonio storico-culturale
- Edifici aggregati
- Differenti rischi naturali

# Perché abbiamo bisogno di approcci metodologici integrati?

- **Integrazione:** scarsa consapevolezza degli effetti di “disaccoppiamento” delle misure di retrofit energetico e sismico



**August 2016 - Central Italy earthquake**

# Perché abbiamo bisogno di approcci metodologici integrati?

- **Obiettivi di sostenibilità:** contributo degli aspetti sismici ed energetici



- **Obiettivi di sostenibilità:** contributo degli aspetti **sismici** ed energetici

## SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOAL 11

Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable



**11.A** Support positive economic, social and environmental links between urban, peri-urban and rural areas by strengthening national and regional development planning

**11.A.1** Proportion of population living in cities that implement urban and regional development plans integrating population projections and resource needs, by size of city

**11.B** By 2020, substantially increase the number of cities and human settlements adopting and implementing integrated policies and plans towards inclusion, resource efficiency, mitigation and adaptation to climate change, resilience to disasters, and develop and implement, in line with the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030, holistic disaster risk management at all levels

**11.B.1** Proportion of local governments that adopt and implement local disaster risk reduction strategies in line with the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030a

**11.B.2** Number of countries with national and local disaster risk reduction strategiesa

**11.C** Support least developed countries, including through financial and technical assistance, in building sustainable and resilient buildings utilizing local materials

**11.C.1** Proportion of financial support to the least developed countries that is allocated to the construction and retrofitting of sustainable, resilient and resource-efficient buildings utilizing local materials

## ■ Obiettivi di sostenibilità: contributo degli aspetti sismici ed **energetici**

**Goals**

### 7 Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all

**Target 7.3**  
By 2030, double the global rate of improvement in energy efficiency

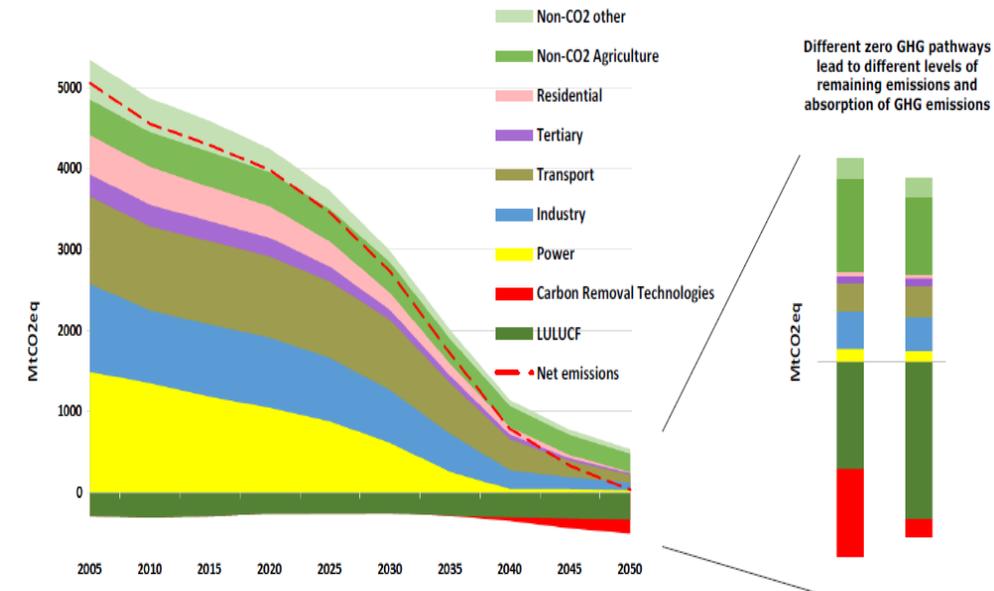
**Indicators**

**7.3.1**  
Energy intensity measured in terms of primary energy and GDP

**Target 7.a**  
By 2030, enhance international cooperation to facilitate access to clean energy research and technology, including renewable energy, energy efficiency and advanced and cleaner fossil-fuel technology, and promote investment in energy infrastructure and clean energy technology

**Indicators**

**7.a.1**  
International financial flows to developing countries in support of clean energy research and development and renewable energy production, including in hybrid systems



A Clean Planet for all A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy

- **Obiettivi di sostenibilità:** contributo degli aspetti sismici ed energetici



European Commission

English Log in

## Building renovation makerspace

Home | About | Policy | Activities | Data access | News & Events | Contact Us

Integrated techniques for the seismic and energy retrofit of buildings

Technologies for seismic strengthening and energy upgrading

Assessment methodologies

Regional impact assessment

Technologies for combined upgrading

Stakeholders' engagement

### Integrated techniques for the seismic and energy retrofit of buildings

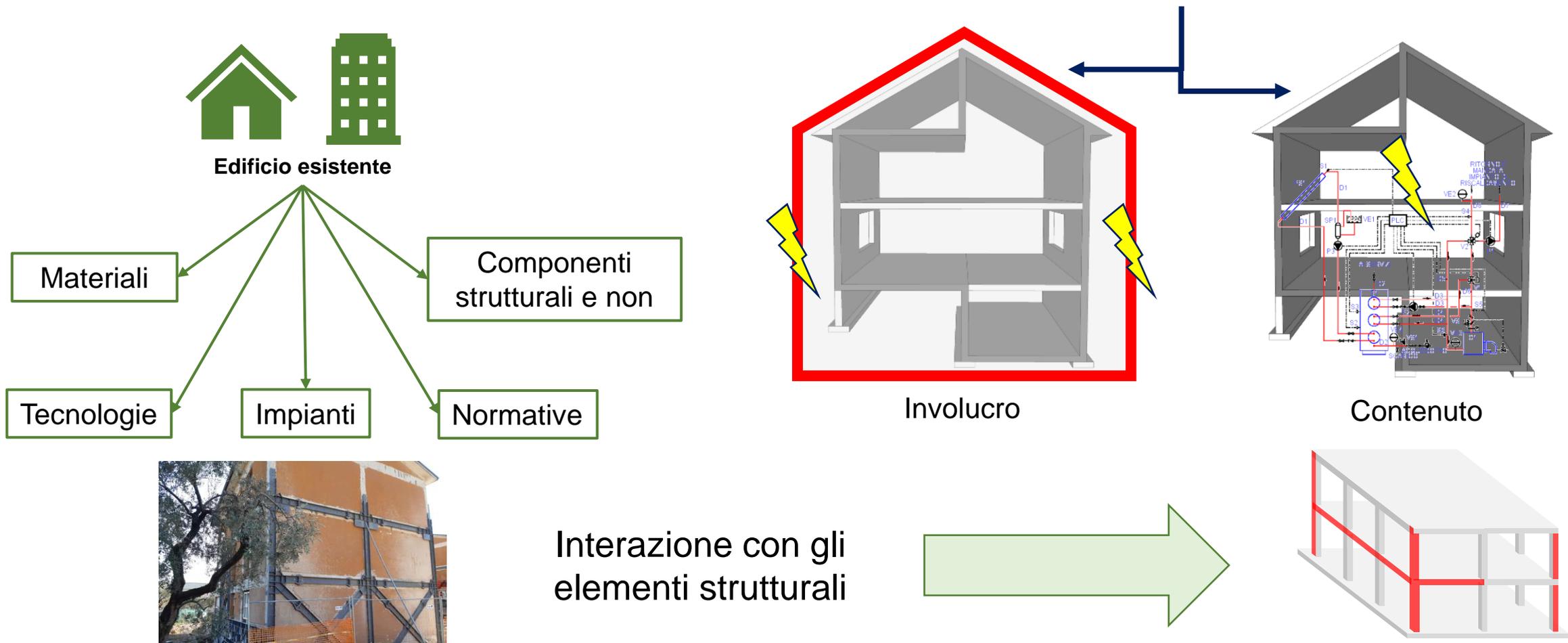
The European pilot project '**Integrated techniques for the seismic strengthening and energy efficiency of existing buildings**' provides open-access and timely information and data relevant to support renovation projects on ageing buildings across the EU.

In a policy context, it provides scientific advice to support the development of an action plan, which shall supplement existing European Union policies and initiatives in the field of building renovation. Crucially, the [European Green Deal](#) emphasises the need for a [Renovation Wave](#), supported by the [New European Bauhaus](#) to create sustainable, inclusive and beautiful living spaces.

The project was initiated by the European Parliament and is conducted by the European Commission's Joint Research Centre.

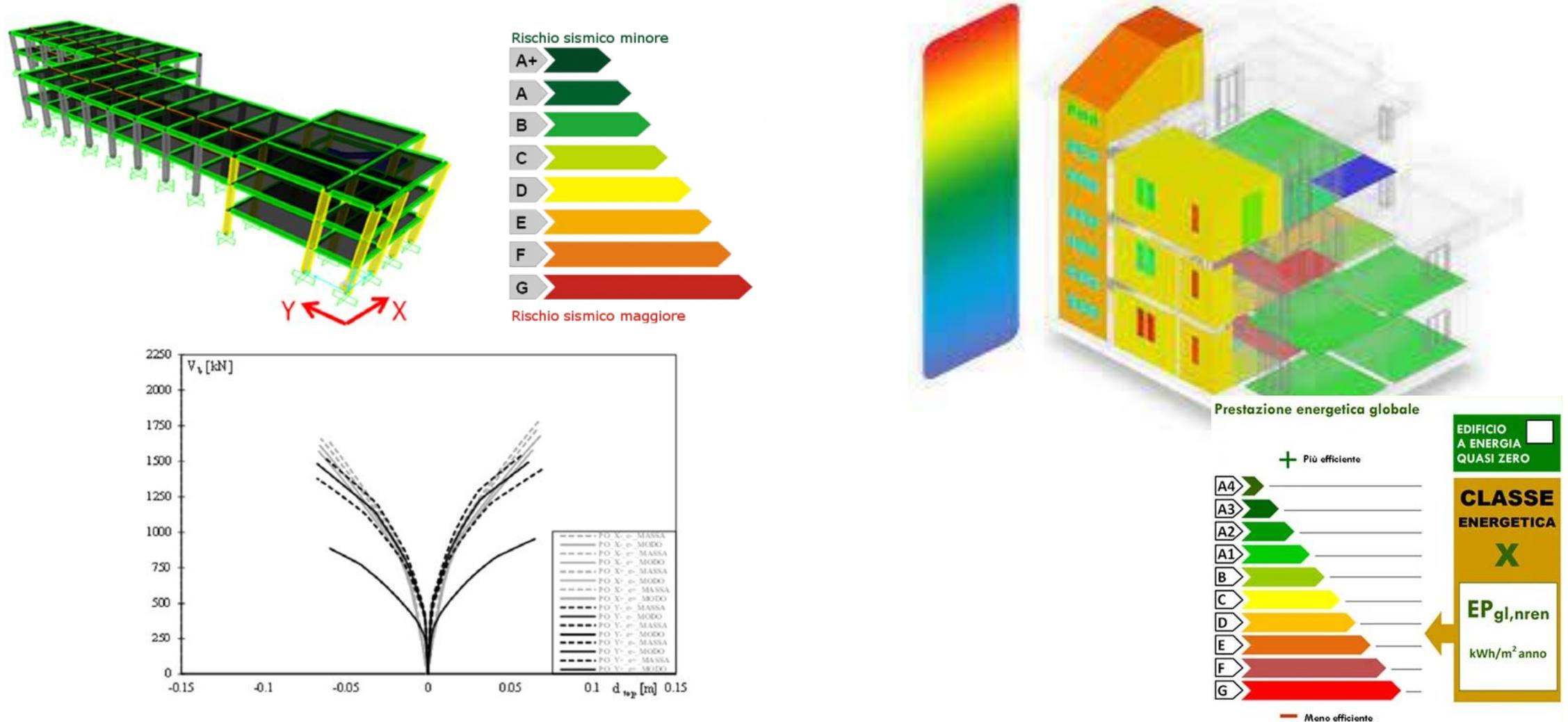
Guarda su YouTube

- *Applicazione delle tecniche di retrofit:* influenza su diversi elementi di un edificio e varietà di tecnologie



Interazione con gli elementi strutturali

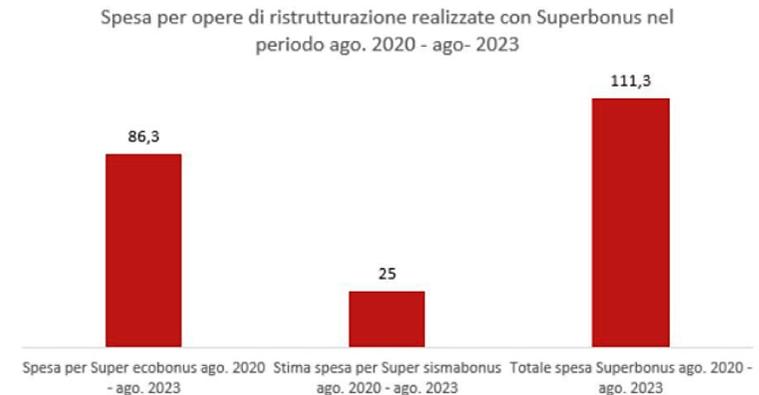
- Metriche di analisi:** differenti principi teorici e output delle analisi



# Limiti nell'implementazione di approcci metodologici integrati

- Complessiva incertezza normativa e politiche di austerità avverse agli incentivi
- Probabile quadro con superbonus senza cessione del credito o sconto in fattura e con un'aliquota ridotta al 70%, di fatto diventa meno vantaggioso dell'Ecobonus
- Proroga Sismabonus???
- Ridimensionamento anche delle Direttive UE in materia di case green, assenza di strumenti UE dedicati alla sicurezza

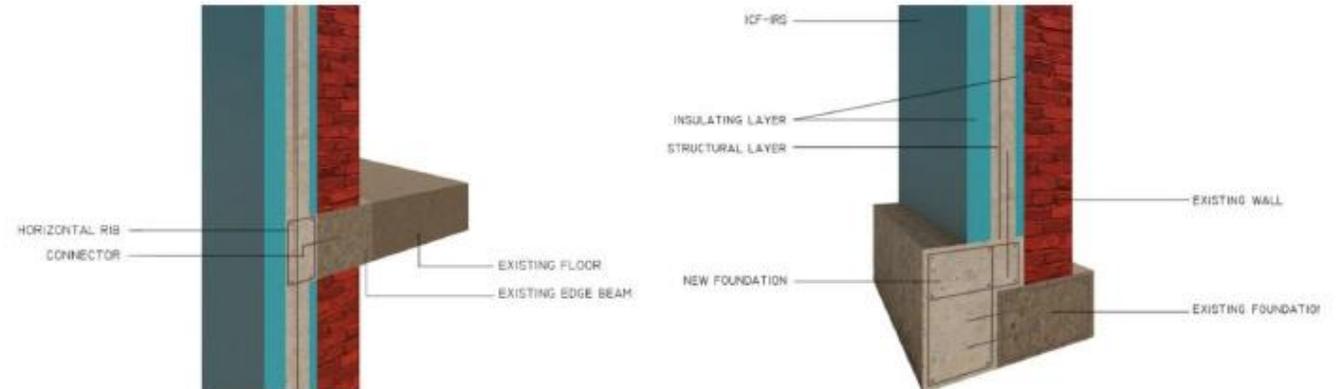
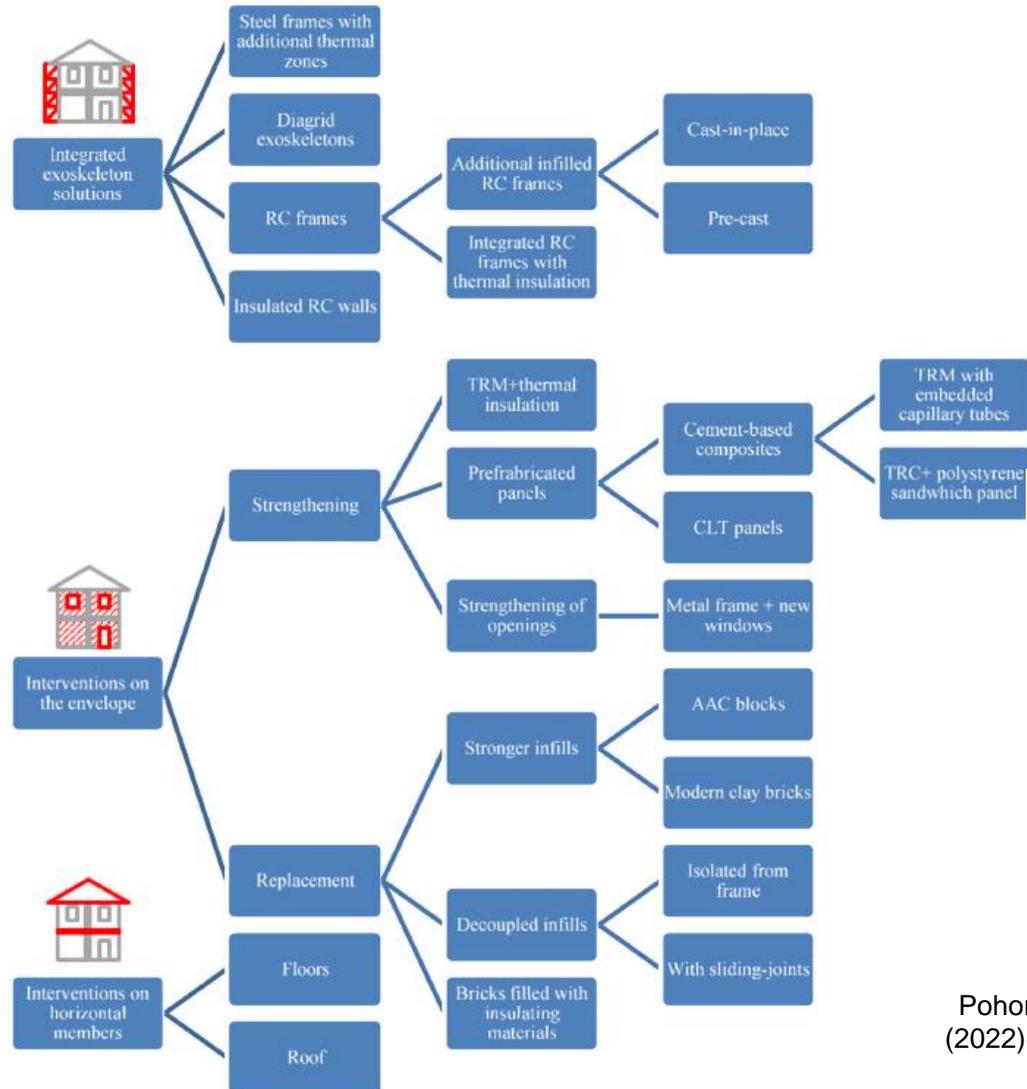
**Investimenti per super-ecobonus circa 3 volte superiori rispetto al super-sismabonus!**



Fonte: elaborazione Centro Studi CNI su dati Enea e Agenzia delle Entrate

# Sviluppo di tecniche integrate

## ■ *Tecniche di retrofit integrato: un panorama complesso*



Pohoryles, D. A., Bournas, D. A., Da Porto, F., Caprino, A., Santarsiero, G., & Triantafyllou, T. (2022). Integrated seismic and energy retrofitting of existing buildings: A state-of-the-art review. *Journal of Building Engineering*, 105274.

# Sviluppo di tecniche integrate

**UNIVERSITA' - ENTI (23) e U.R. (40) COINVOLTE**

**WP5: Interventi integrati e sostenibili per la riqualificazione di edifici esistenti**



Università di Padova  
F. da Porto, M.R. Valluzzi



Università di Napoli Federico II  
A. Prota, R. Landolfo,  
E. Nigro, G.M. Verderame,  
G. Della Corte, C. Menna,  
G. Brandonisio, F. Portioli  
F. Marotti De Sciarra



Università di Salerno  
G. Rizzano



Università di Pavia  
R. Pinho, A. Penna/F.Graziotti



Università di Bergamo  
A. Marini



Università di Genova  
S. Lagomarsino / S. Cattari



Università della Basilicata  
G. Santarsiero



Università della Campania  
A. Mandara



ITC - CNR  
C. Modena



Università La Sapienza  
L. Sorrentino, L. Giresini  
G. Monti / N. Nisticò



Università di Napoli  
Parthenope  
N. Caterino



Politecnico di Milano  
C. Chesi, G. Milani



Università di Brescia  
G. Metelli



IUSS – Pavia  
R. Monteiro, G.M. Calvi



Università del Sannio  
A. De Angelis, C. Del Vecchio,  
L. Di Sarno



Università di Cagliari  
M. Sassu



Università di Udine  
M. Pauletta



Università di Trento  
I. Giongo



Università di Trieste  
N. Gattesco



Politecnico di Torino  
G. Ferro



Università di Parma  
G. Royer Carfagni



Università di Catania  
I. Calìo  
C.F. Carocci

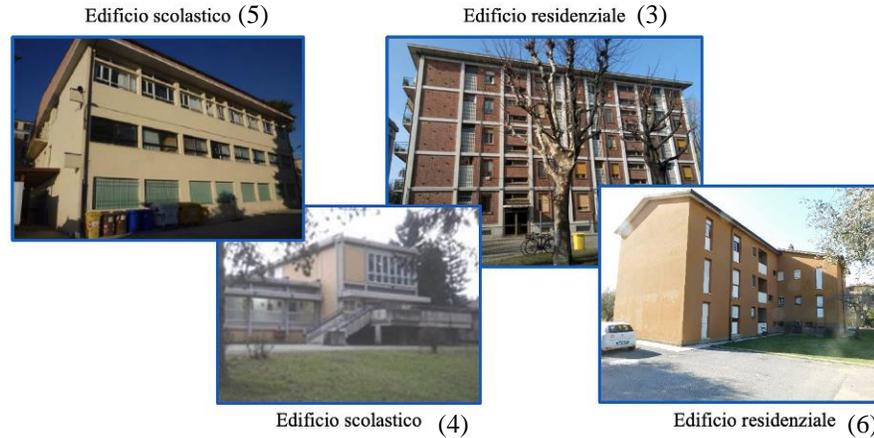
# Sviluppo di tecniche integrate

**12 casi studio - 4 C.A., 2 acciaio, 6 muratura, 48 soluzioni di intervento**

*(Consegnati in formato completo, in pubblicazione)*

**UNIVERSITA' - ENTI (23) e U.R. (40) COINVOLTE**

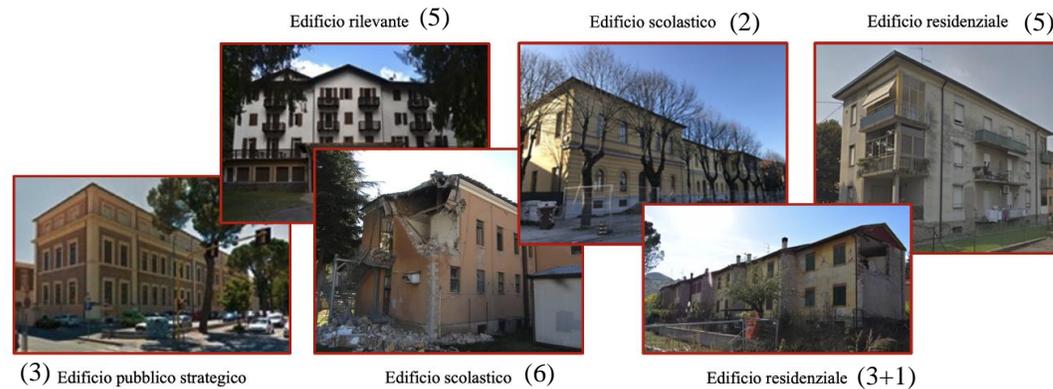
**WP5: Interventi integrati e sostenibili per la riqualificazione di edifici esistenti**



*Figura 2-1: Edifici calcestruzzo armato selezionati come casi studio.*



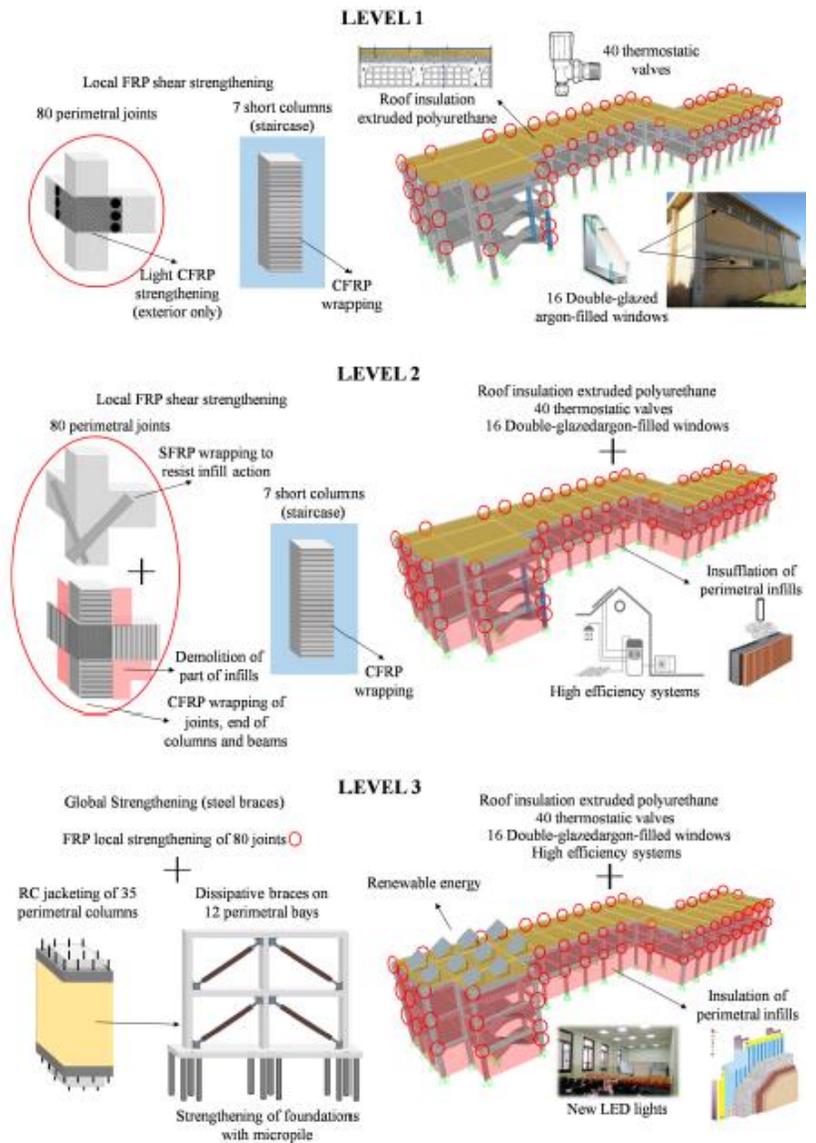
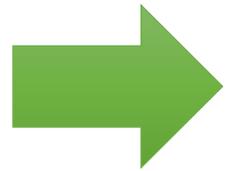
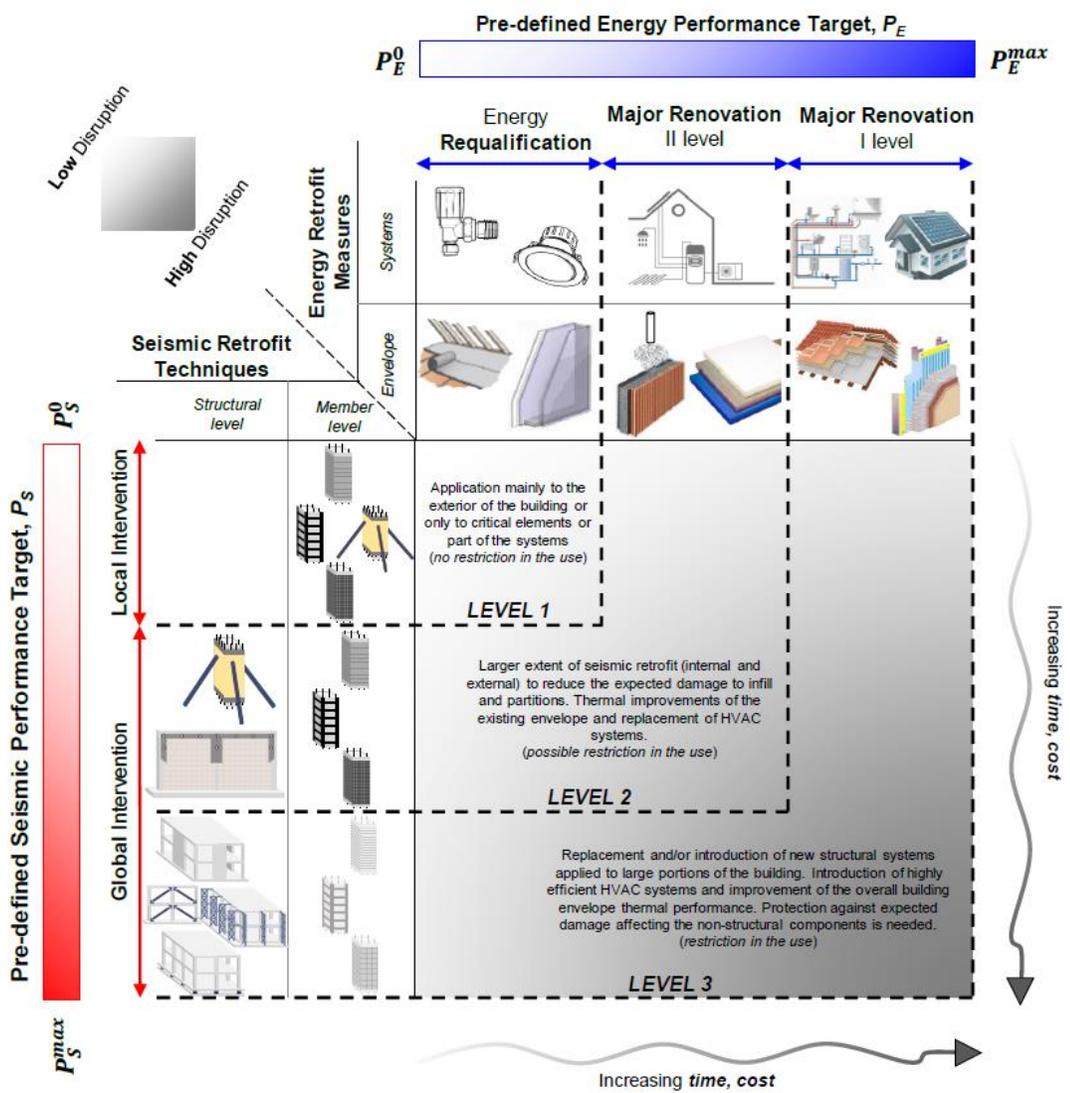
*Figura 2-2: Edifici in acciaio selezionati come casi studio.*



*Figura 2-3: Edifici in muratura portante selezionati come casi studio.*

# Sviluppo di approcci metodologici integrati

## Metodi integrati: retrofit incrementale

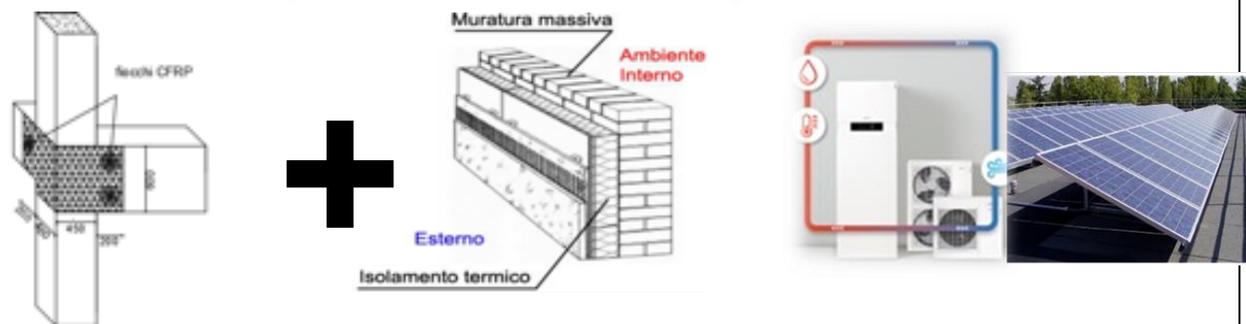
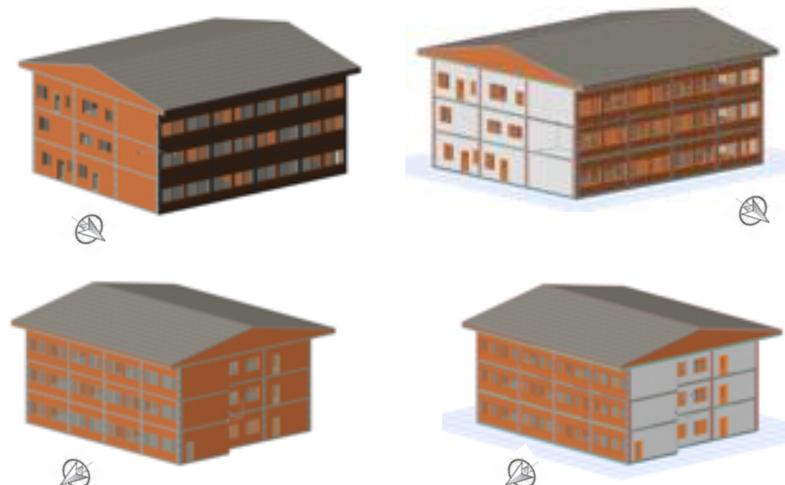


# Sviluppo di tecniche integrate

Linee guida per i progettisti

## Edifici casi studio

### Scuola superiore (Centro Italia)



- Diverse soluzioni di rinforzo integrate (FRP solo esterno, controventi dissipativi, esoscheletri)
- Linee guida per la progettazione, dettagli costruttivi, stima di tempi e costi d'esecuzione



[http://www.reluis.it/index.php?option=com\\_content&view=article&id=688&lang=it](http://www.reluis.it/index.php?option=com_content&view=article&id=688&lang=it)

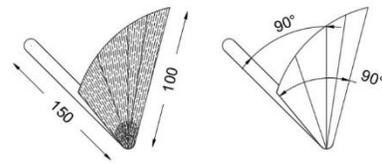
# Sviluppo di tecniche integrate

**T\_1L - 16A**

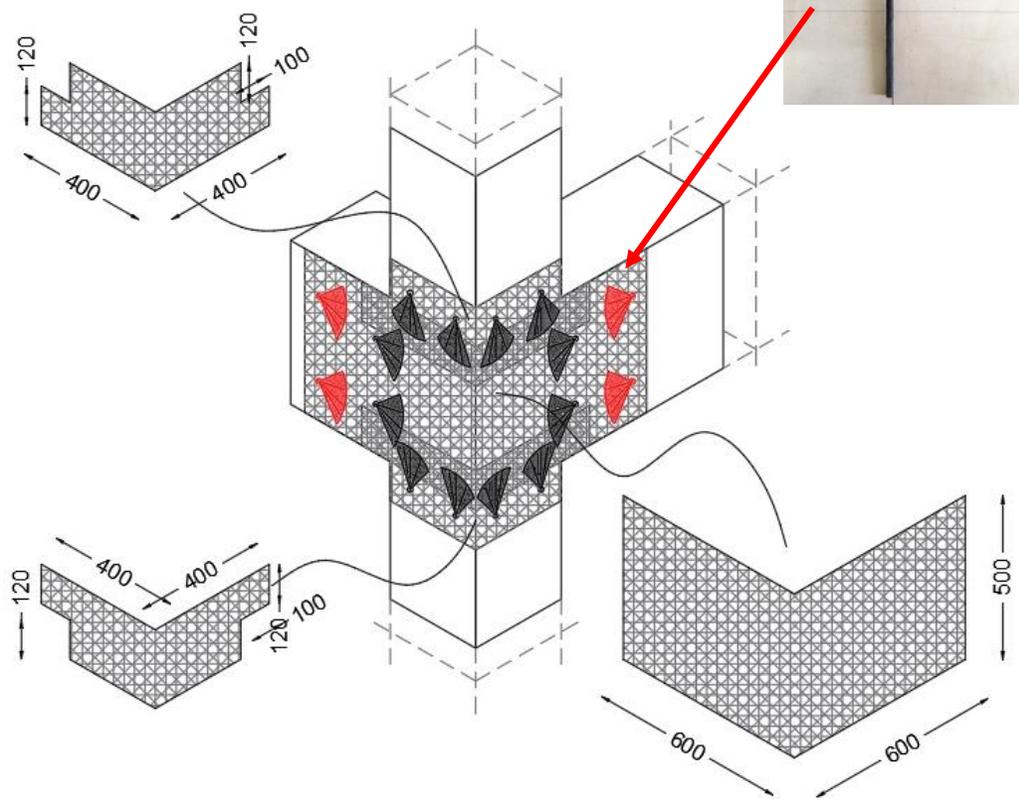


CFRP spikes (anchors)

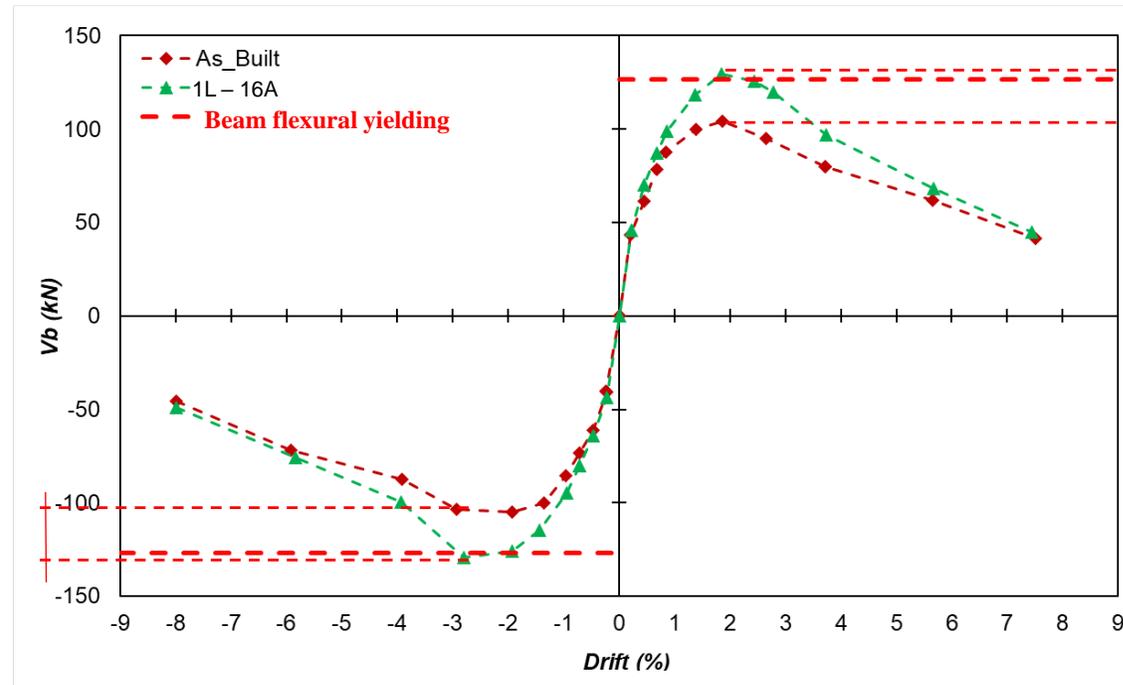
**16 spikes  $\phi$  10 mm**



**Nessuna delaminazione**



**1 layer quadriaxial CFRP 380g/m<sup>2</sup>**



**$\Delta_F = 24\%$**

**Il rinforzo ha ritardato la crisi fragile del nodo a dopo lo snervamento della trave**

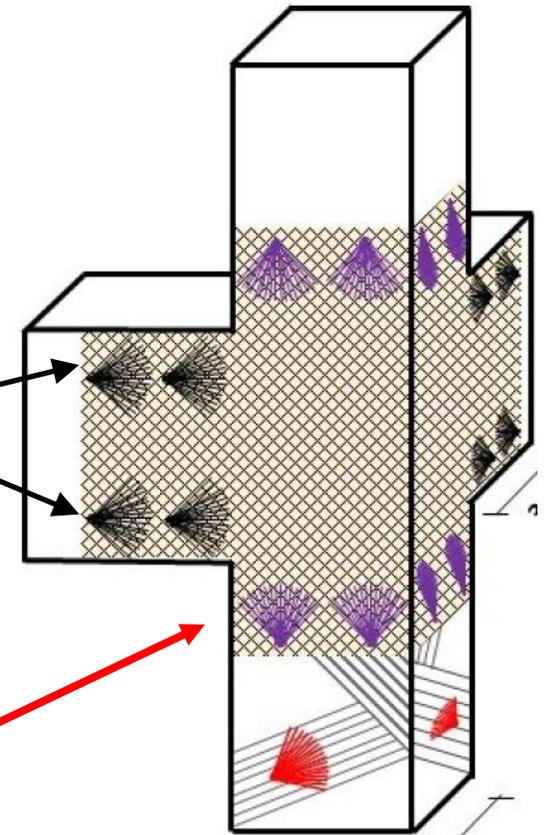
# Sviluppo di tecniche integrate



Rinforzo a taglio del pannello di nodo e della testa del pilastro (FRP)

Fiocchi per applicazione solo esterno

**Nessuna demolizione della tamponatura**





## Validazione in scala reale

FRCM sulla cornice della tamponatura

Presidio anti-ribaltamento della tamponatura

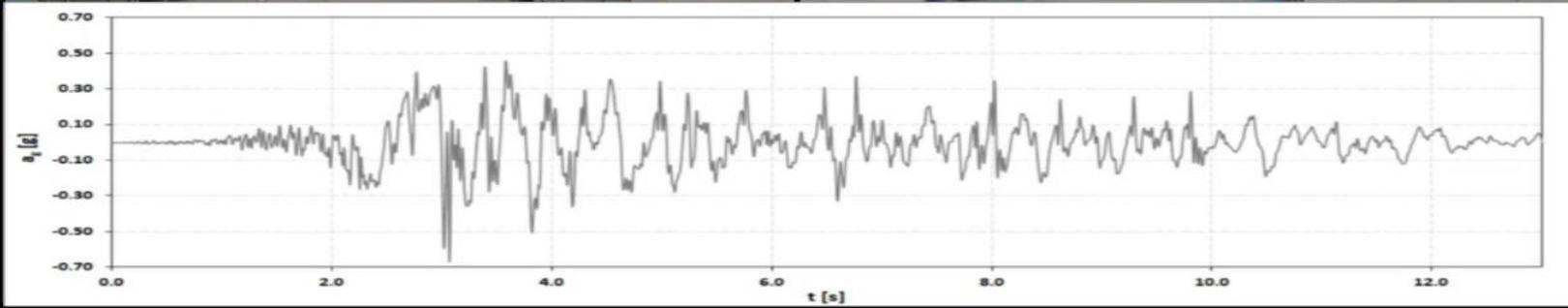
As-built



FRP strengthened



150%\_AQQ  
L'Aquila 2009



# Sviluppo di metodologie di valutazione integrate

## Classificazione



1. Ottimizzazione simultanea delle prestazioni sismiche, energetiche ed ambientali
2. Minimizzazione/massimizzazione parametri prestazionali «tradizionali»
3. Minimizzazione/massimizzazione parametri prestazionali definiti «ex novo»

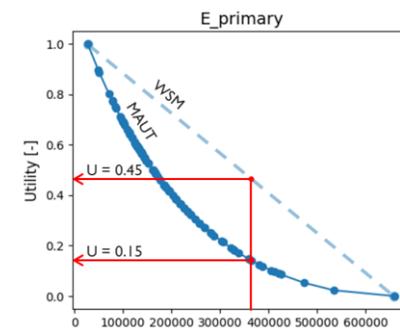
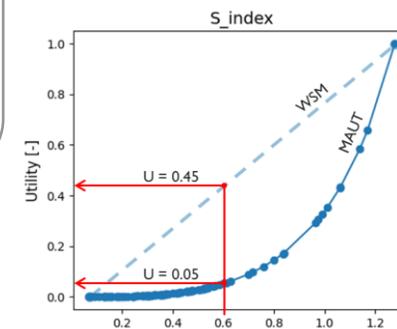
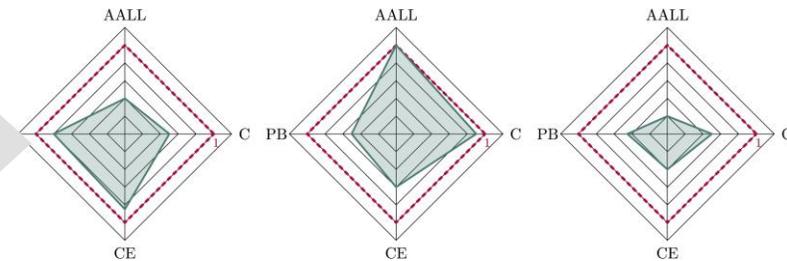
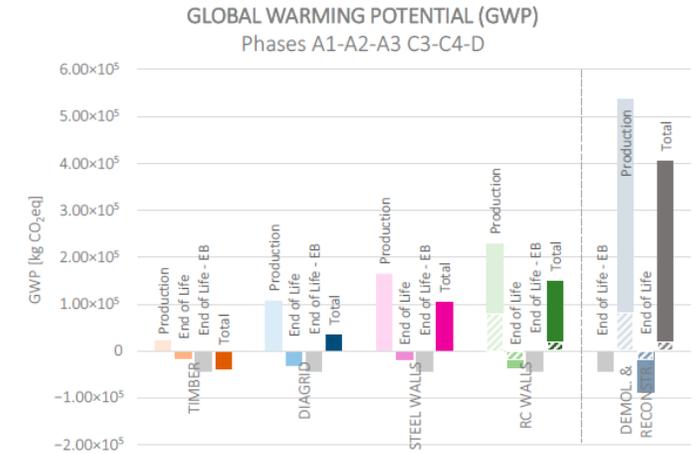
**1. Interventi Incrementali:**  
target prestazionali Sis-En

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

**3. Ottimizzazione dei costi:**  
optimal, MCDM

**4. Metodi olistici e/o basati su LCT**

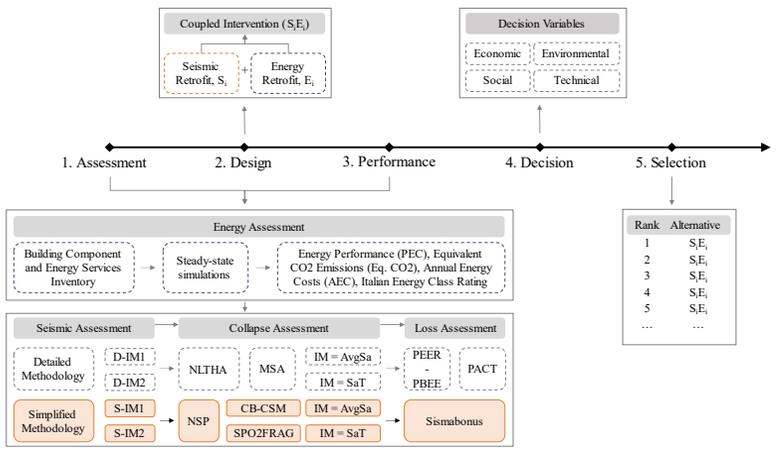
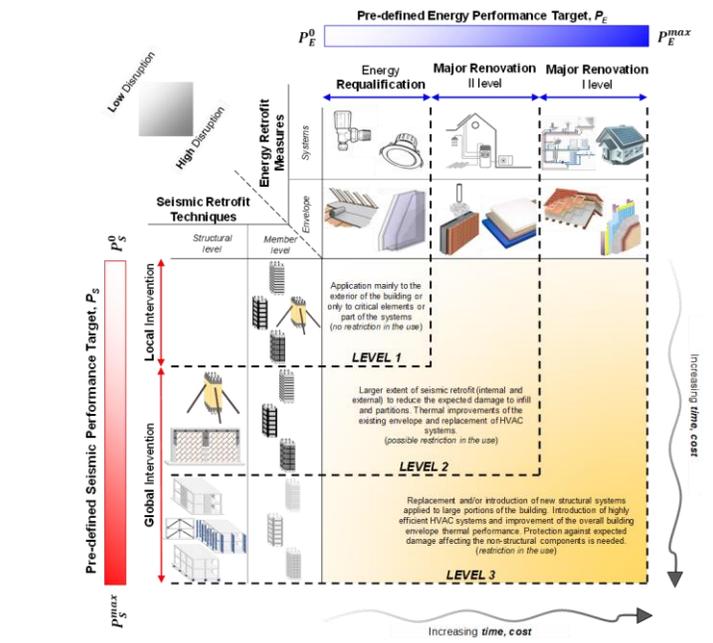
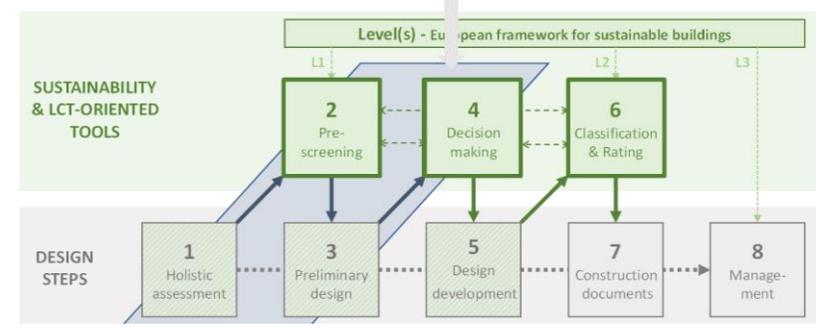
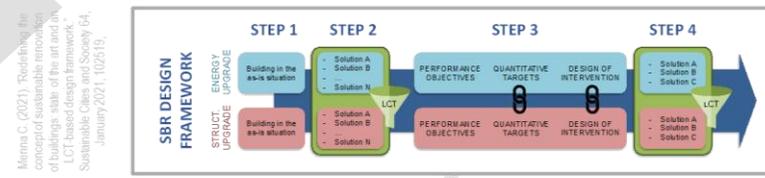
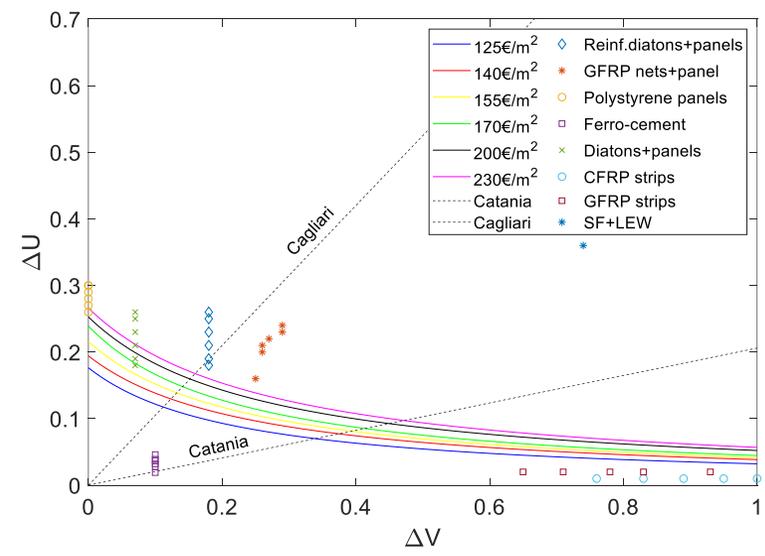
*Constraints*  
**tempi, costi, invasività**



# Sviluppo di metodologie di valutazione integrate

## Classificazione

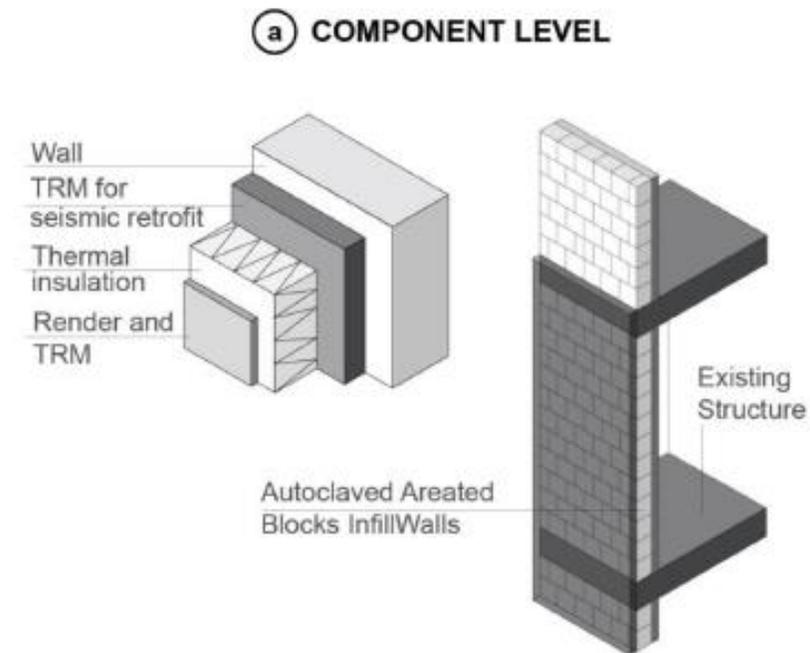
1. Interventi Incrementali: target prestazionali Sis-En
2. Definizione di curve di Iso-performance per le tecniche
3. Ottimizzazione dei costi: optimal, MCDM
4. Metodi olistici e/o basati su LCT



**Constraints**  
tempi, costi, invasività

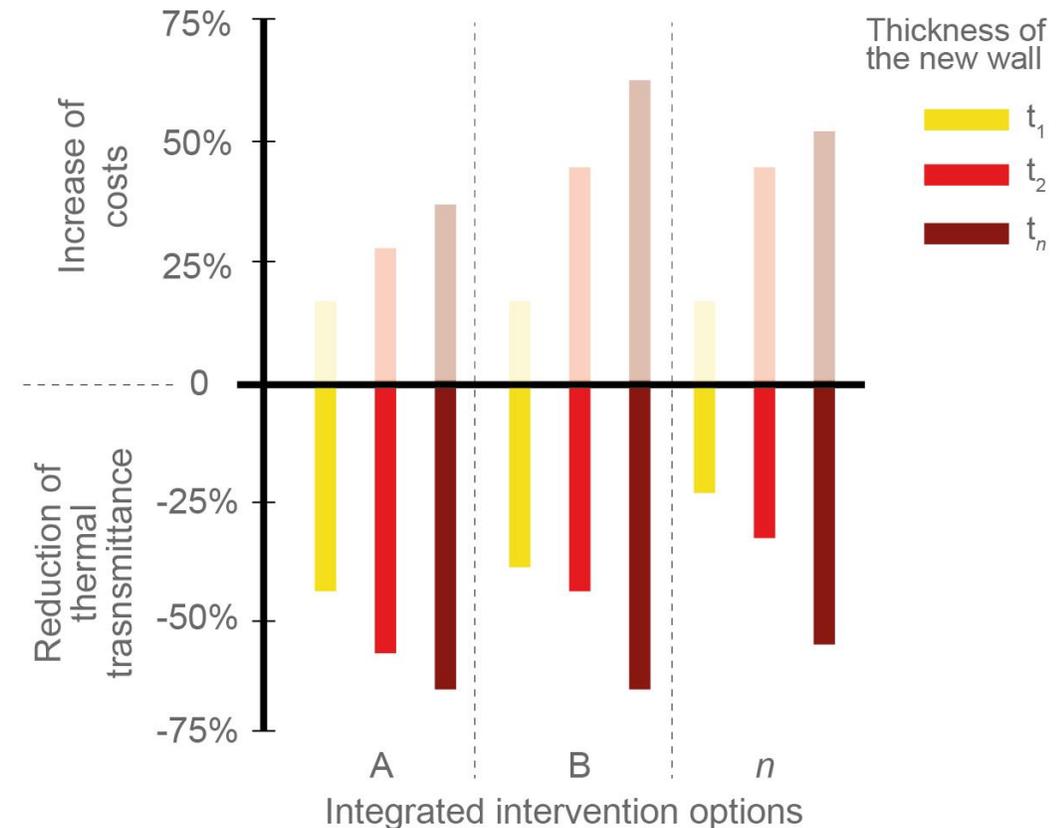
# Sviluppo di approcci metodologici integrati

- *Metodi integrati: applicazione a componenti edilizi*
- Determinare la **convenienza economica** iniziale dei processi di retrofit applicati a edifici esistenti nella fase di **pre-uso**
- Prevalenza per la in **muratura** (piuttosto che strutture esistenti in ca) che richiede miglioramenti strutturali ed energetici o anche in combinazione con un adeguamento sismico di edifici danneggiati dai terremoti
- Componenti: **involucro edilizio**, ad esempio **pareti** in muratura o intere **facciate**
- La valutazione delle prestazioni strutturali ed energetiche è limitata al **componente** stesso piuttosto che all'intero edificio, al quale è tipicamente associata un'analisi più complessa



# Sviluppo di approcci metodologici integrati

- Metodi integrati: applicazione a componenti edilizi (*parete singola*)**
  - Valutazione della riduzione della **trasmissione termica** (valore U) (espressa in % rispetto alla muratura non soggetta a retrofit) rispetto ai **costi di investimento globali (iniziali)**
  - Insieme di soluzioni sismico/energetiche combinate e **tecnologicamente compatibili** applicate a diverse tipologie di pareti in muratura con **differenti valori di spessore di parete**
  - No prestazioni a lungo termine ma utilità nel quantificare il risparmio economico legato alle **lavorazioni congiunte**

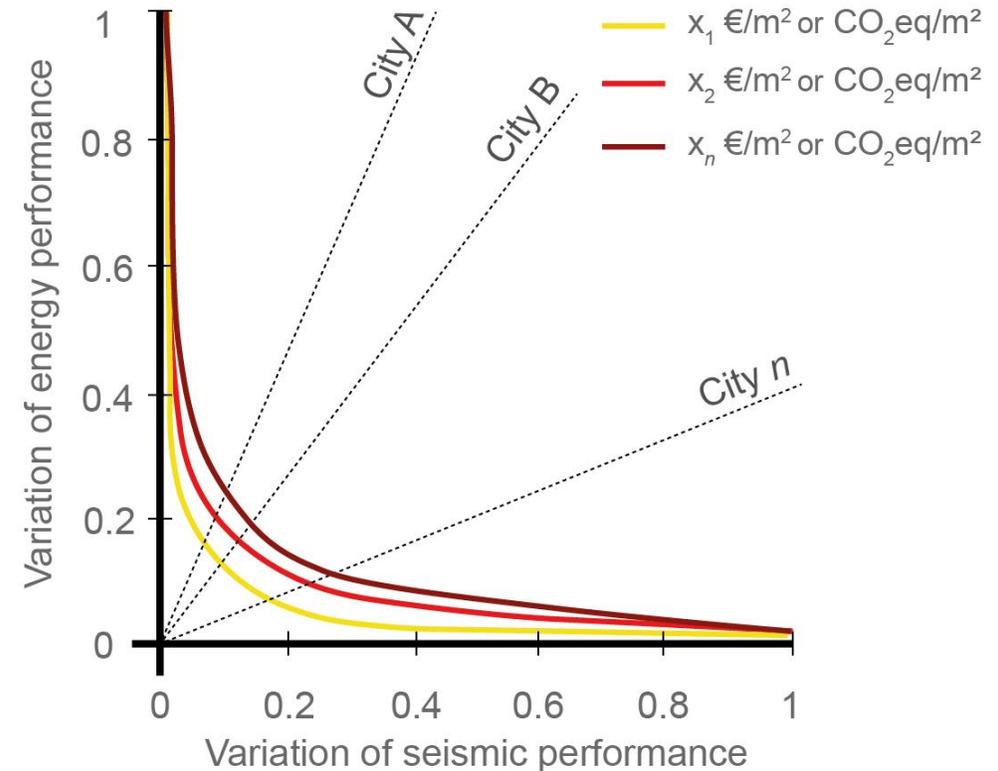


(a)

(De Vita et al., 2018)

# Sviluppo di approcci metodologici integrati

- Metodi integrati: applicazione a componenti edilizi (**parete singola**)
  - Relazione tra l'incremento relativo della **resistenza strutturale** e la variazione relativa delle **proprietà termiche** di una singola parete unitaria (1×1 m)
  - Serie di possibili scenari integrati di retrofitting assumendo che il costo dell'**investimento iniziale** (espresso in €/m<sup>2</sup>) o la massa di **CO<sub>2</sub>eq** prodotta (espressa in kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>) sia **costante (budget)**
  - Prestazioni: momento flettente della parete, **ΔM** (o resistenza al taglio nel piano, **ΔV**) e resistenza termica **ΔR** (o inerzia termica **ΔT**)
  - Variazione spessori layer



(Giresini, L. et al., 2020)

# Sviluppo di approcci metodologici integrati

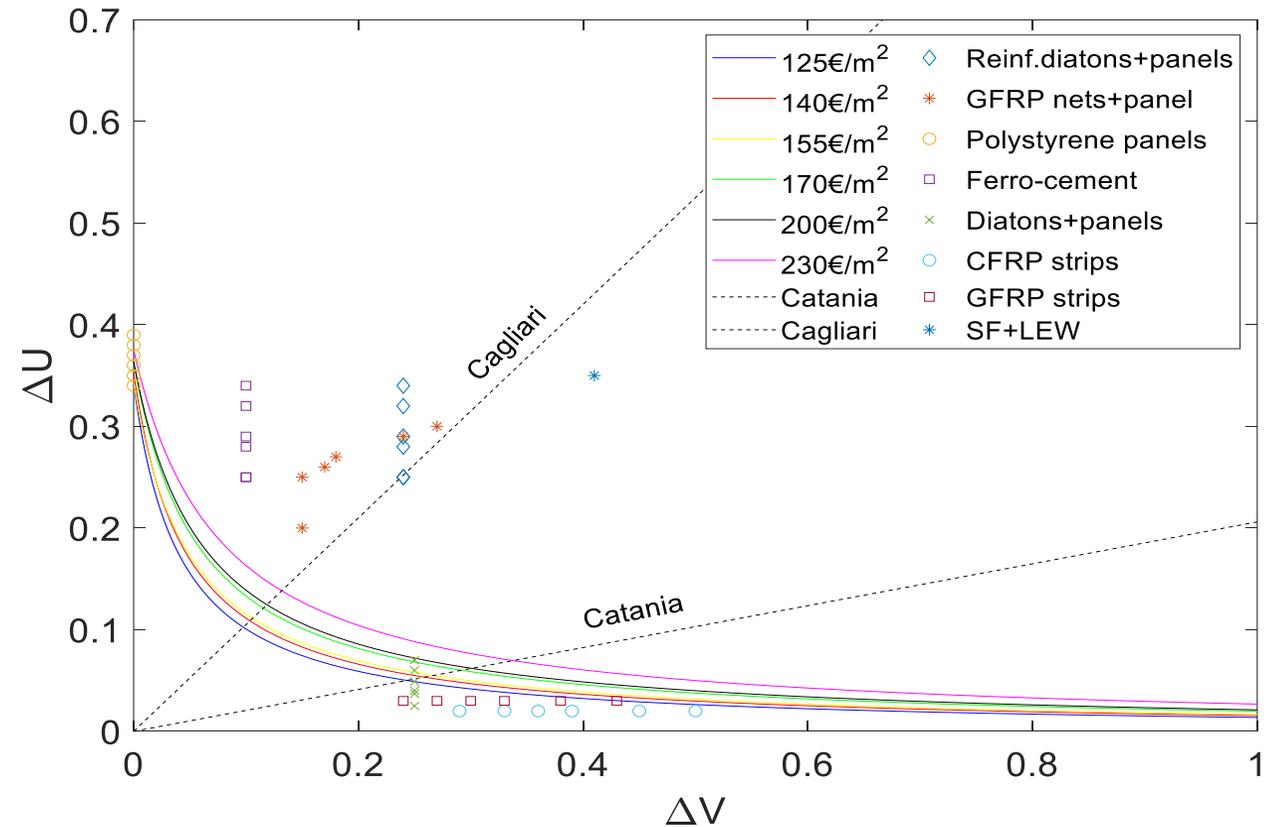
- Metodi integrati: applicazione a componenti edilizi (**parete singola**)

- Curve di **Iso-costo** o **Iso-prestazione**

$$\Delta R(\alpha_1 - \Delta M) = \alpha_0 \quad \text{or} \quad \Delta R(\alpha_1 - \Delta V) = \alpha_0$$

$$\Delta R = \alpha \frac{C_R}{C_u} \Delta M \quad \text{or} \quad \Delta R = \alpha \frac{C_R}{C_u} \Delta V$$

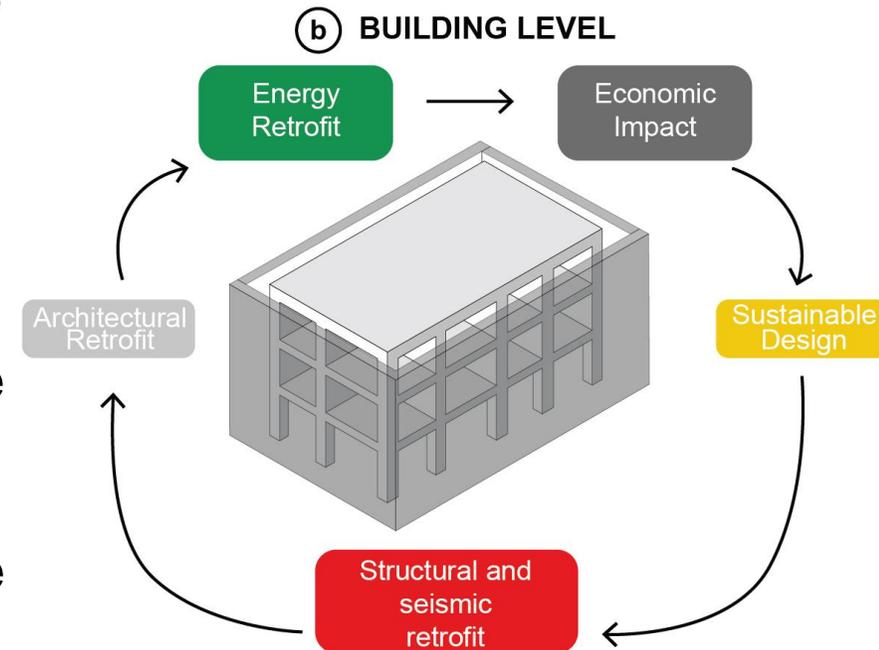
$$C_R = \frac{PGA_i}{PGA_{max}} \quad \text{and} \quad C_U = \frac{DD_i}{DD_{max}}$$



(Giresini, L. et al., 2020)

# Sviluppo di approcci metodologici integrati

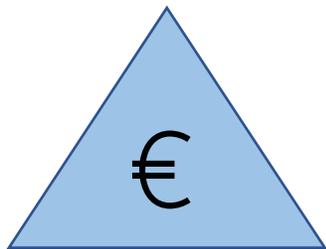
- Metodi integrati: applicazione all'intero edificio
- Richiesta di un retrofit più **intensivo** a causa delle significative carenze termiche e sismiche dell'edificio esistente
- Necessario un **approccio globale** alla progettazione/valutazione dell'intervento
- Effetti strutturali in termini di variazione di resistenza, duttilità e capacità → **analisi globale dell'edificio**
- Valutazione dell'efficienza energetica a causa delle complesse modifiche generate nell'intero **involucro** edilizio



Prestazioni termiche-sismiche combinate «tradotte» attraverso una **metrica globale** per quantificare il miglioramento complessivo dell'efficienza (efficienza termica, sismica o, più in generale, di sostenibilità)

# Sviluppo di approcci metodologici integrati

- **Metodi integrati: applicazione all'intero edificio – approccio economico**
  - Quantità di outputs in **diverse unità di misura** che non possono essere **sommate** per ottenere un unico parametro globale rappresentativo dell'intervento integrato
  - Convertire i risultati delle analisi sismiche, energetiche e di impatto ambientale in **unità monetarie (ovvero costi "equivalenti")**, che vengono poi utilizzati come base per confrontare diversi scenari di retrofitting
- Costi economici e ambientali correlati ai danni dovuti a calamità naturali (ad es. terremoti) → **perdite annuali attese sismiche (EAL)**
  - **Costo medio annuo dell'energia** derivante dalla stima del consumo totale annuo di energia (**PEC**)
  - Ulteriori indicatori di prestazione (es. **CO2eq**) possono essere quantificati e associati al processo di retrofit mediante opportune trasformazioni in termini monetari



**CICLO DI VITA**

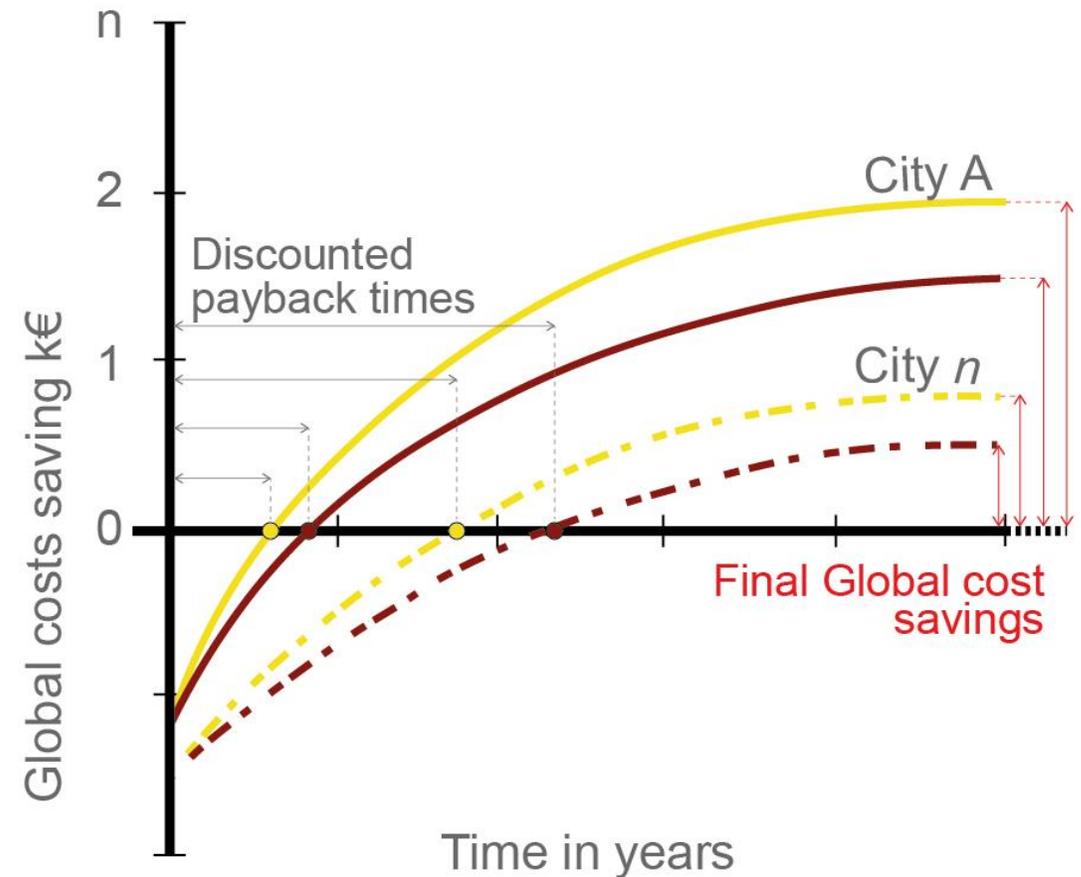


# Sviluppo di approcci metodologici integrati

- Metodi integrati: applicazione all'intero edificio – approccio economico***
- EAL<sub>S</sub>, evaluated in line with the PEER PBEE methodology and using fragility curves and damage-to-loss functions of the building typology
- EAL<sub>E</sub>, computed from the primary energy use due to the heating and cooling demands per unit of conditioned floor area (kWh/m<sup>2</sup>)

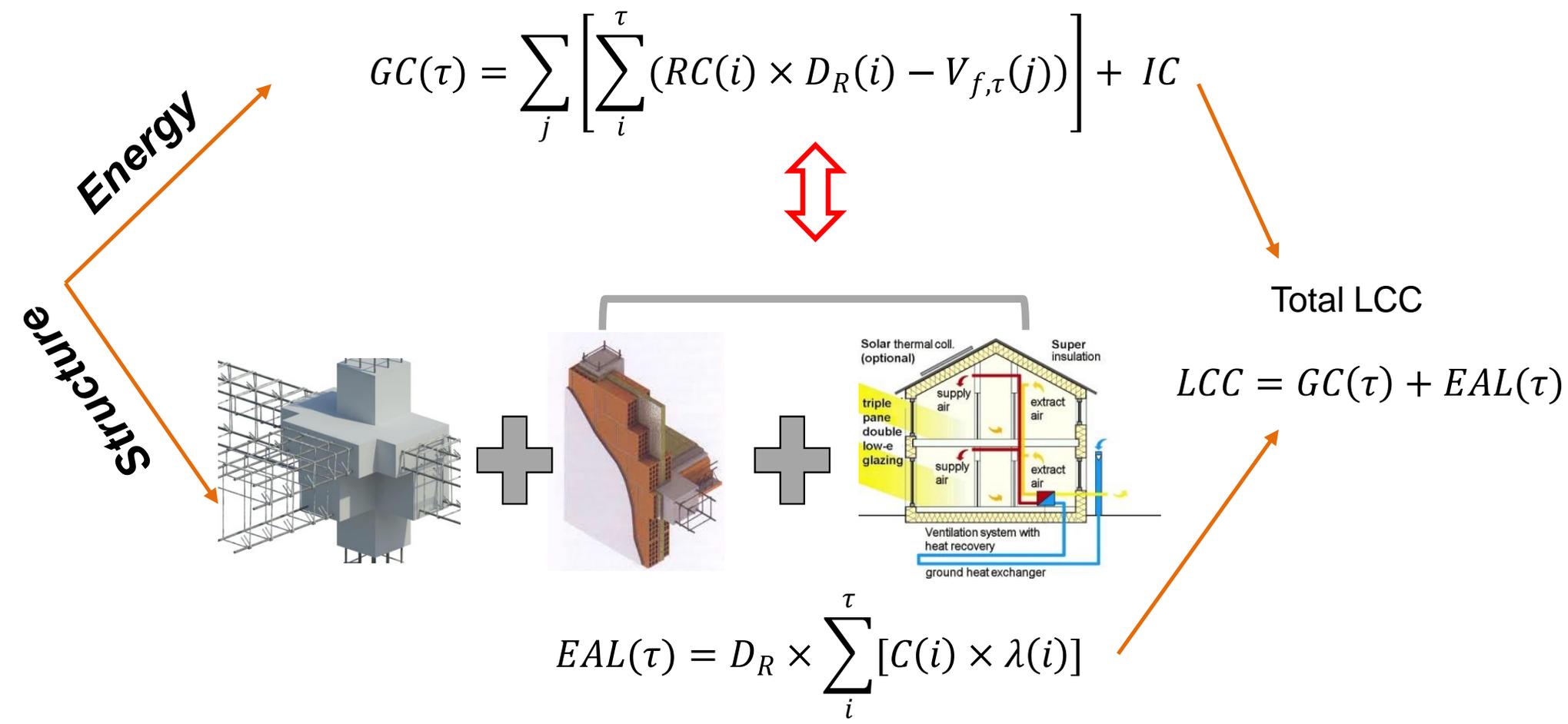
$$EAL_C = EAL_E + EAL_S$$

$$\Delta EAL_C = EAL_{C,i} - EAL_{C,r}$$



# Sviluppo di approcci metodologici integrati

- Metodi integrati: applicazione all'intero edificio – approccio economico



# Sviluppo di approcci metodologici integrati

## Metodi integrati: applicazione all'intero edificio – **approccio economico**

- ❑ Edificio residenziale in c.a. – anni '60
- ❑ Bassa resistenza termica ( $U > 1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ )



### 1. Cost-optimal retrofit energetico

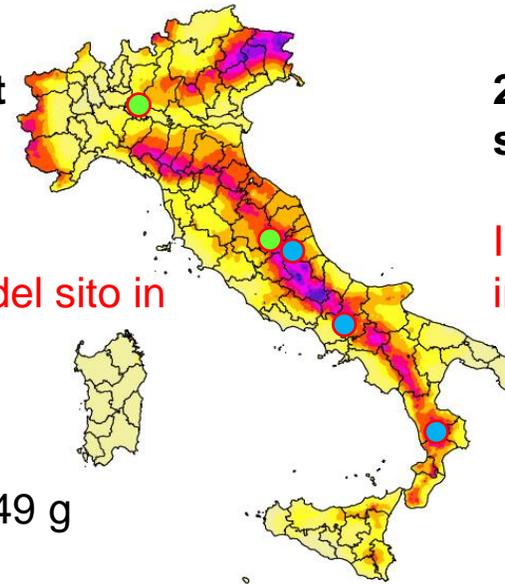
Influenza della sismicità del sito in termini di LC integrati

#### MILANO

Italian climatic zone E,  
(HDDs = 2404), PGA 0.049 g

#### NORCIA

Italian climatic zone E,  
(HDDs = 2604), PGA 0.255 g



### 2. Integrazione con retrofit strutturale

Influenza della zona climatica in termini di LC integrati

#### BENEVENTO

Italian climatic zone C,  
(HDDs = 1316), PGA > 0.2 g

#### LATTARICO

Italian climatic zone D,  
(HDDs = 1644), PGA > 0.2 g

#### SPOLETO

Italian climatic zone E,  
(HDDs = 2427), PGA > 0.2 g

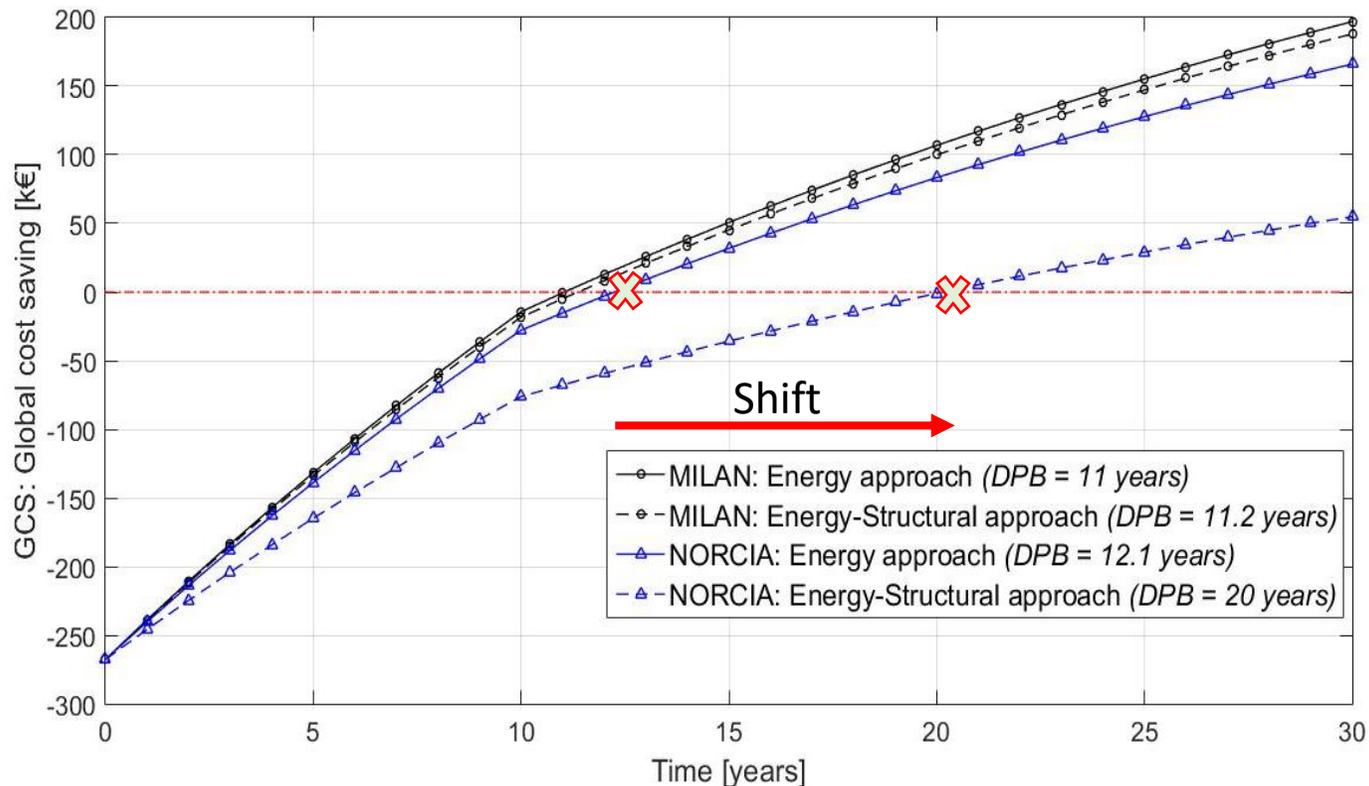


# Sviluppo di approcci metodologici integrati

## Metodi integrati: applicazione all'intero edificio – approccio economico

### 1. Cost-optimal retrofit energetico

#### Influenza della sismicità del sito in termini di LC integrati



□ **Milano:** il valore del GCS varia da 197.05 k€ a 188.94 k€, mentre il DPB da 11 a 11.2 anni

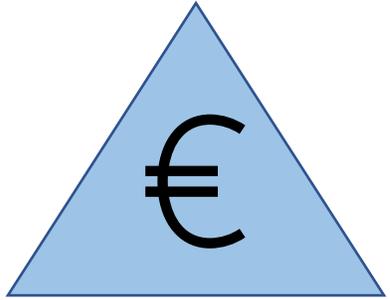
□ **Norcia:** il valore del GCS varia da 166.12 k€ a 54.98 k€, mentre il DPB da 12.1 a 20 years



Aumento del valore esposto con le ERMS! → influenza della vulnerabilità sismica in siti con elevate PGA

# Sviluppo di approcci metodologici integrati

- Metodi integrati: applicazione all'intero edificio – approcci «olistici»

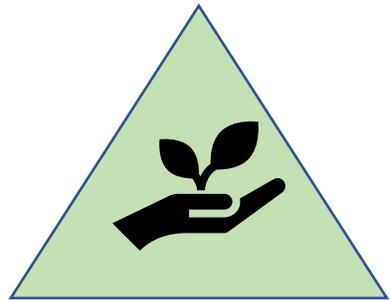


## PARAMETRI ECONOMICI

- 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, PAYBACK

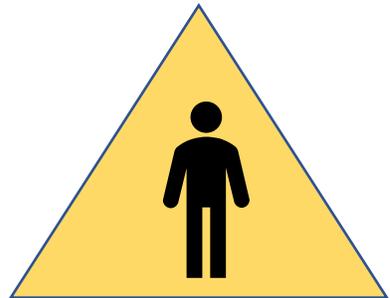


## PARAMETRI AMBIENTALI

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



EMISSIONI  $\text{ECO}_2$



## PARAMETRI SOCIALI

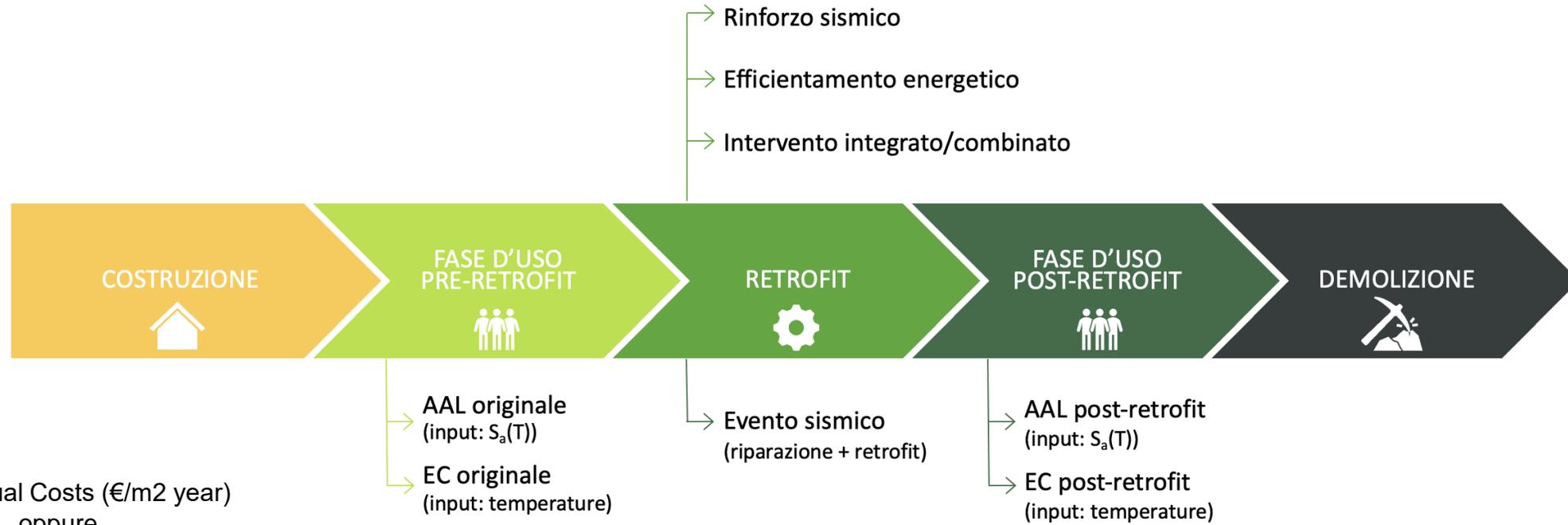
- perdite di vite umane dovute ad eventuali terremoti



PERDITE DI VITE UMANE

# Sviluppo di approcci metodologici integrati

- Metodi integrati: applicazione all'intero edificio – approcci «olistici»



Total Annual Costs (€/m<sup>2</sup> year)  
oppure  
Total Annual Emissions (kg eCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> year)

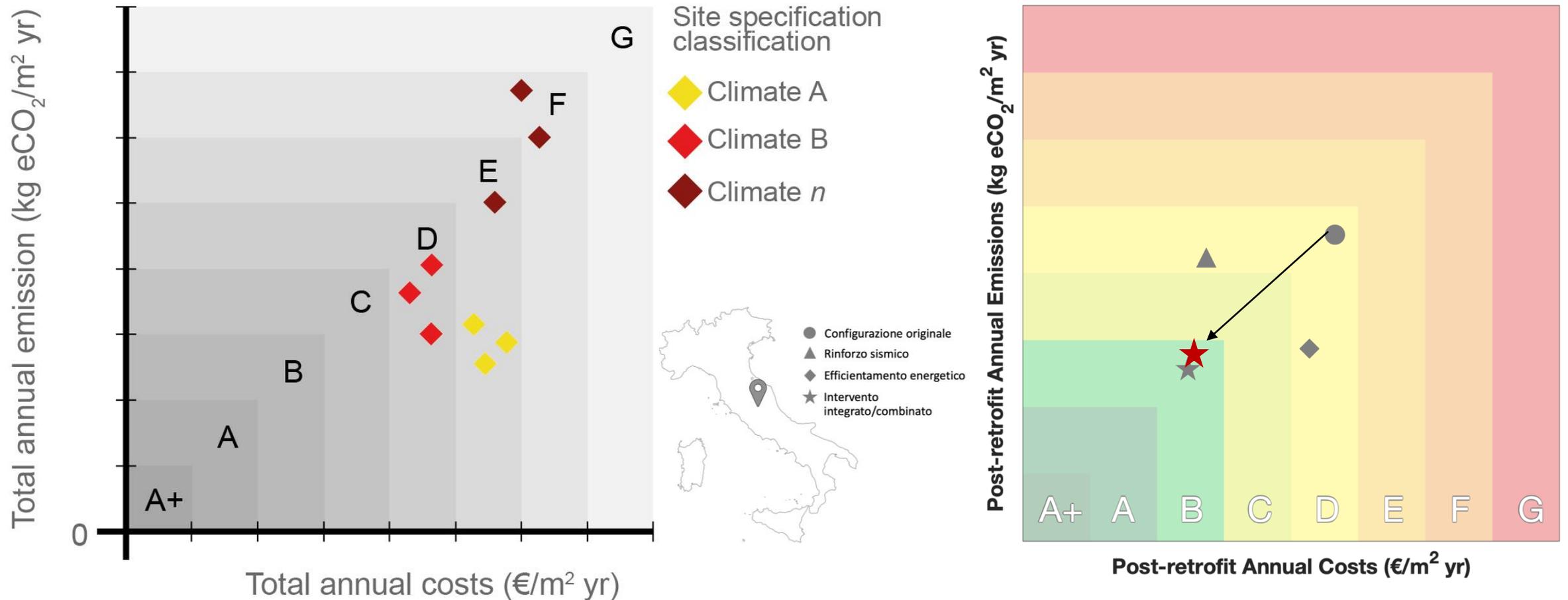
$$LCPM = \frac{C + (AAL_{originale} + EC_{originale}) \cdot SL_1 + RI + (AAL_{post-retrofit} + EC_{post-retrofit}) \cdot SL_2 + D}{FA \cdot SL}$$

€  
 eCO<sub>2</sub>

**LCPM:** life cycle performance metric; **AAL:** average annual loss; **EC:** consumo energetico; **SL:** vita utile; **FA:** area di piano

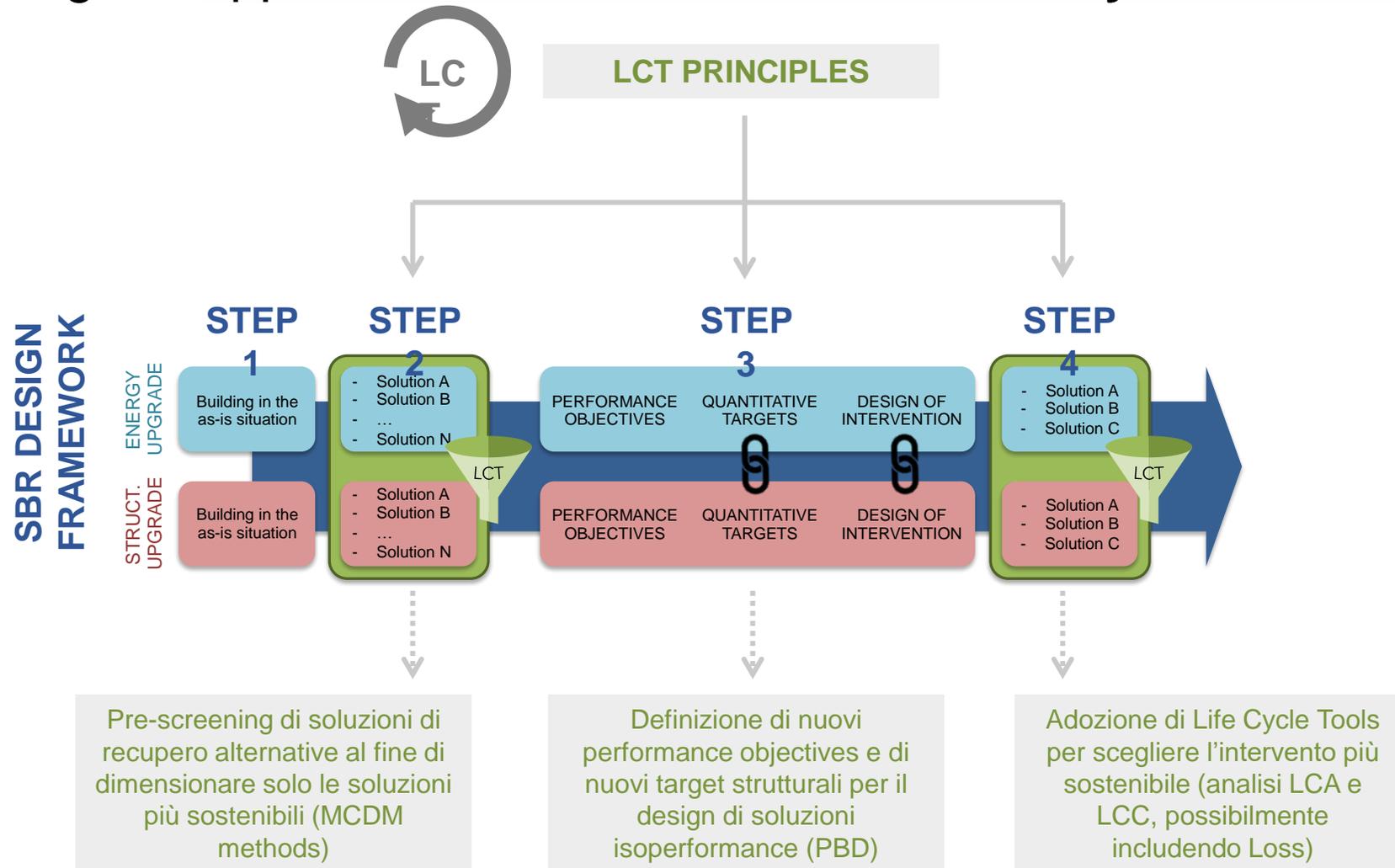
# Sviluppo di approcci metodologici integrati

- Metodi integrati: applicazione all'intero edificio – approcci «olistici»**



# Sviluppo di approcci metodologici integrati

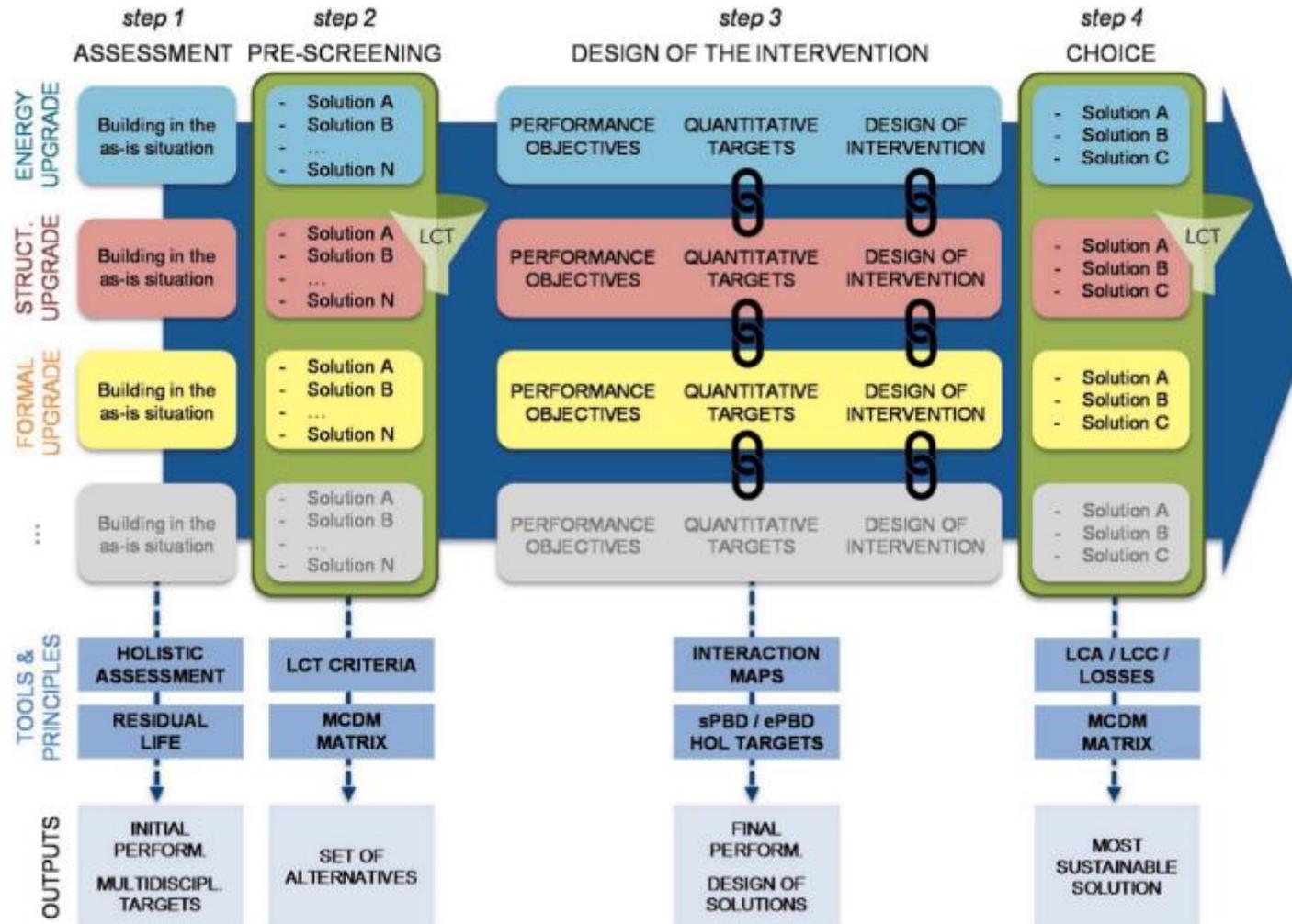
- Metodi integrati: applicazione all'intero edificio – Life Cycle Thinking



Passoni, C., Marini, A., Belleri, A., & Menna, C. (2021). Redefining the concept of sustainable renovation of buildings: State of the art and an LCT-based design framework. *Sustainable Cities and Society*, 64, 102519.

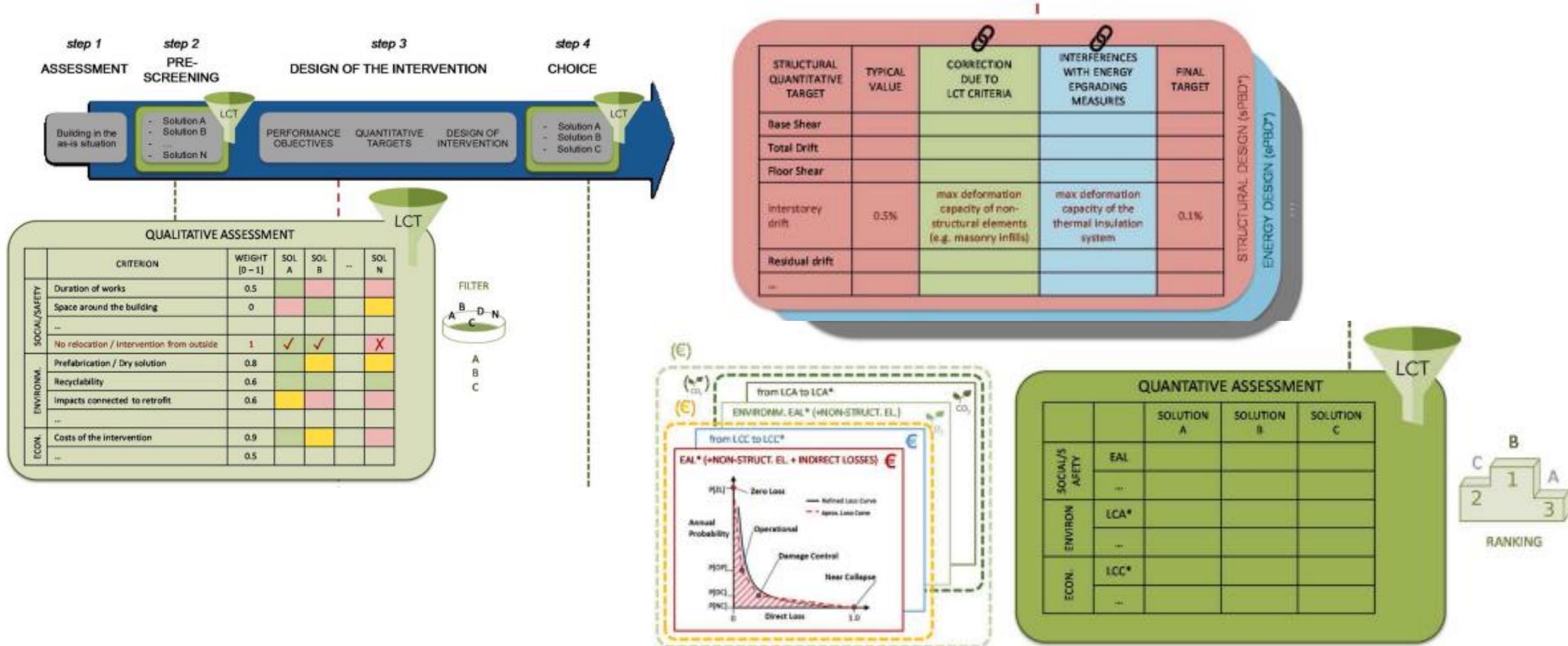
# Sviluppo di approcci metodologici integrati

- Metodi integrati: applicazione all'intero edificio – Life Cycle Thinking



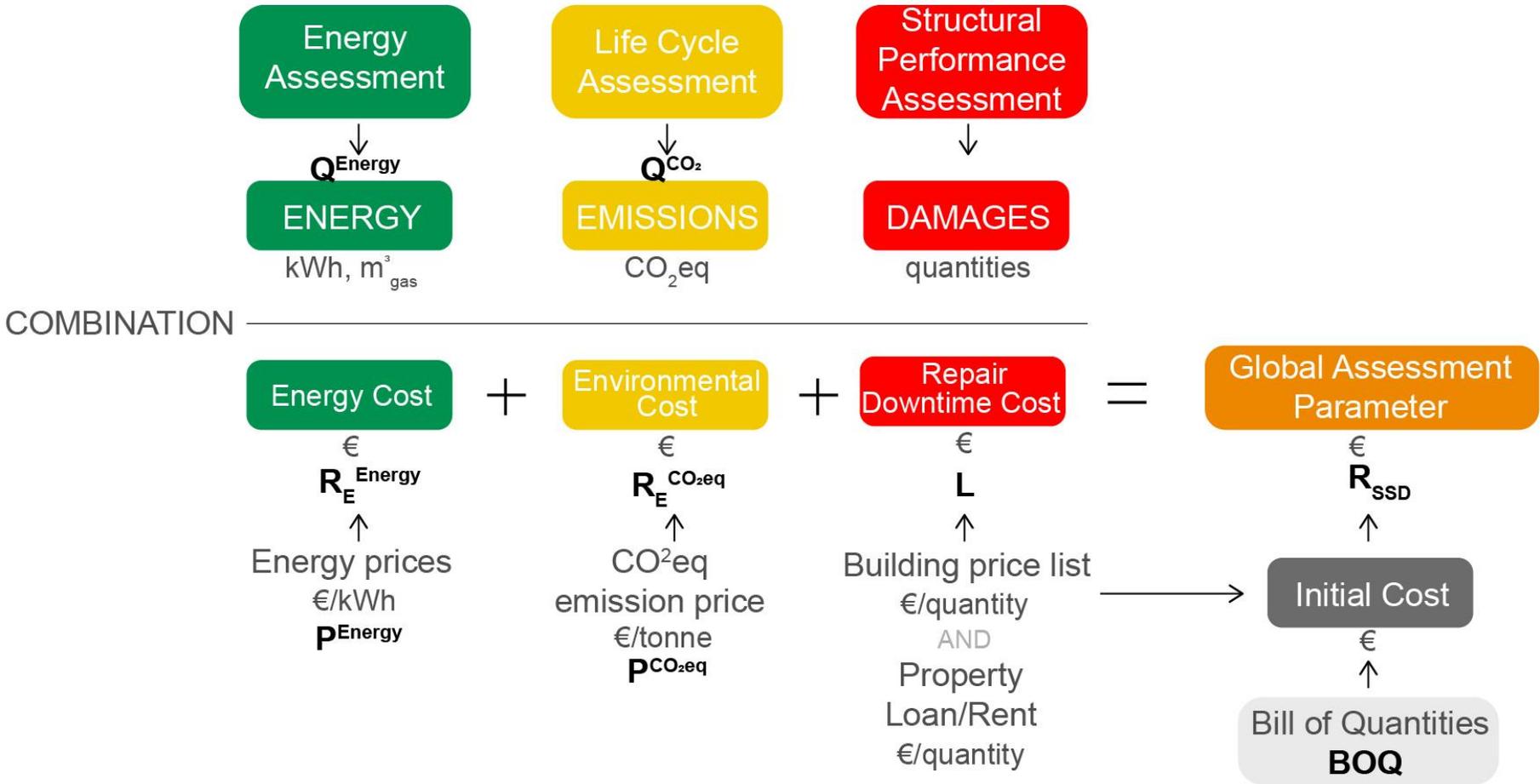
# Sviluppo di approcci metodologici integrati

## Metodi integrati: applicazione all'intero edificio – Life Cycle Thinking



# Sviluppo di approcci metodologici integrati

- Metodi integrati: applicazione all'intero edificio – possibili semplificazioni



Lamperti Tornaghi, M., Loli, A., & Negro, P. (2018). Balanced evaluation of structural and environmental performances in building design. *Buildings*, 8(4), 52.

# Sviluppo di approcci metodologici integrati - **CONCLUSIONI**

- *Metodi integrati*: recente sviluppo di diversi approcci
- Principi di base: applicazione a componenti di edificio o alla scala globale
- Ottimizzazione della selezione di tecniche
- Valutazione dei benefici complessivi in termini di costi nel ciclo di vita
- Possibilità di includere altri aspetti di sostenibilità (es. ambientale)
- Necessità di semplificazione



DIPARTIMENTO  
DI ECCELLENZA  
MUR



*Come l'ingegneria e la tecnologia possono garantire la sostenibilità delle strutture in calcestruzzo armato?*

17 Novembre 2023

AULA T1, PALAZZINA C

Università degli Studi di Napoli Federico II – CAMPUS SAN GIOVANNI

**Tecniche e metodologie integrate per la  
sostenibilità di edifici esistenti in c.a.**

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**

**Andrea Prota**, Università degli Studi di Napoli Federico II  
**Costantino Menna**, Università degli Studi di Napoli Federico II

