



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

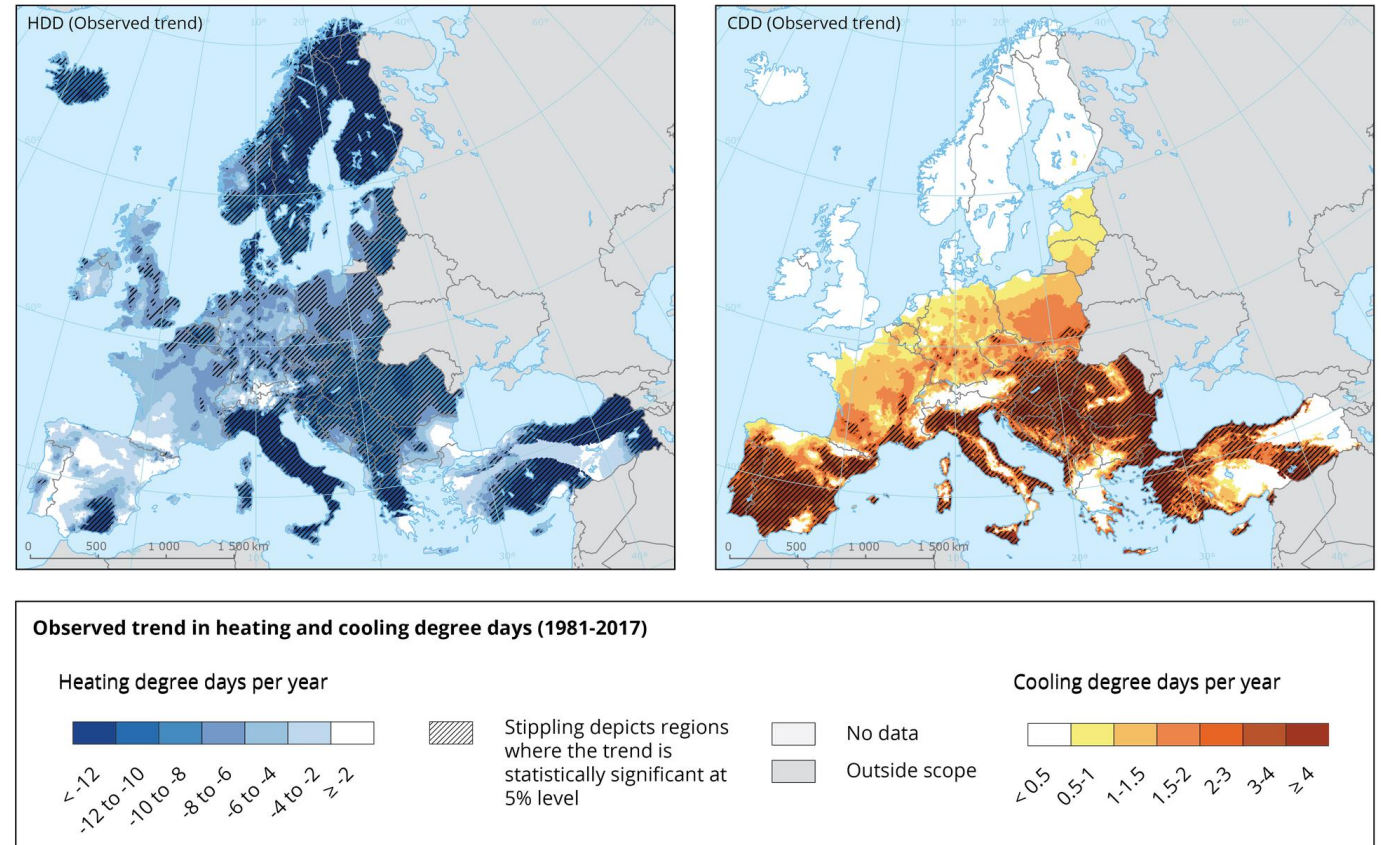
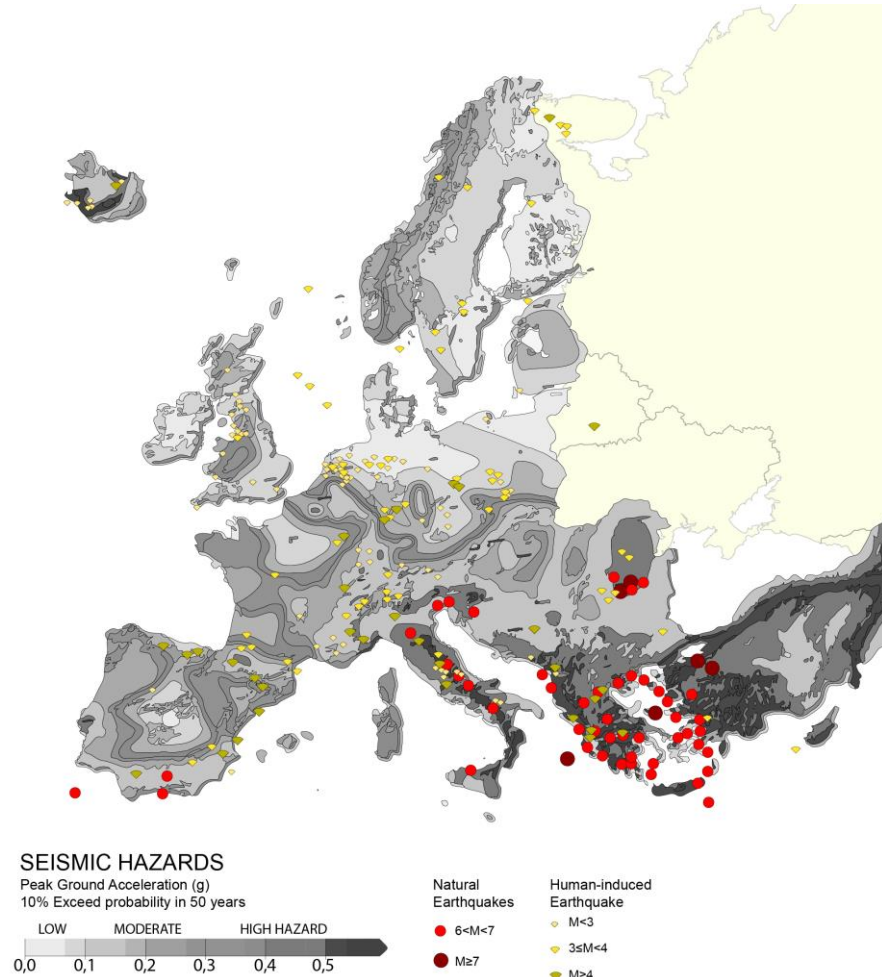


Outline

- ***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*



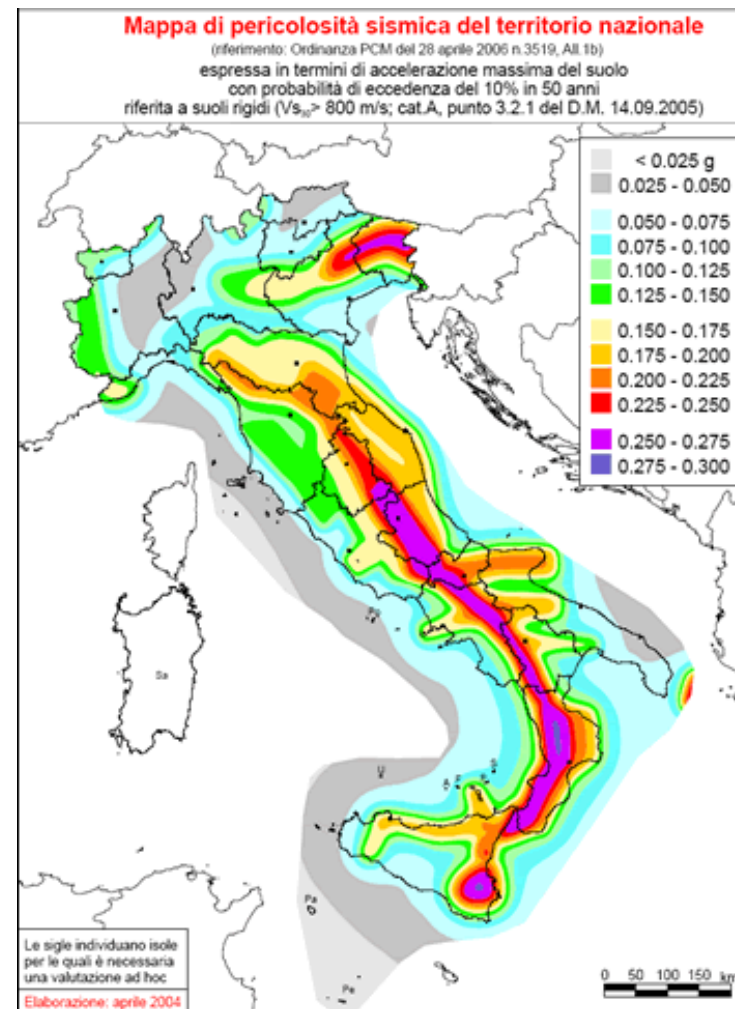
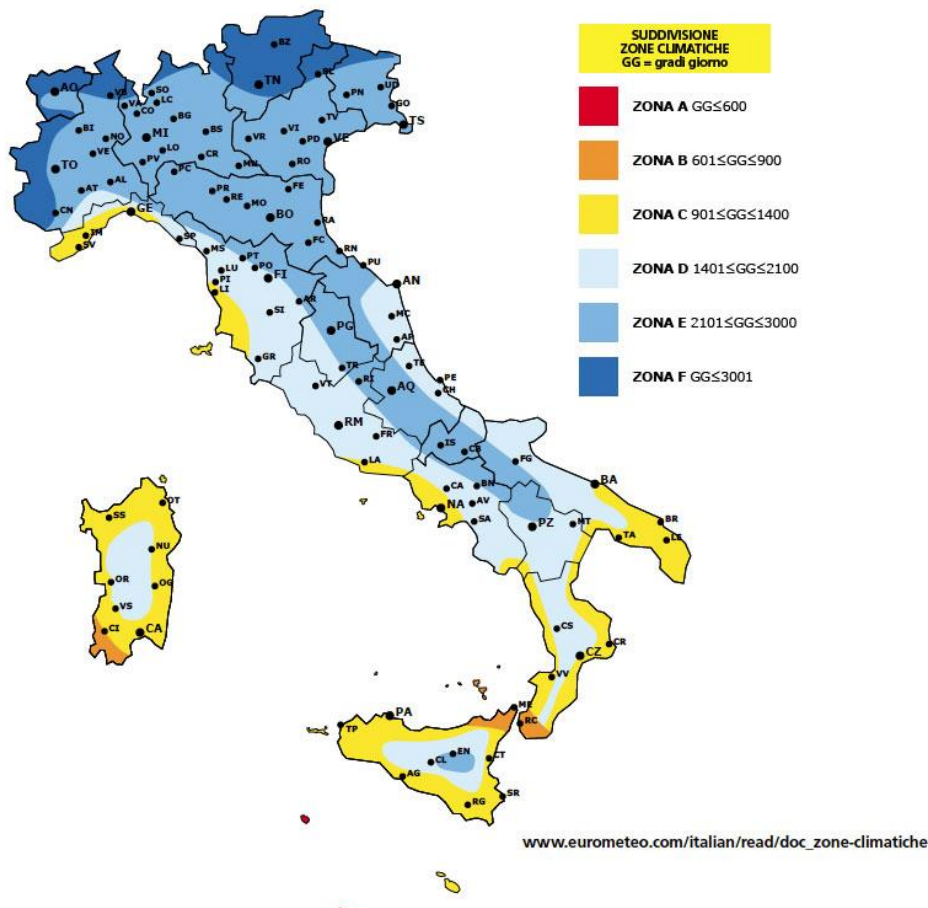
Observed trends in heating and CDDs In Europe (1981-2017). Visualisation source: European Environment Agency (EEA), 2019

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

Perché abbiamo bisogno di approcci metodologici integrati?

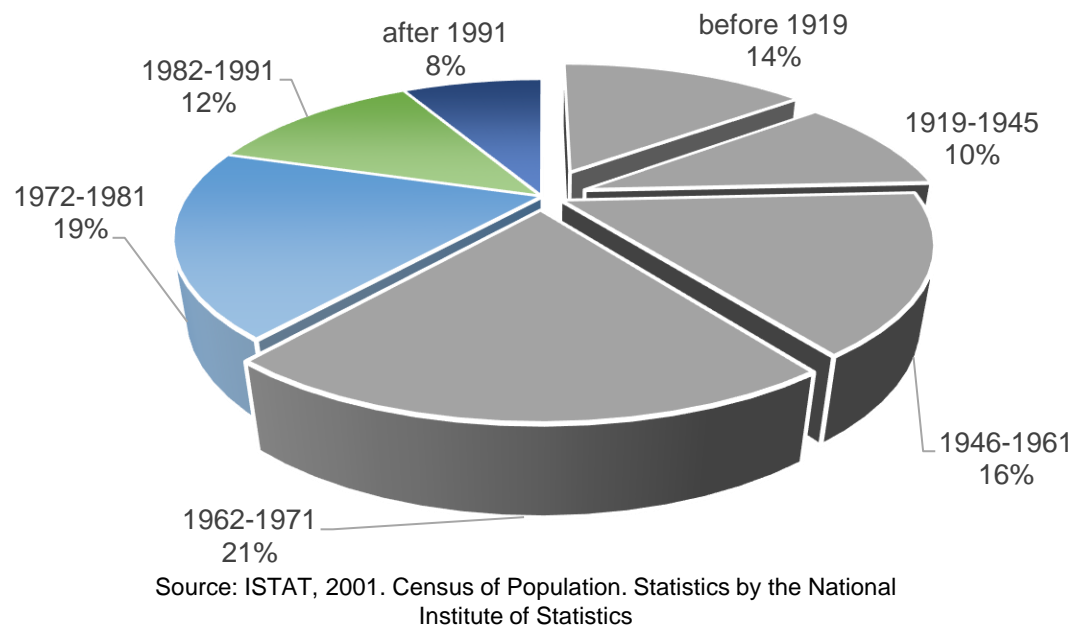
- *Contesto geografico: severità climatica e rischio sismico estesi in Europa*

MAPPA DELLE ZONE CLIMATICHE SECONDO DPR 412/93



Perché abbiamo bisogno di approcci metodologici integrati?

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

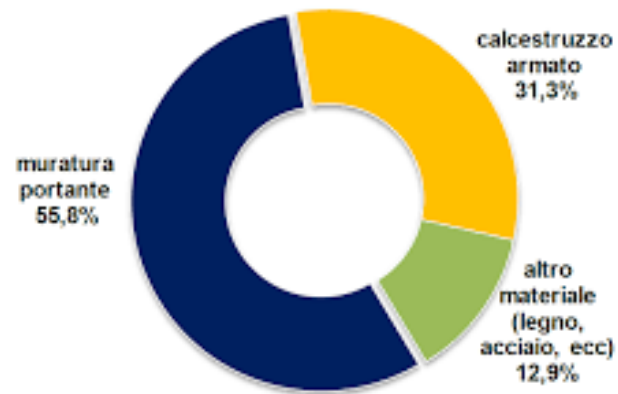


- **1976 - 1977** - Legge 373/76 and D.M. 10/3/1977
“*Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici*”
- **1974** - Legge n. 64 del 2 Febbraio 1974
“*Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche*”

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

Limiti nell'implementazione di approcci metodologici integrati

- *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



Perché abbiamo bisogno di approcci metodologici integrati?

- *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

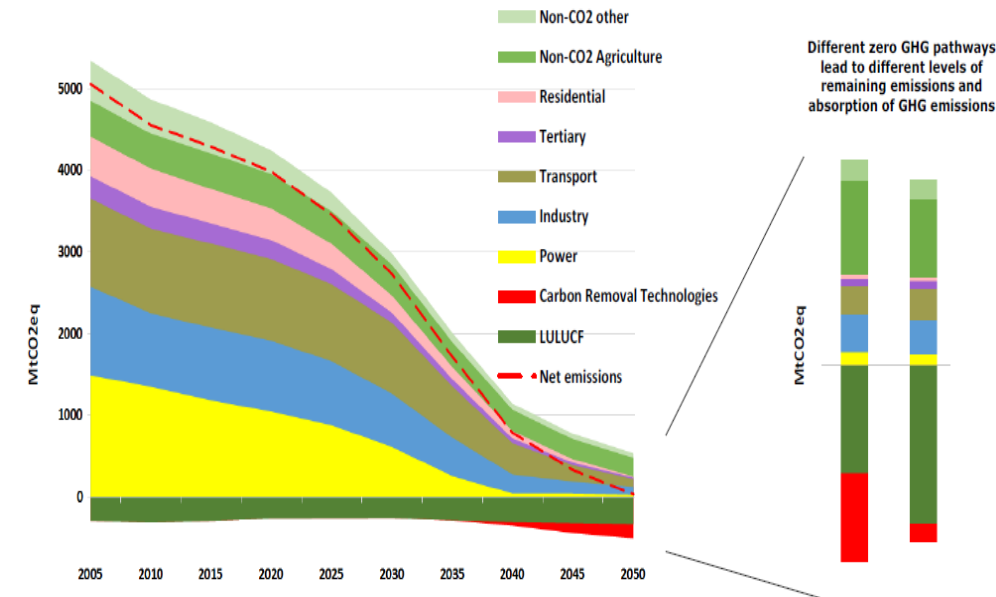
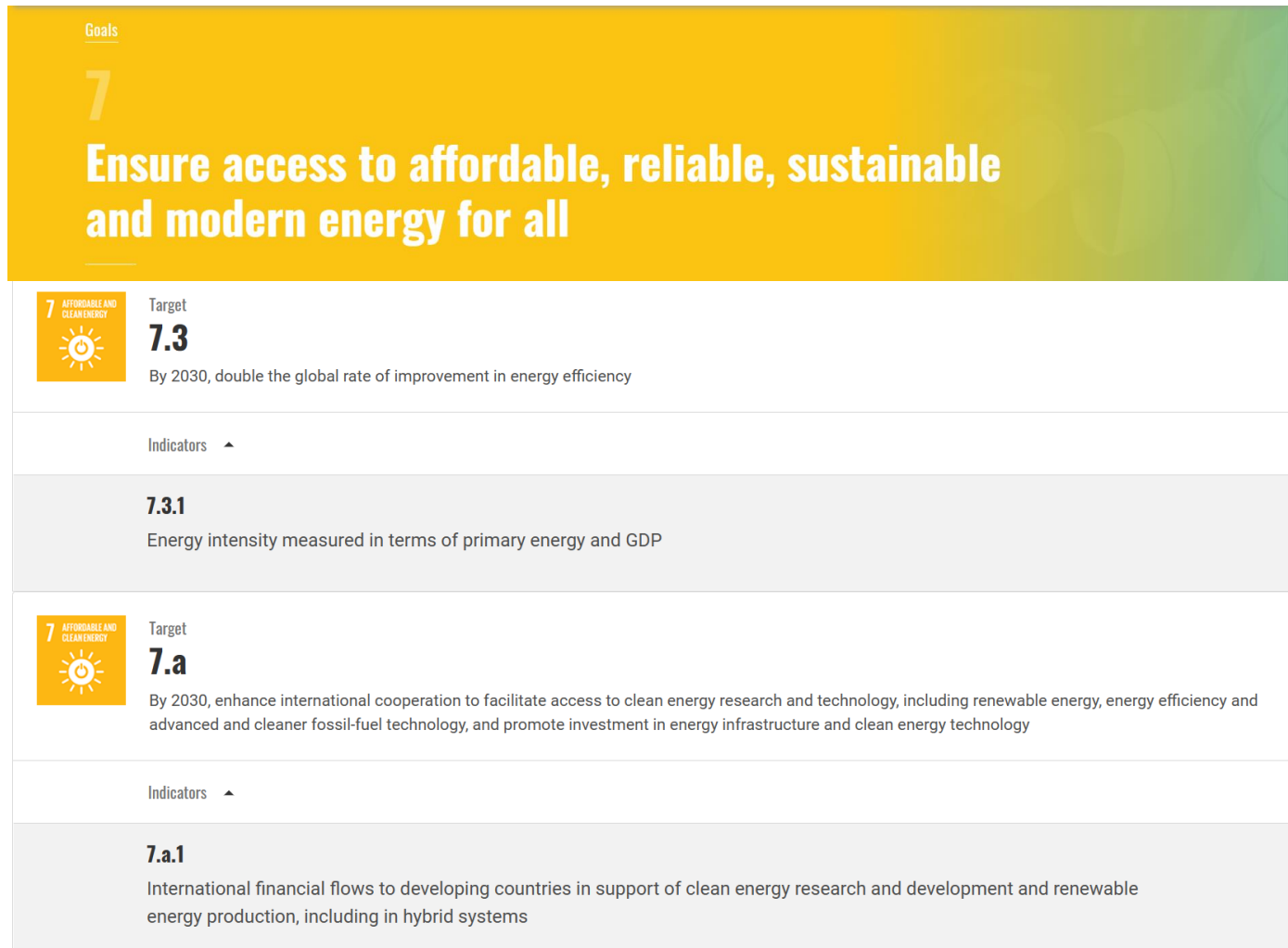
11.B.1 Proportion of local governments that adopt and implement local disaster risk reduction strategies in line with the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030a

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**



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

Perché abbiamo bisogno di approcci metodologici integrati?

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



[English](#) [Log in](#)

Building renovation makerspace

[Home](#) | [About](#) | [Policy](#) | [Activities](#) | [Data access](#) | [News & Events](#) | [Contact Us](#)





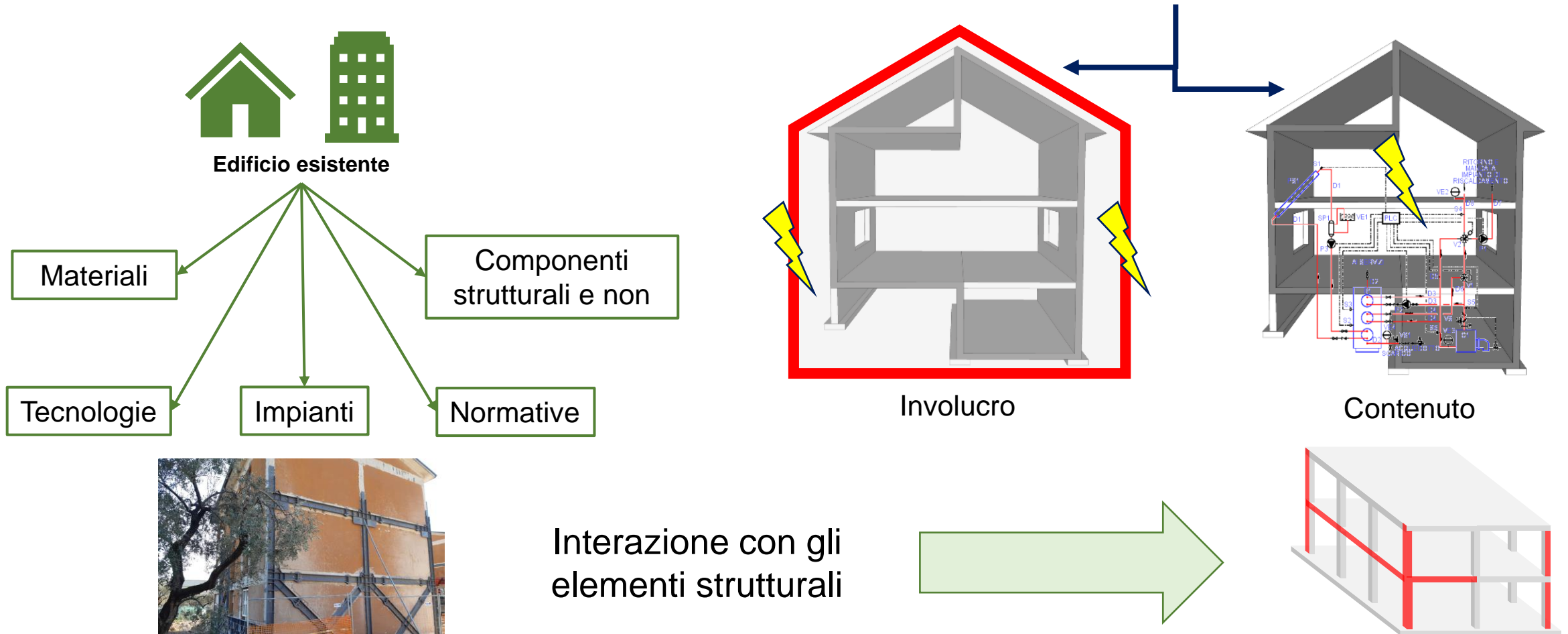
The European pilot project '**Integrated techniques for the seismic strengthening and energy efficiency of existing buildings**' provides open-access and timely information and data relevant to support renovation projects on ageing buildings across the EU.

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.

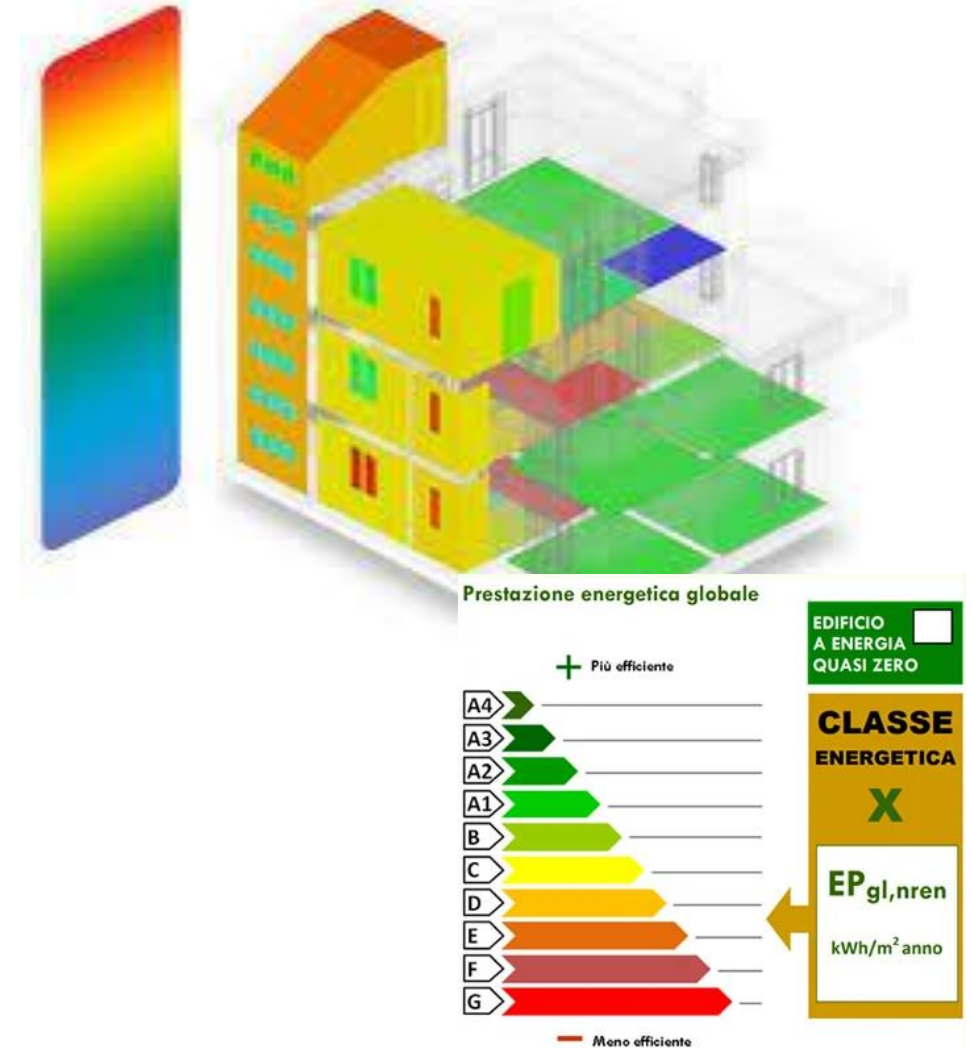
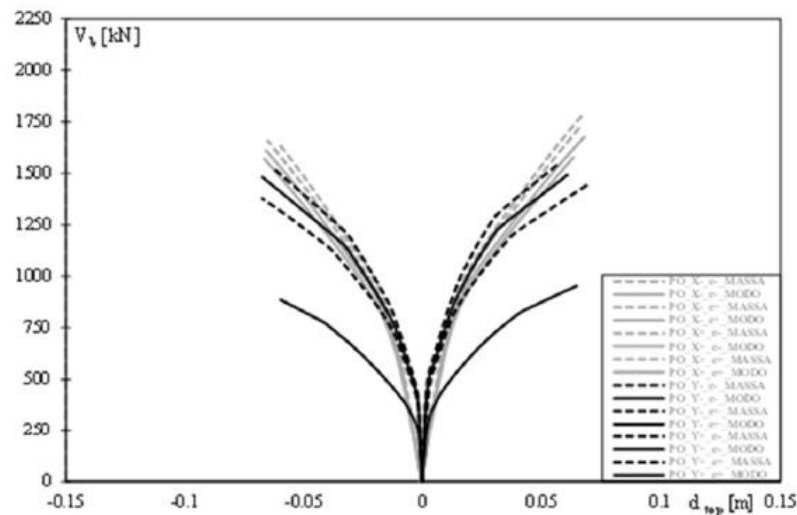
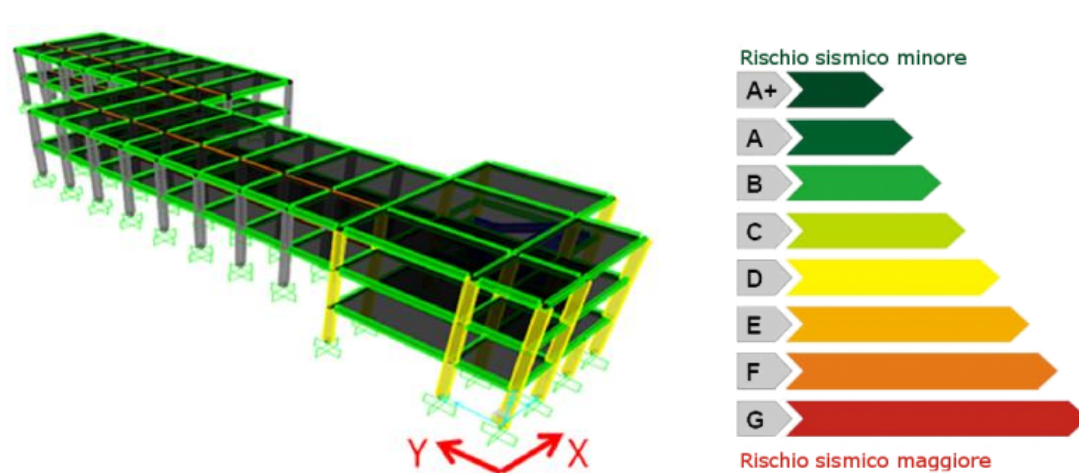
The project was initiated by the European Parliament and is conducted by the European Commission's Joint Research Centre.

Limiti nell'implementazione di approcci metodologici integrati

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



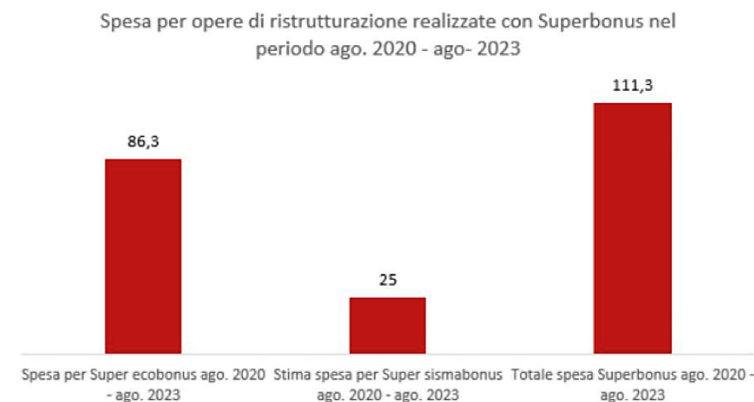
- *Metriche di analisi:* differenti principi teorici e output delle analisi



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

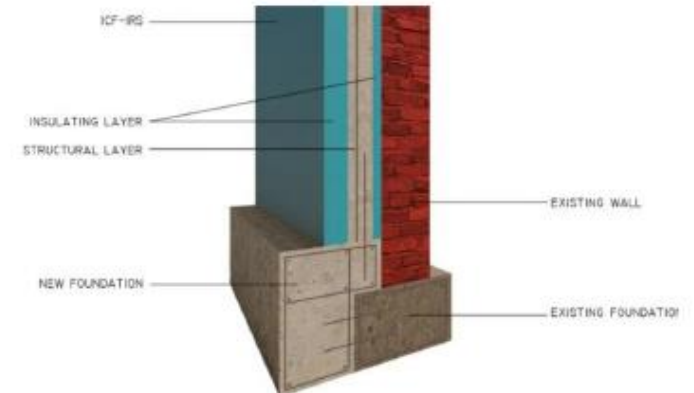
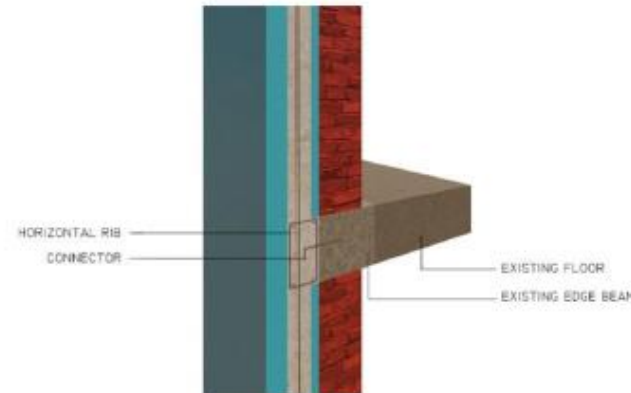
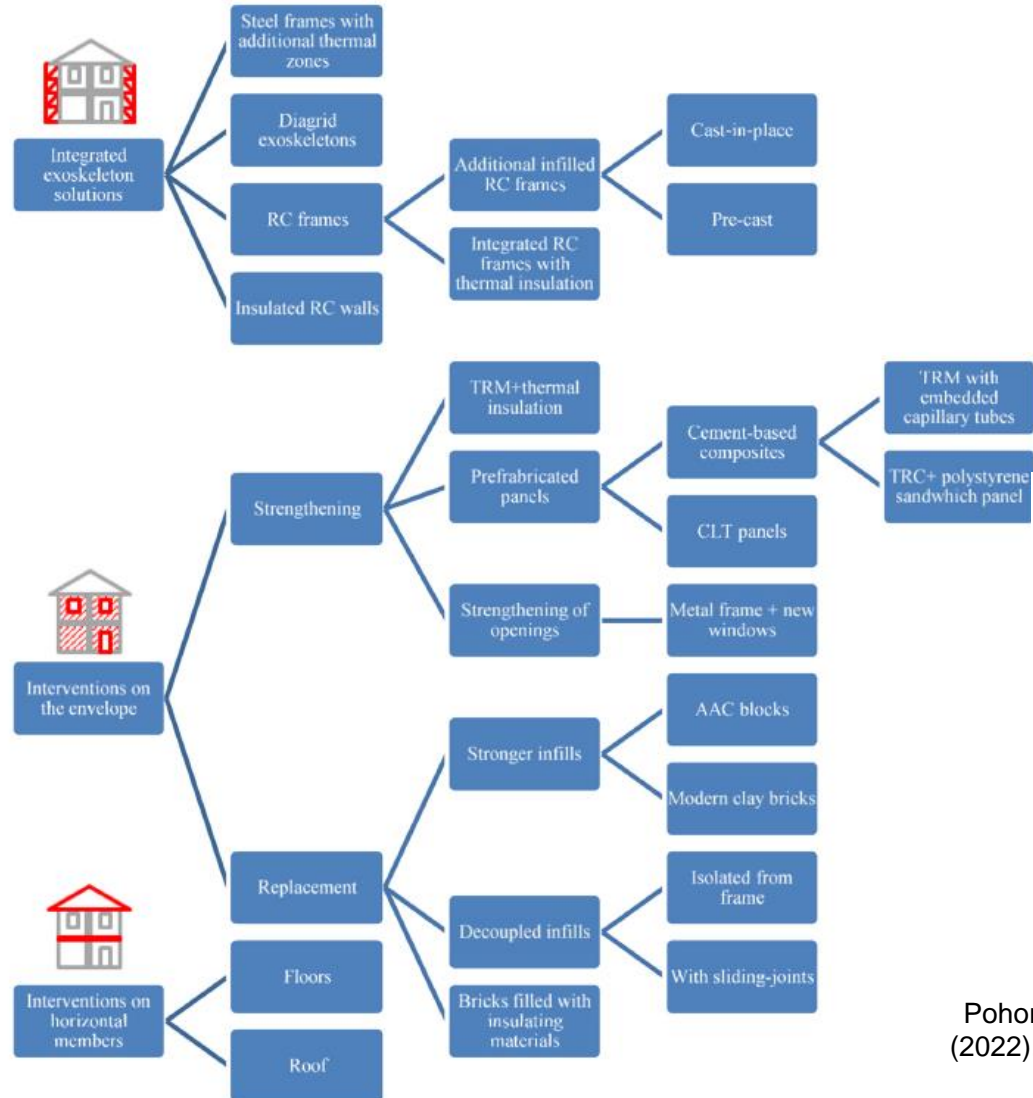
Investimenti per super-ecobonus circa 3 volte superiori rispetto al super-sismabonus!



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 Campania
A. Mandara



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 della Basilicata
G. Santarsiero



ITC - CNR
C. Modena



Università Roma Tre
G. de Felice



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



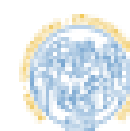
Università di Trento
I. Giongo



Università di Trieste
N. Gattesco



Politecnico di Torino
G. Ferro



Università di Parma
G. Royer Carfagni



Università di Catania
I. Calìò
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)

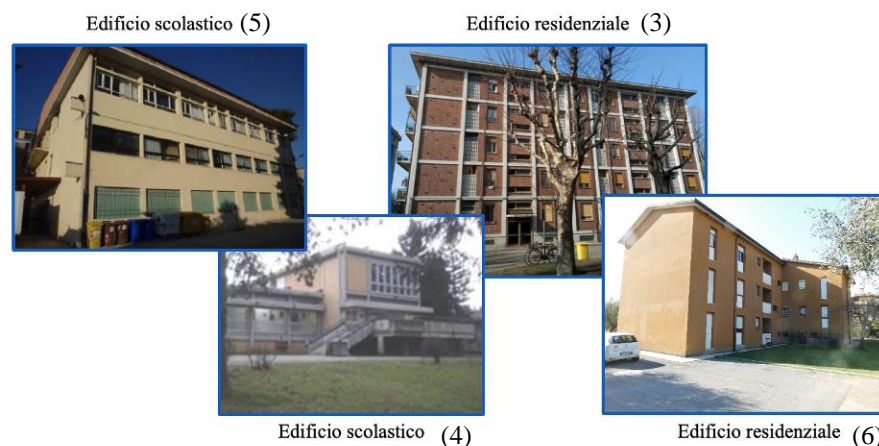


Figura 2-1: Edifici calcestruzzo armato selezionati come casi studio.



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

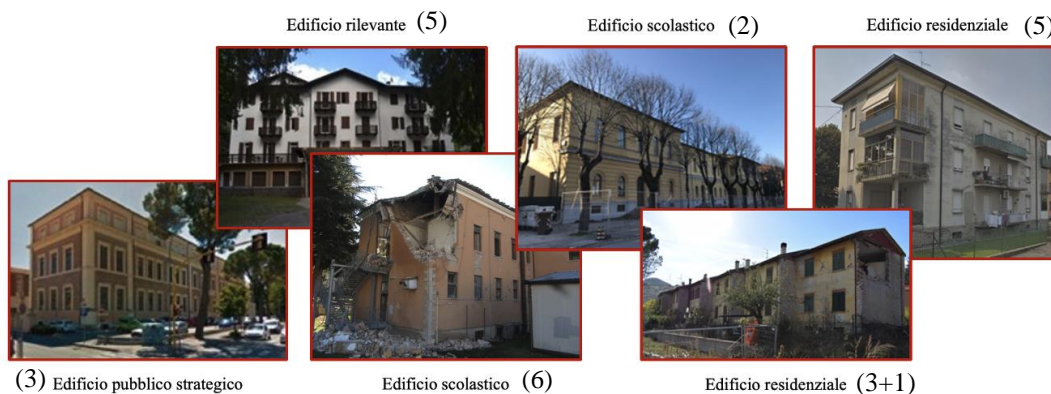
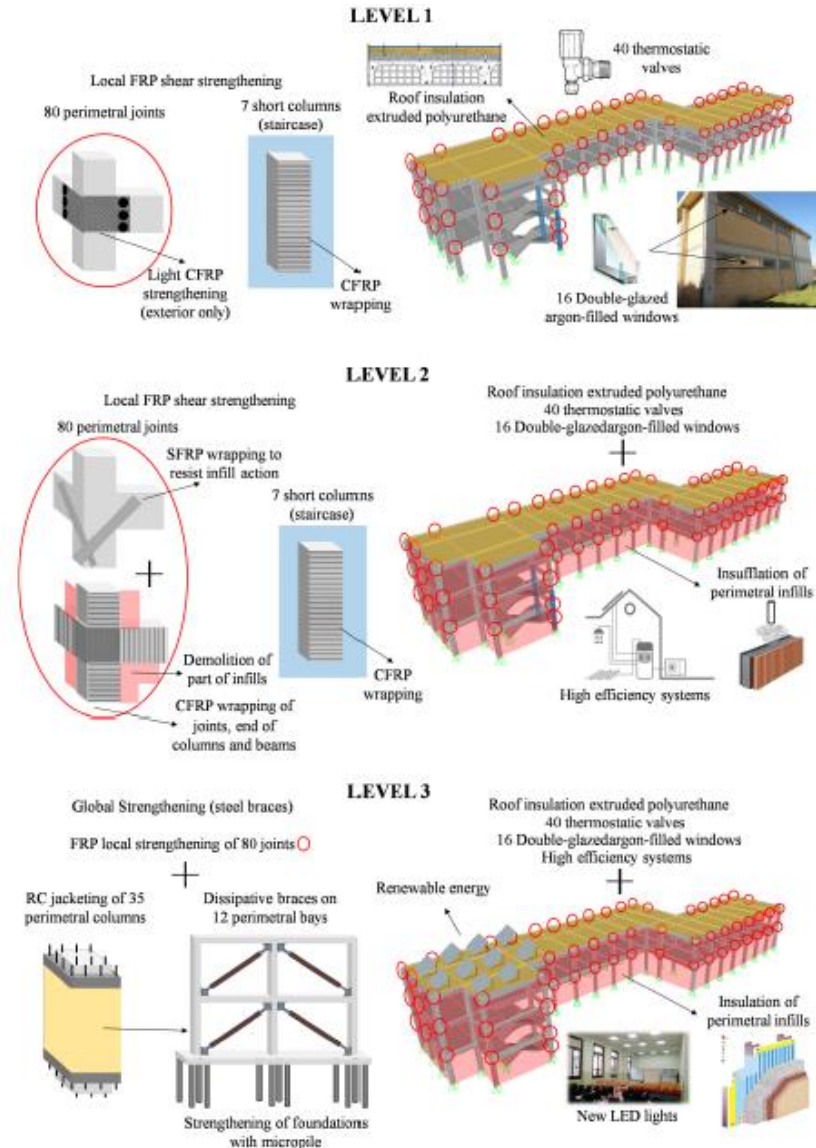
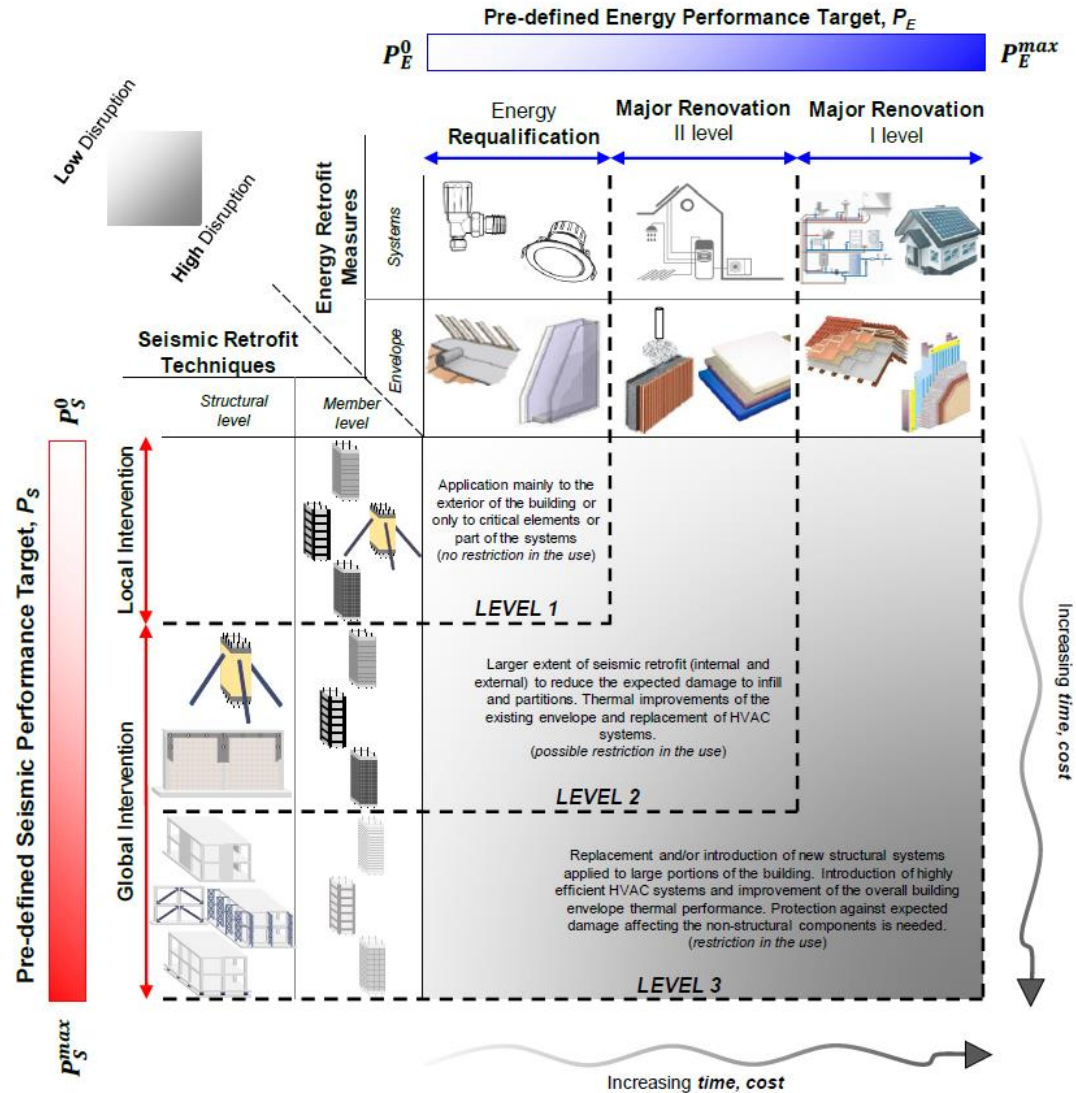


Figura 2-3: Edifici in muratura portante selezionati come casi studio.

Sviluppo di approcci metodologici integrati

Metodi integrati: retrofit incrementale

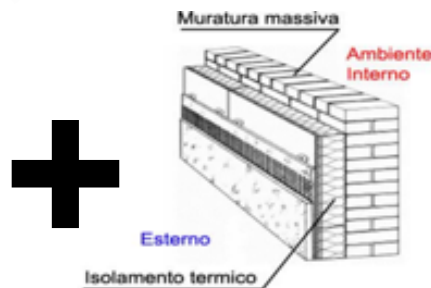
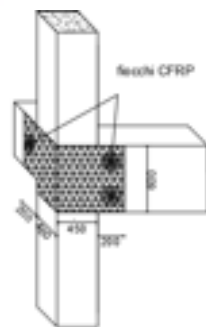
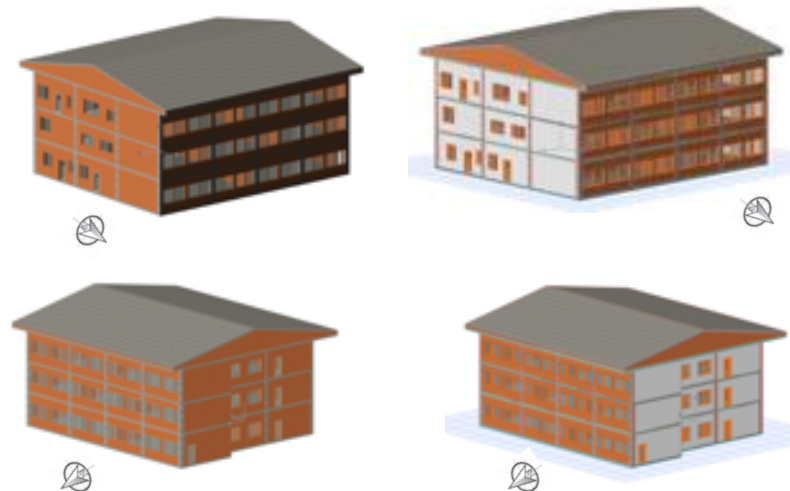


Sviluppo di tecniche integrate

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

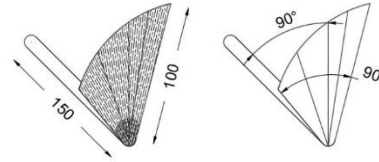
Sviluppo di tecniche integrate

T_1L - 16A

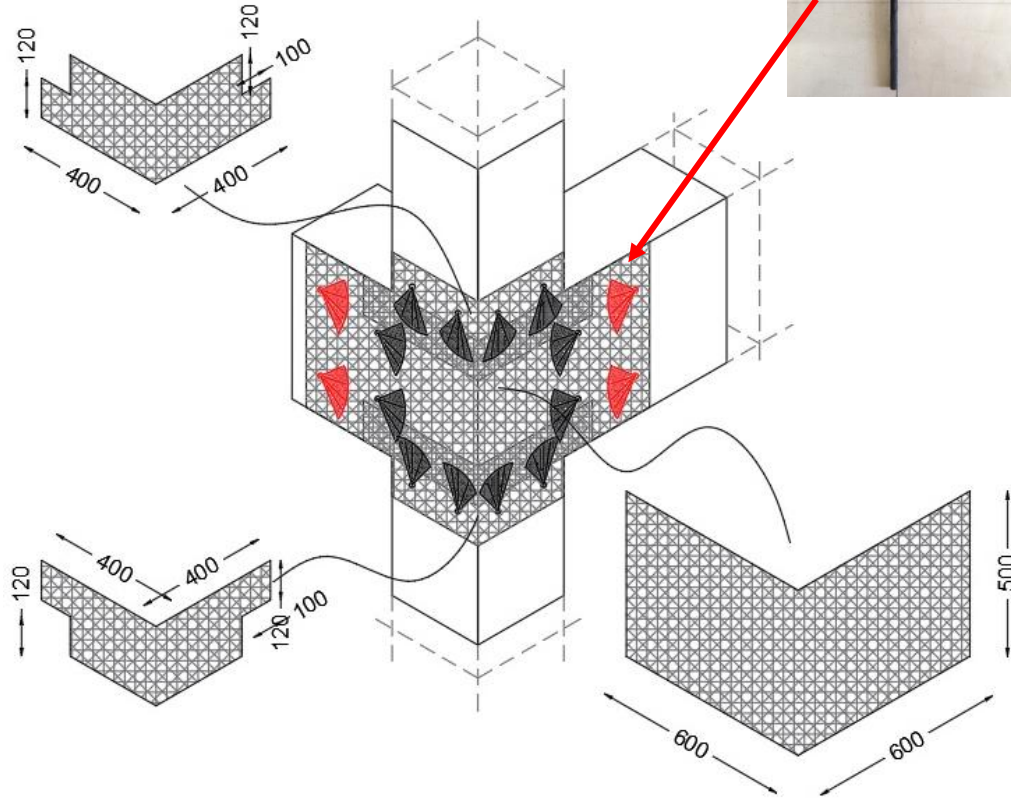


CFRP spikes (anchors)

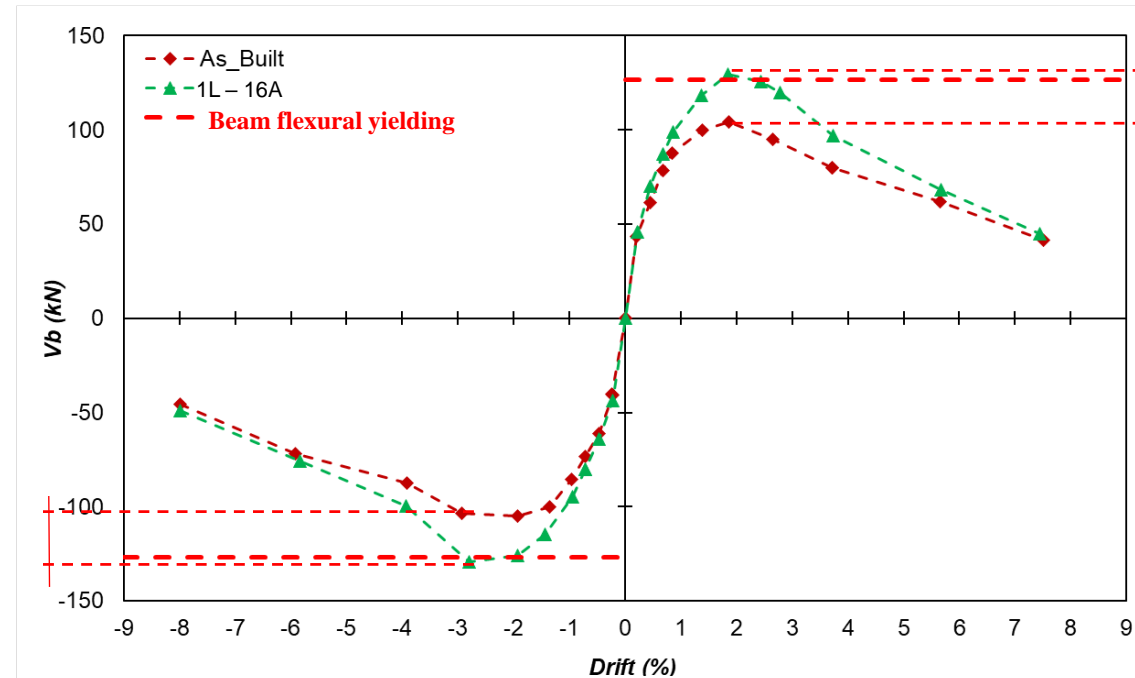
16 spikes ϕ 10 mm



**Nessuna
delaminazione**



**1 layer quadriaxial
CFRP 380g/m²**



**$\Delta_F =$
24%**

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

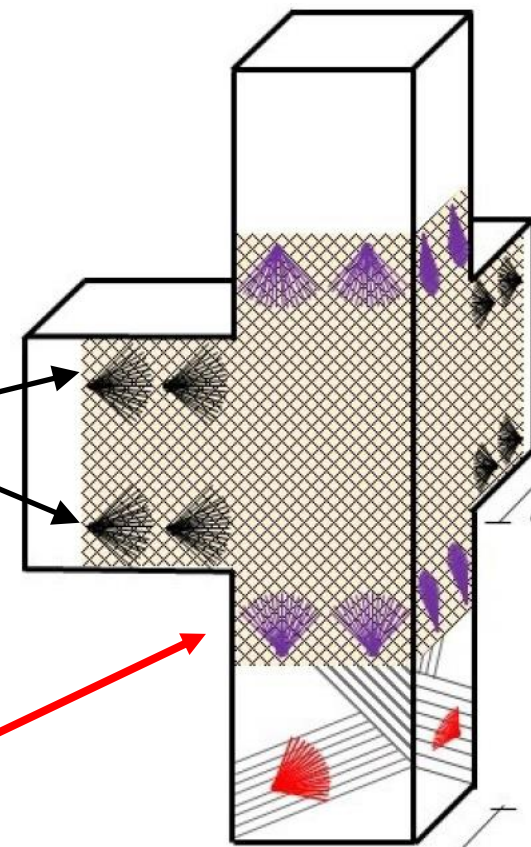
Sviluppo di tecniche integrate



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

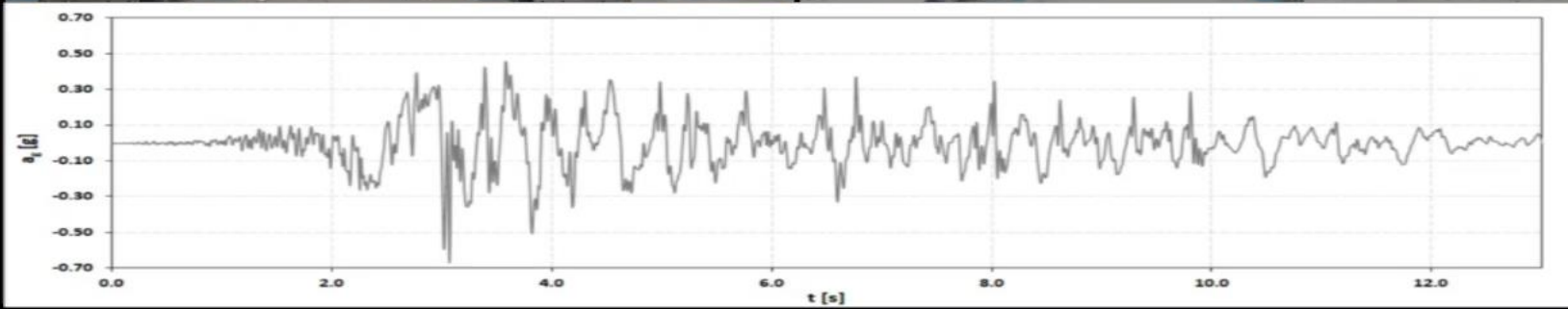
As-built



FRP strengthened



150%_AQG
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»

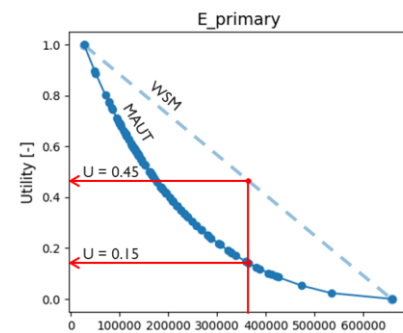
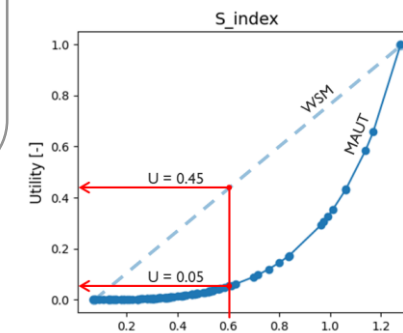
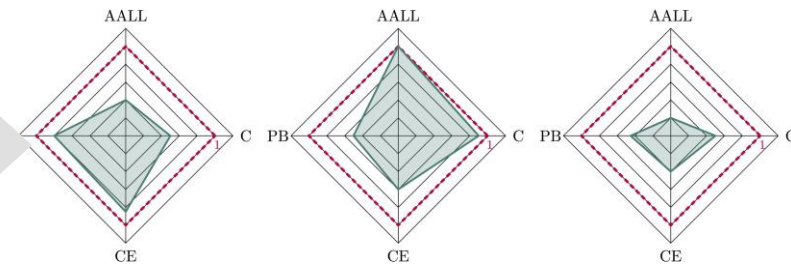
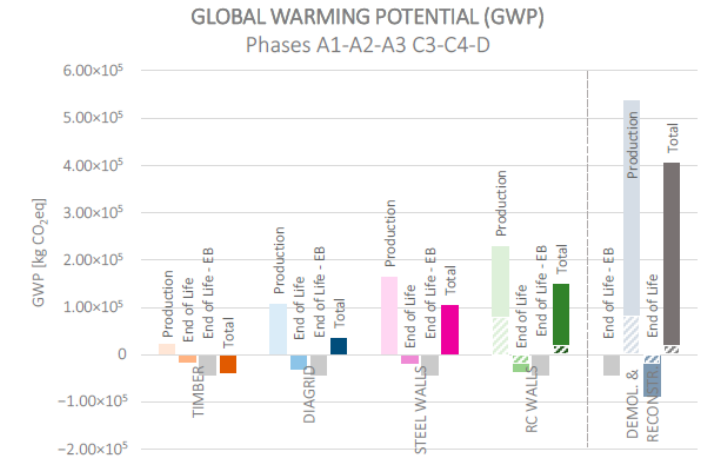
1. Interventi Incrementali:
target
prestazionali
Sis-En

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

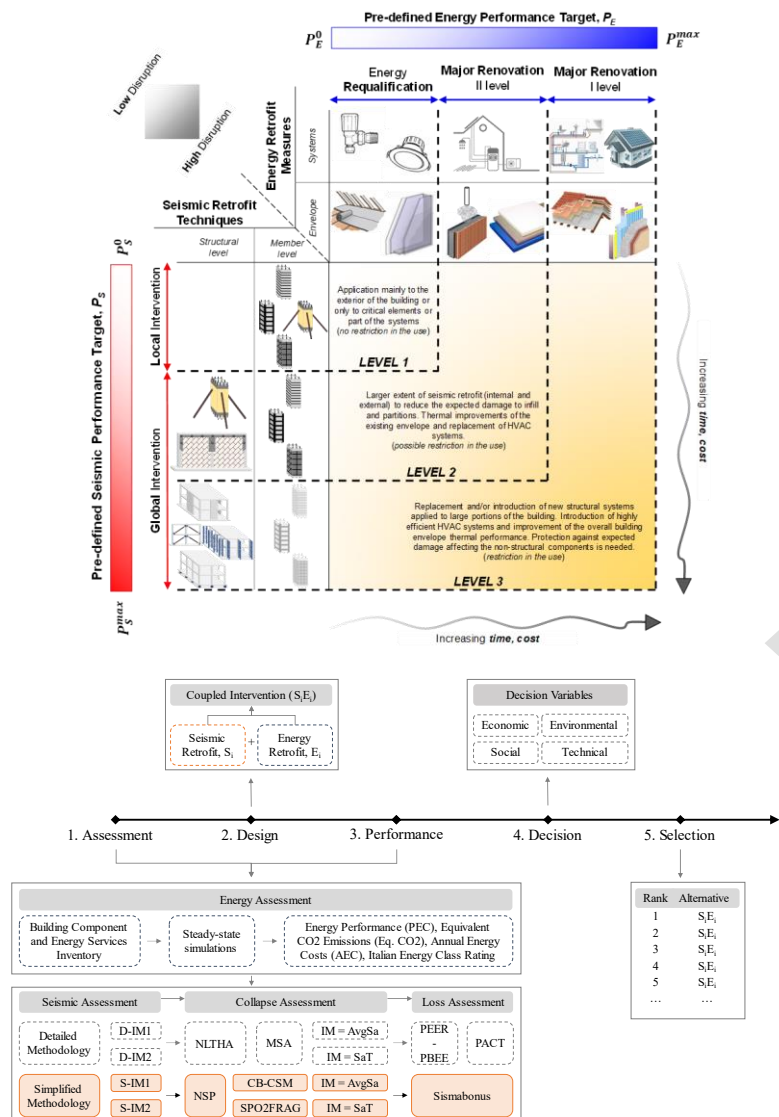
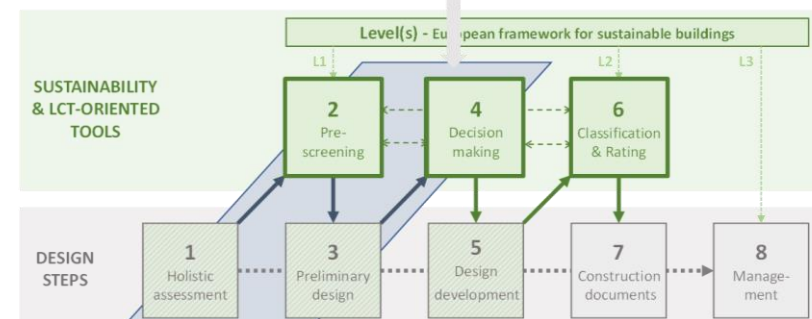
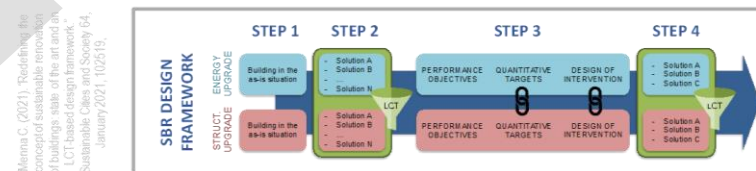
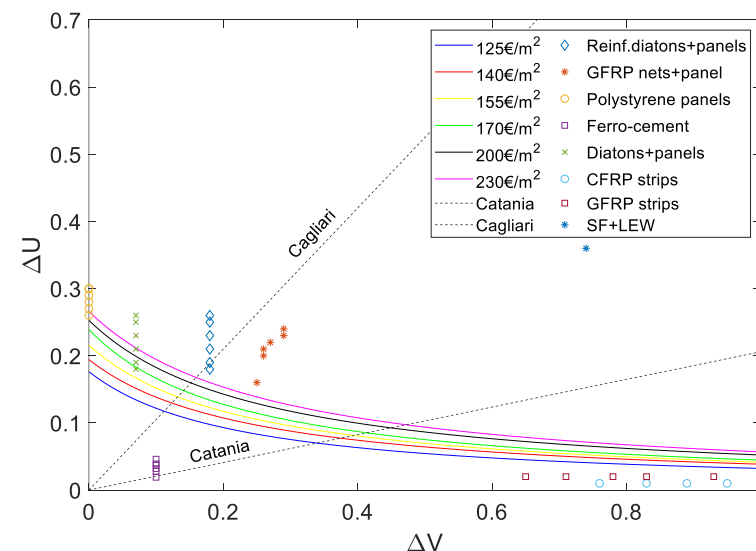
1. Interventi Incrementali: target prestazionali Sis-En

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

3. Ottimizzazione dei costi: optimal, MCDM

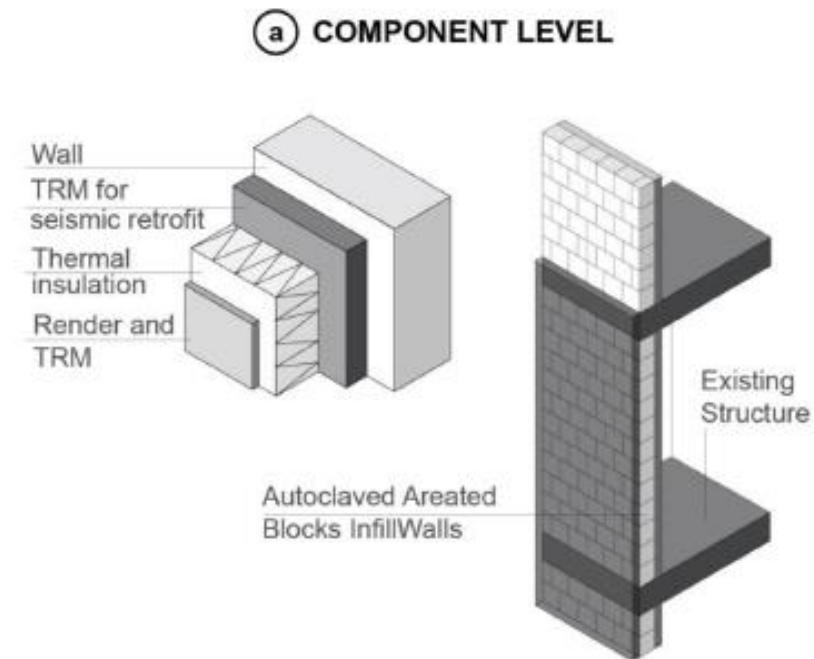
4. Metodi olistici e/o basati su LCT

Constraints
tempi, costi, invasività



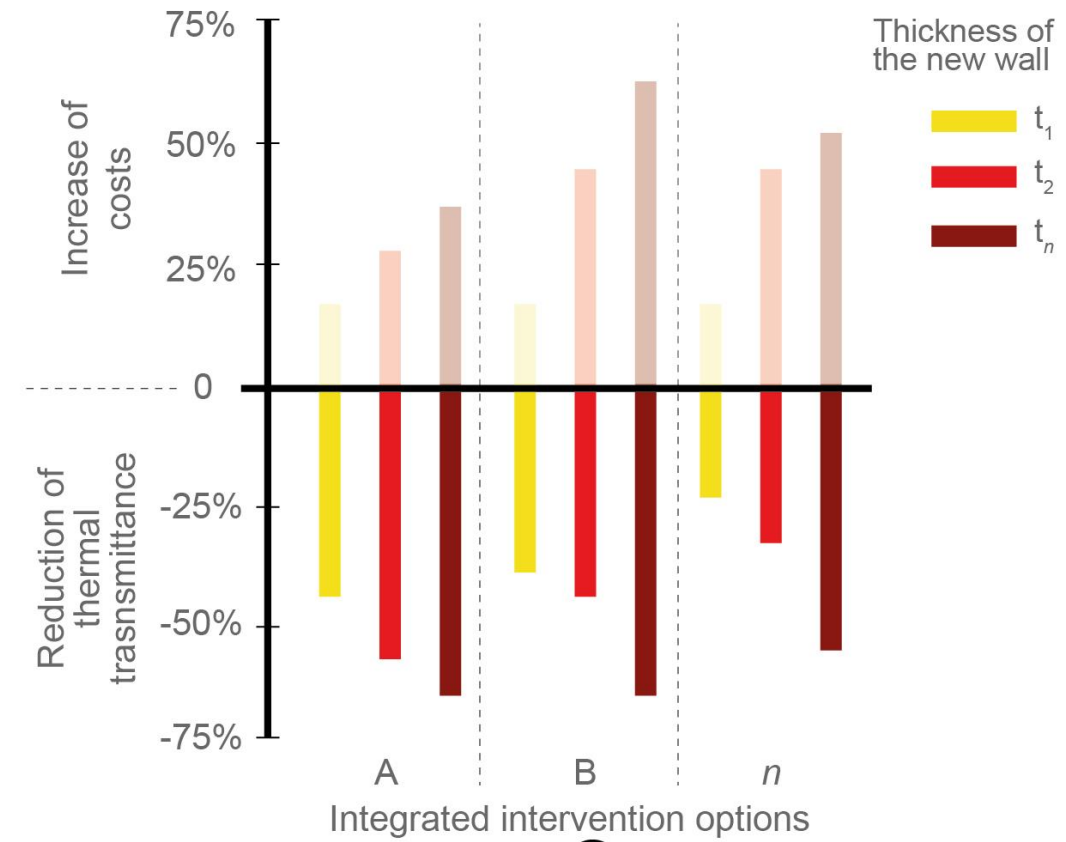
Sviluppo di approcci metodologici integrati

- *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**

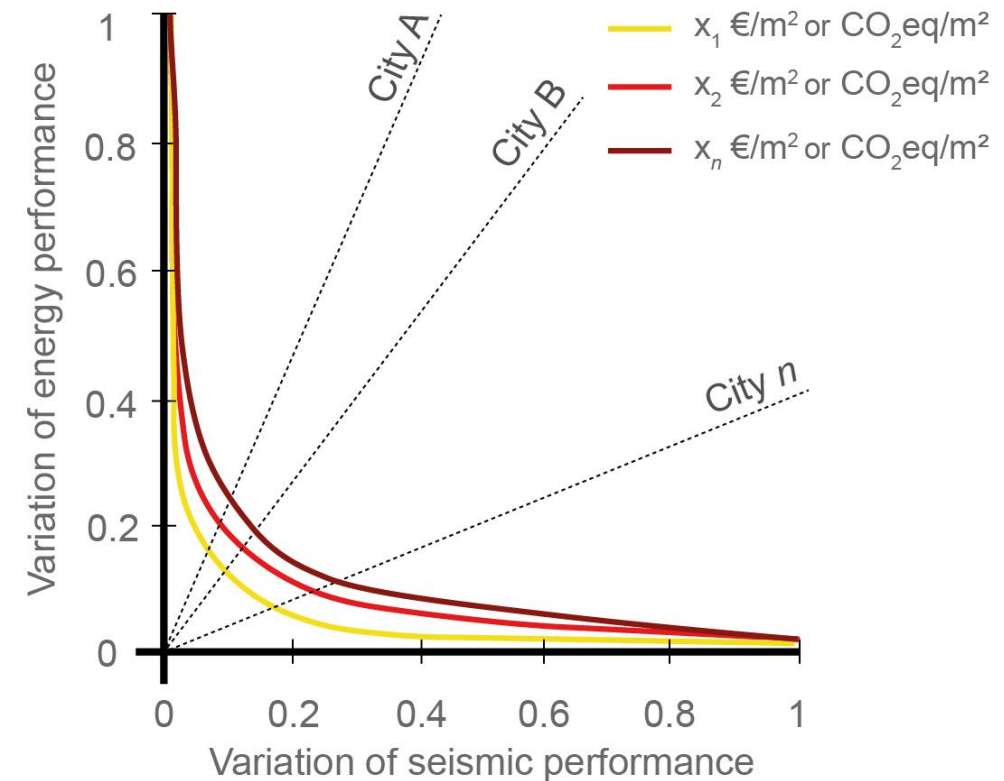


(a)

(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 €/m²) o la massa di **CO₂eq** prodotta (espressa in kgCO₂/m²) 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

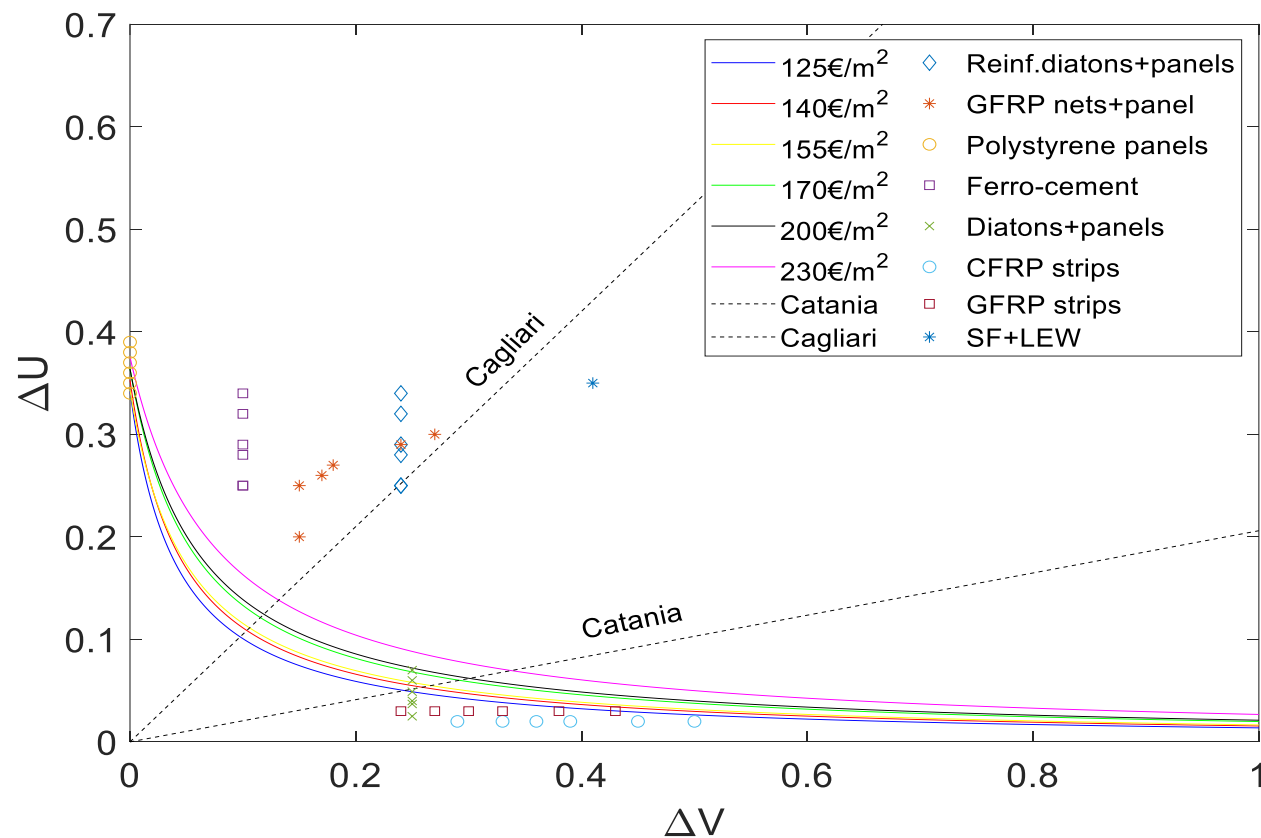
- Metodi integrati: applicazione a componenti edilizi (***parete singola***)

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

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

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

$$c_R = \frac{PGA_i}{PGA_{max}} \quad \text{and} \quad c_U = \frac{DD_i}{DD_{max}}$$



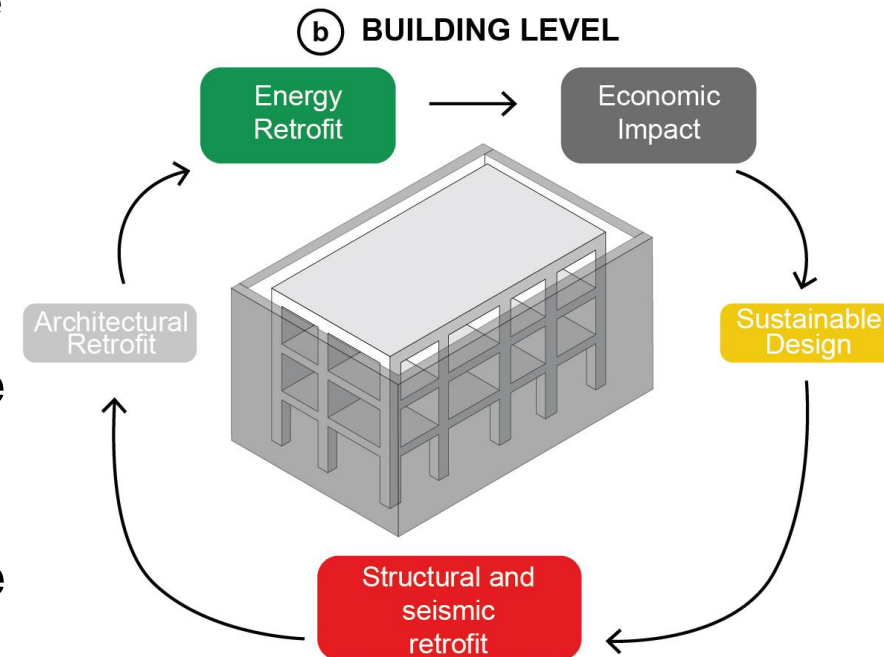
(Giresini, L. et al., 2020)

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

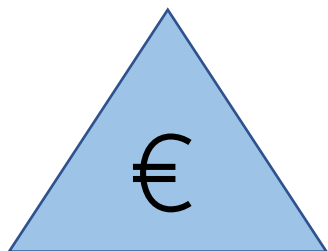


Prestazioni termiche-sismiche combinate «tradotte» attraverso una **metrica globale** per quantificare il miglioramento complessivo dell'efficienza (efficienza termica, sismica o, più in generale, di sostenibilità)



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

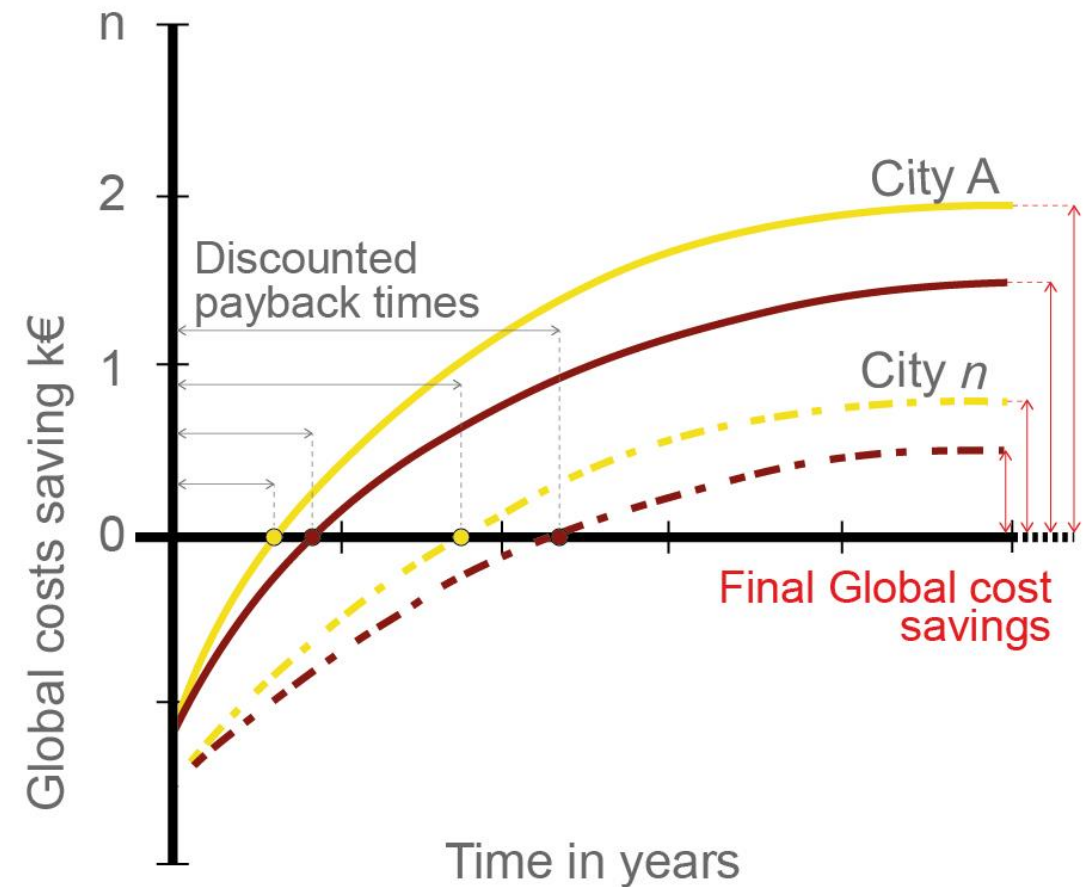


Sviluppo di approcci metodologici integrati

- *Metodi integrati:* applicazione all'intero edificio – **approccio economico**
- EAL_S , evaluated in line with the PEER PBEE methodology and using fragility curves and damage-to-loss functions of the building typology
- EAL_E , computed from the primary energy use due to the heating and cooling demands per unit of conditioned floor area (kWh/m²)

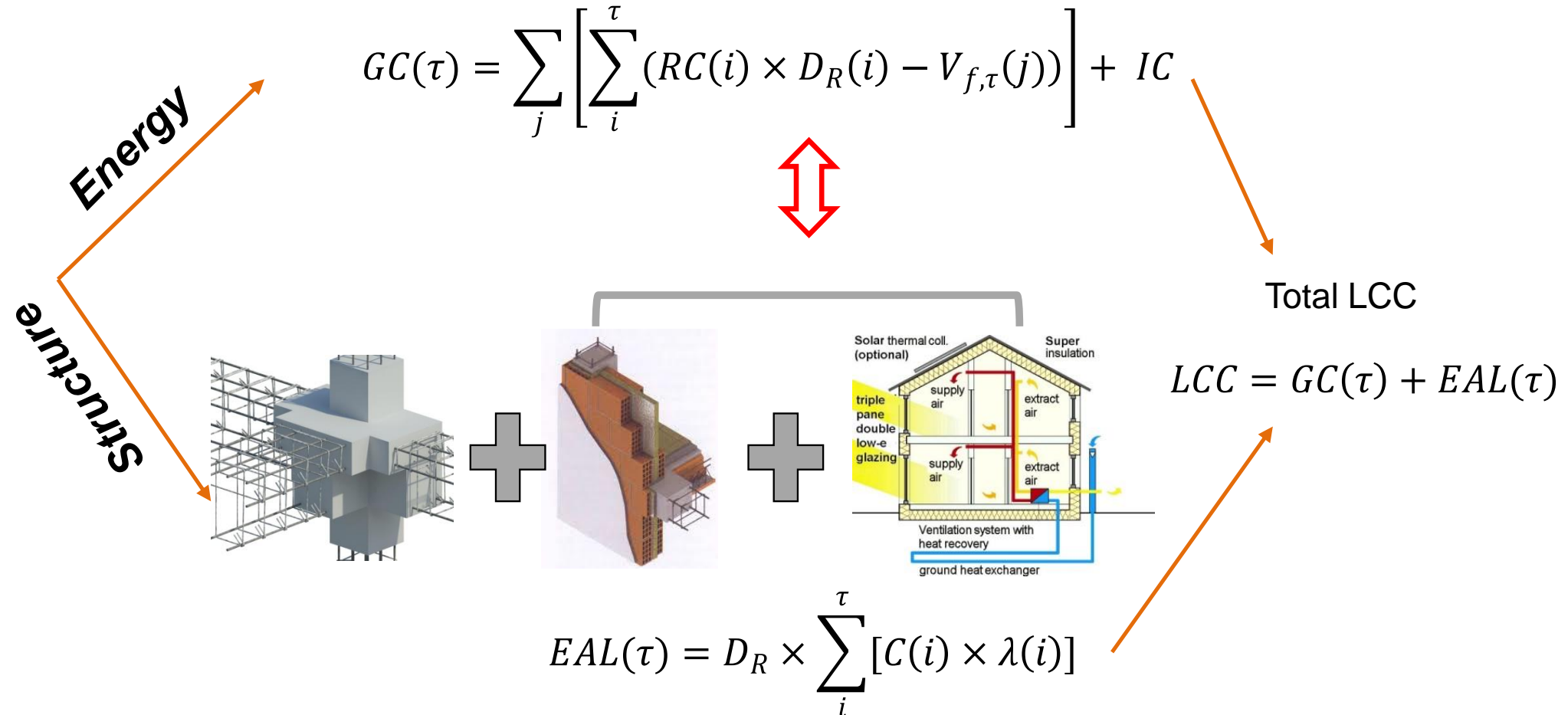
$$EAL_C = EAL_E + EAL_S$$

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



Sviluppo di approcci metodologici integrati

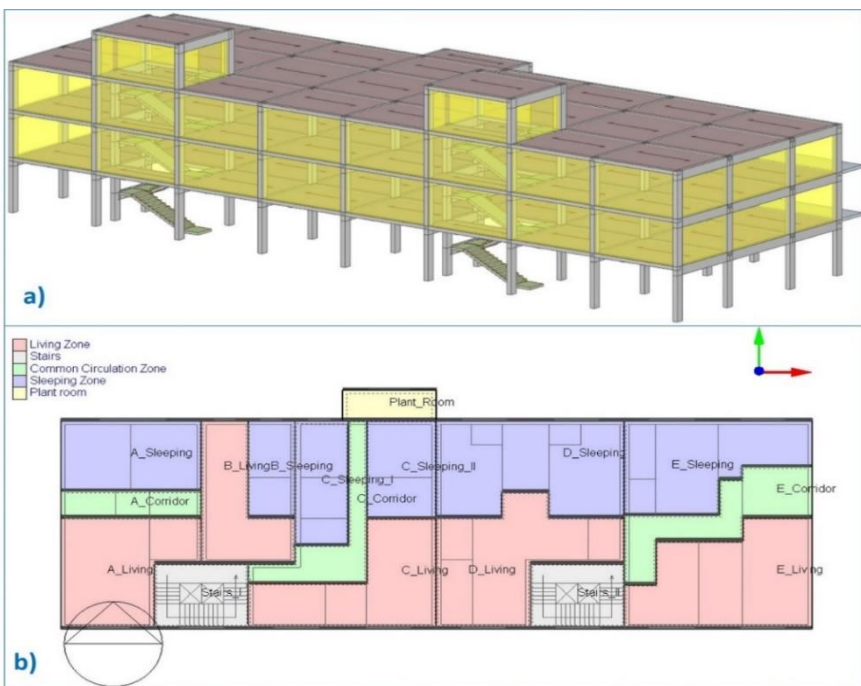
- *Metodi integrati:* applicazione all'intero edificio – **approccio economico**



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

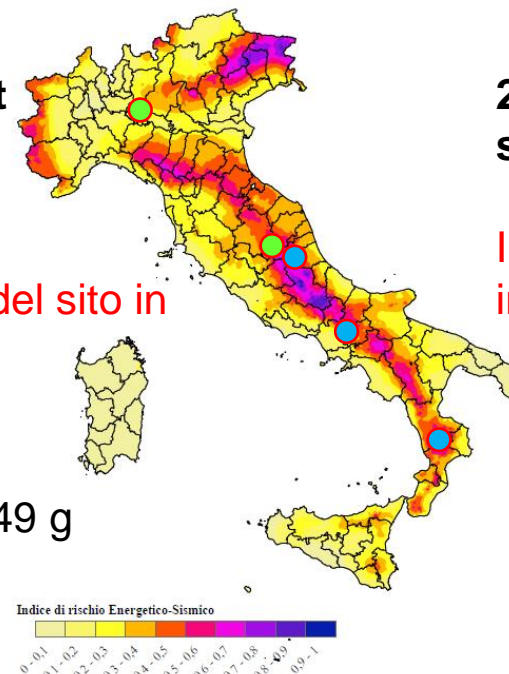
Italian climatic zone C,
(HDDs = 1316), PGA > 0.2 g

LATTARICO

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

SPOLETO

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

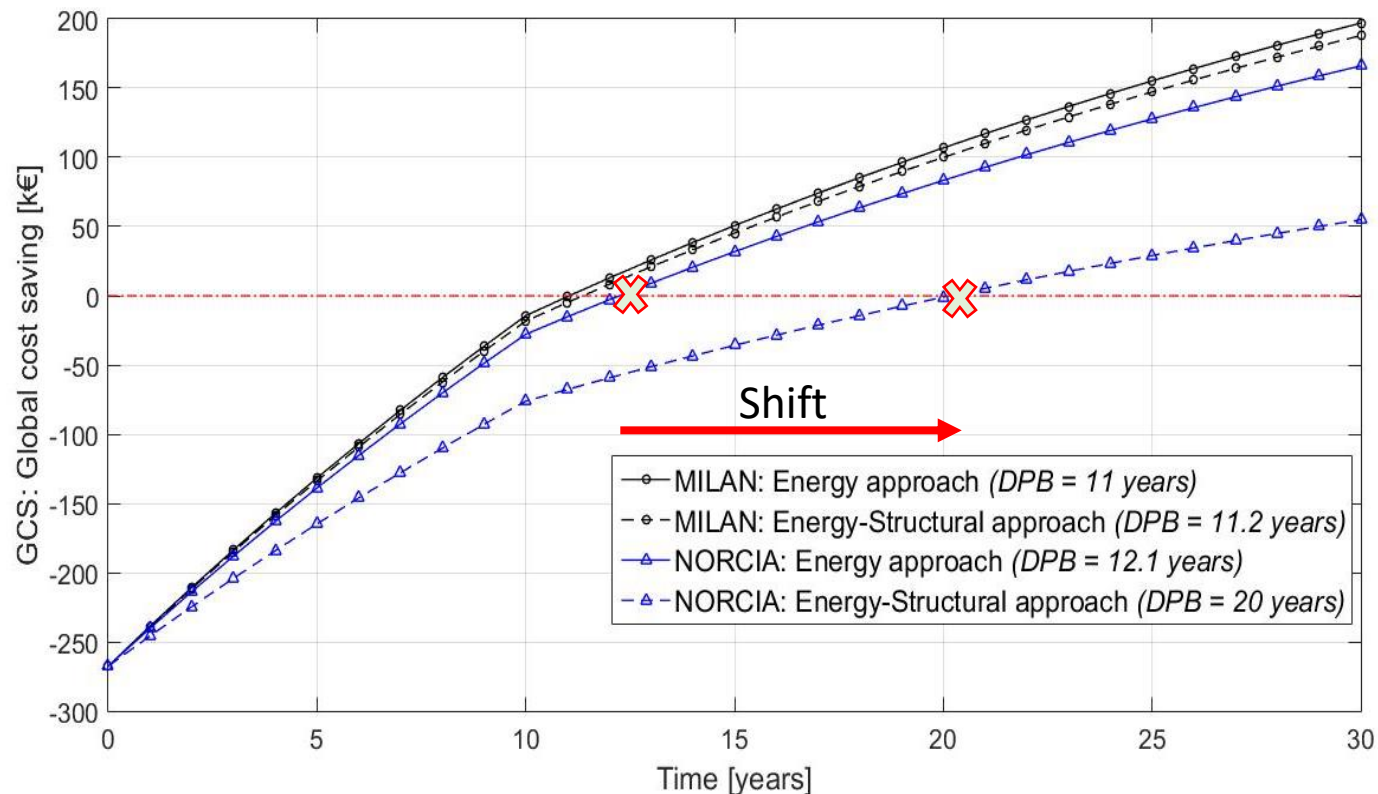


Sviluppo di approcci metodologici integrati

■ 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

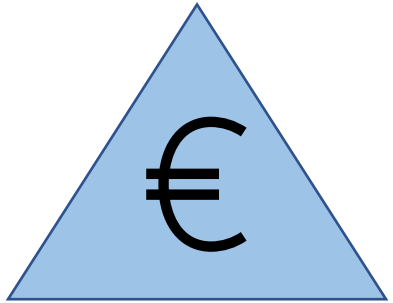
□ **Norcia:** il valore del GCS varia da 166.12 k€ a 54.98 k€, mentre il DPB da 12.1 a 20 years



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

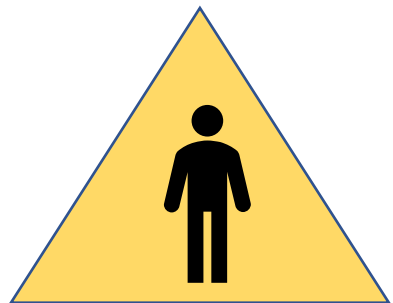


PARAMETRI AMBIENTALI

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



EMISSIONI ECO₂



PARAMETRI SOCIALI

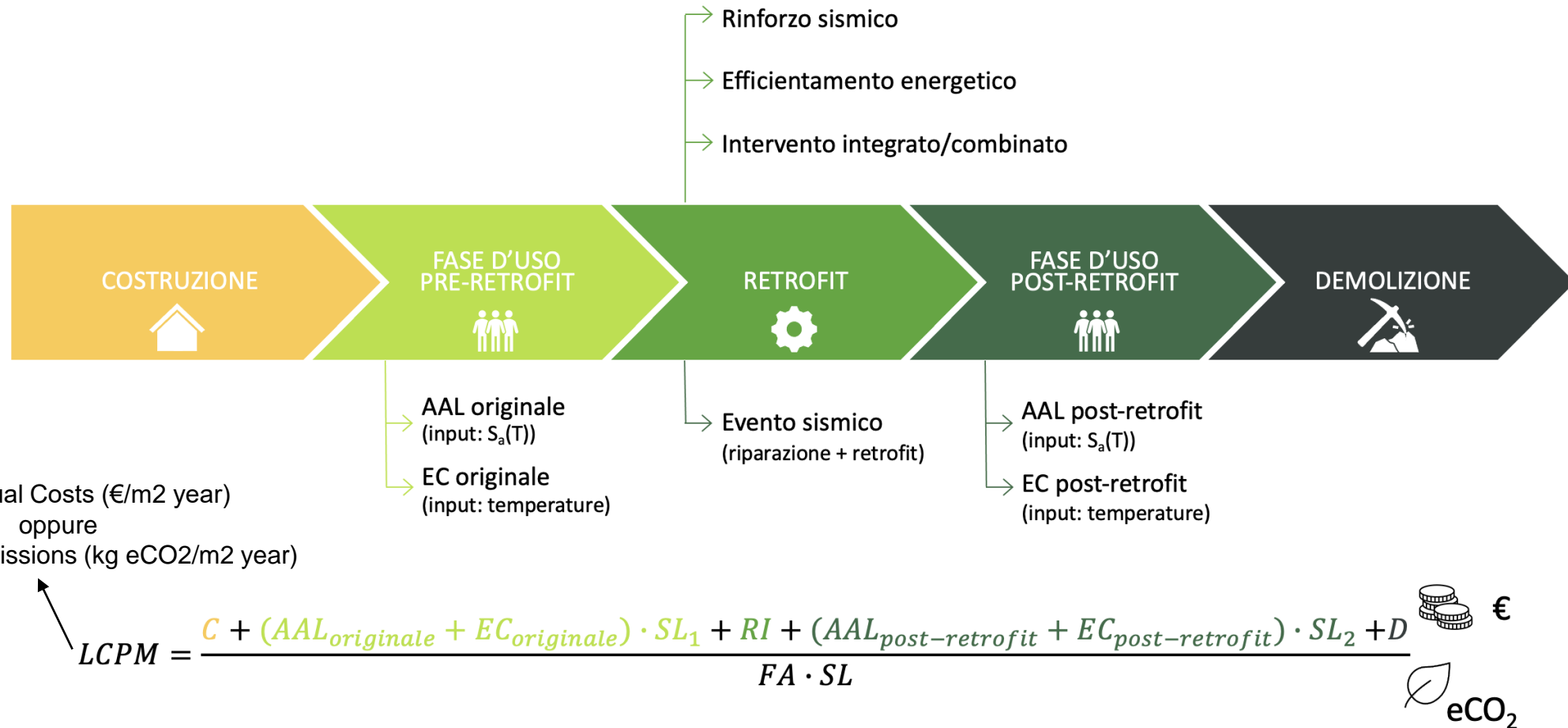
- perdite di vite umane dovute ad eventuali terremoti



PERDITE DI VITE UMANE

Sviluppo di approcci metodologici integrati

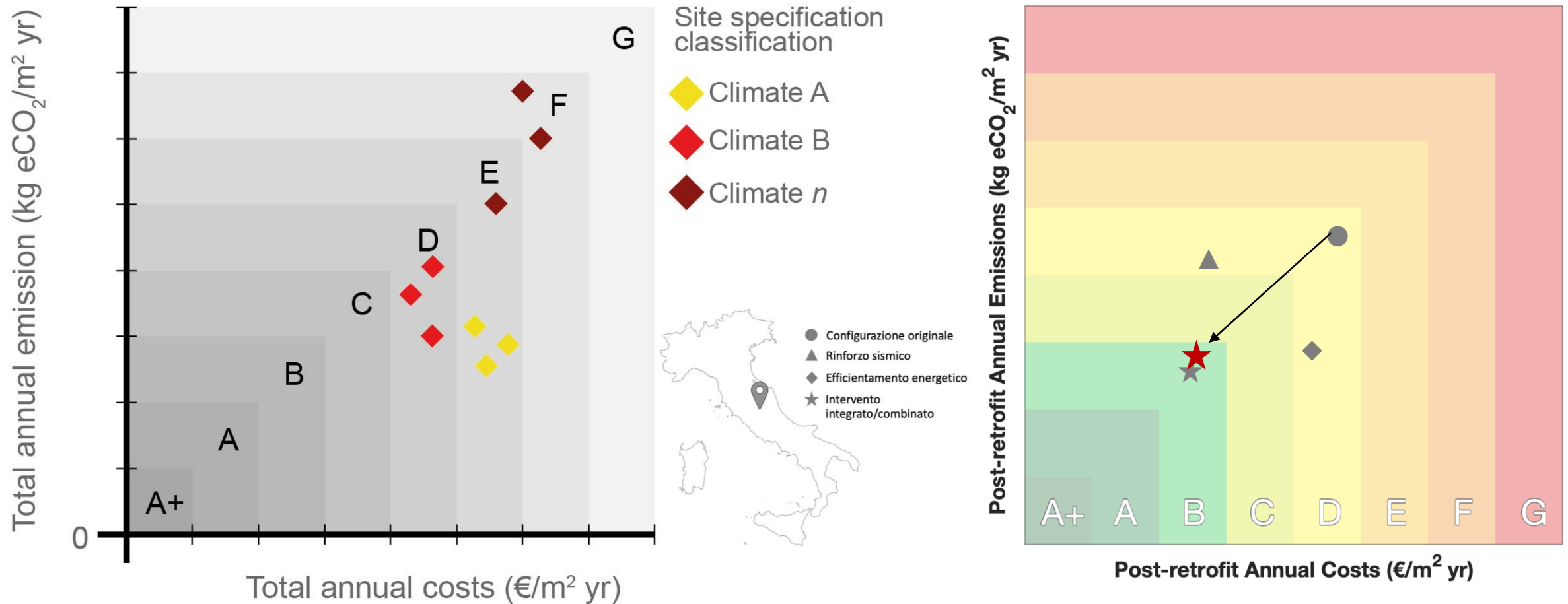
- **Metodi integrati:** applicazione all'intero edificio – approcci «olistici»



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

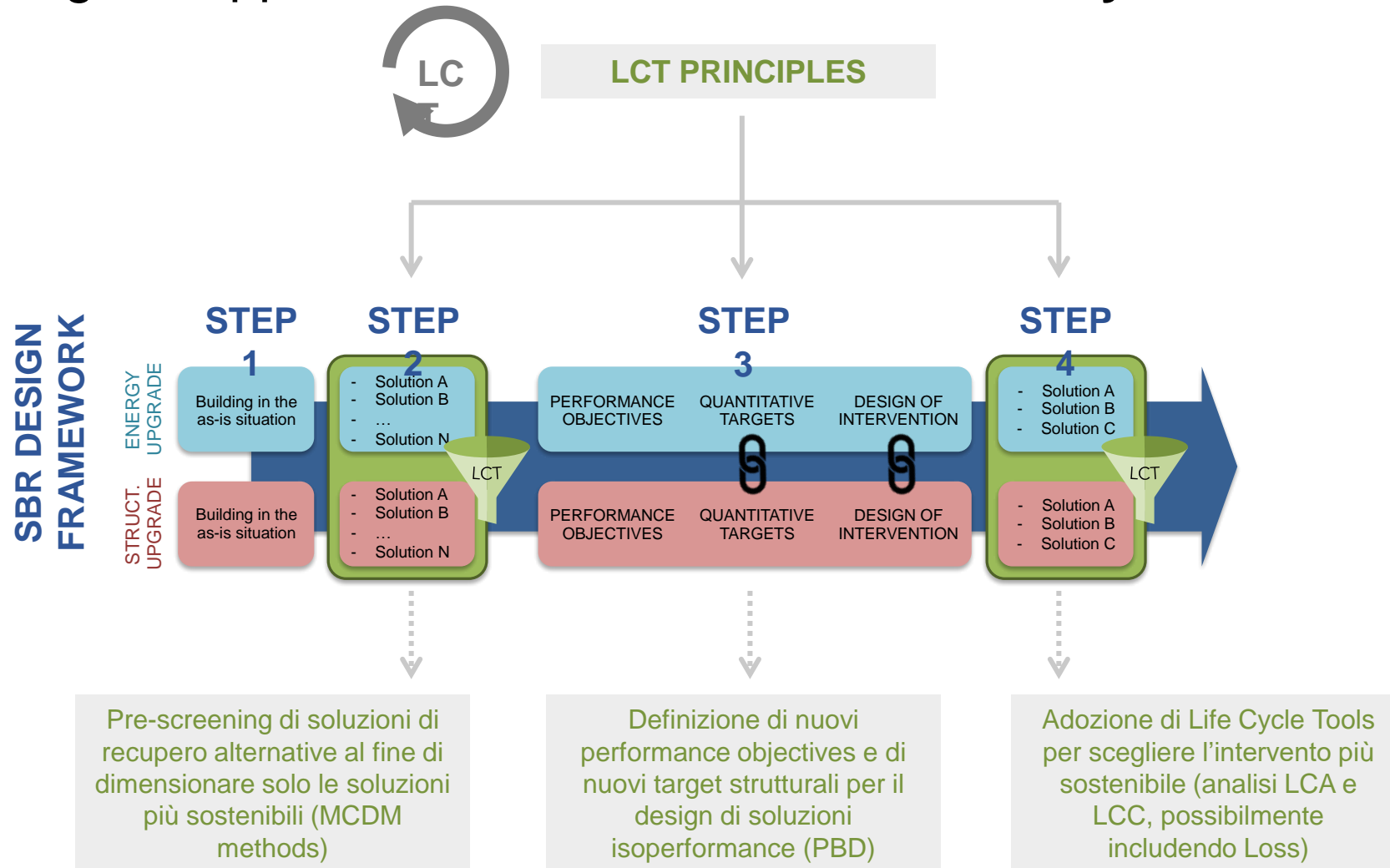
Sviluppo di approcci metodologici integrati

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



Sviluppo di approcci metodologici integrati

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



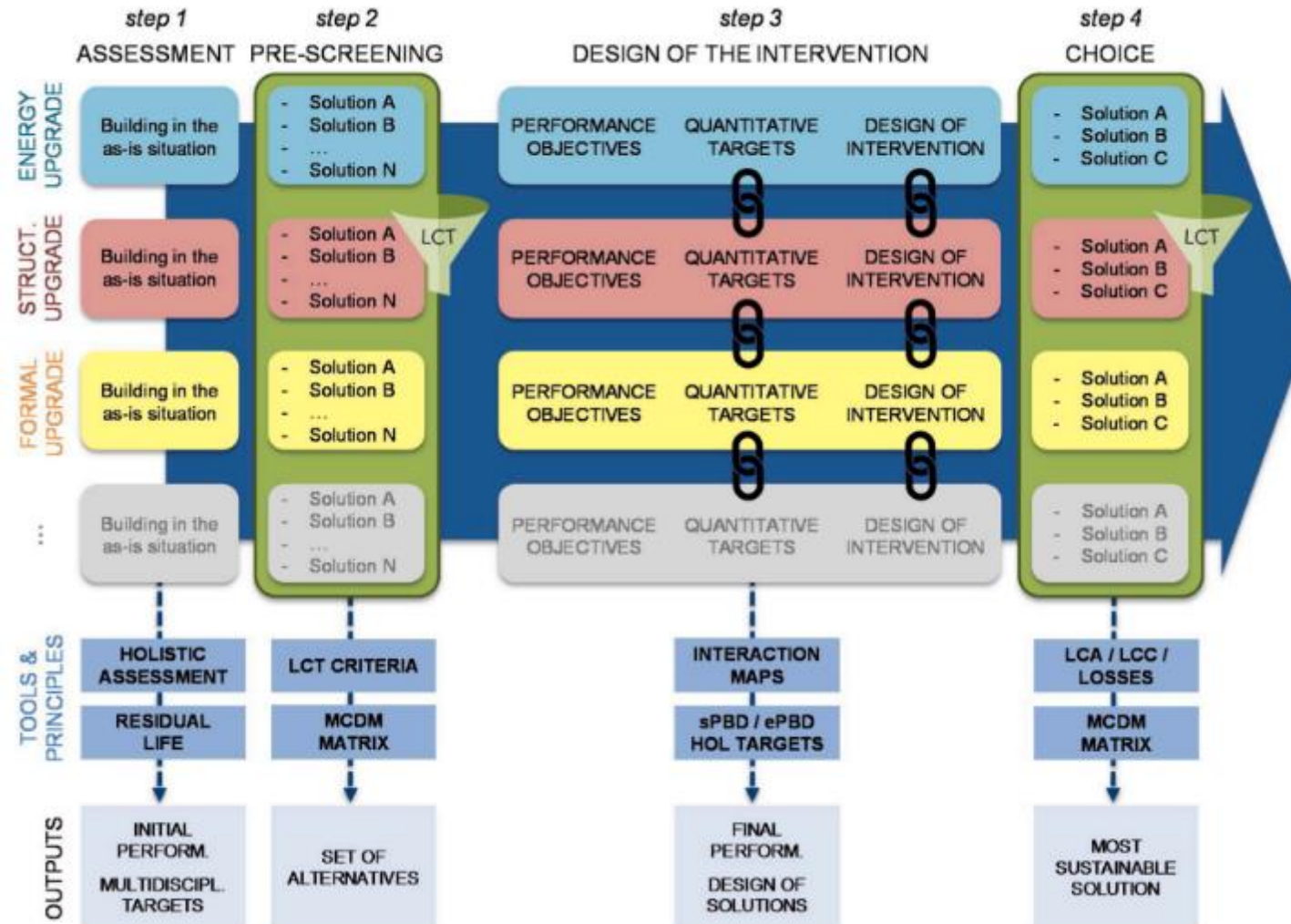
Passoni, C., Marini, A., Belleri, A., & Menna, C. (2021). Redefining the concept of sustainable renovation of buildings: State of the art and an LCT-based design framework. *Sustainable Cities and Society*, 64, 102519.

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

Napoli, 17 novembre 2023

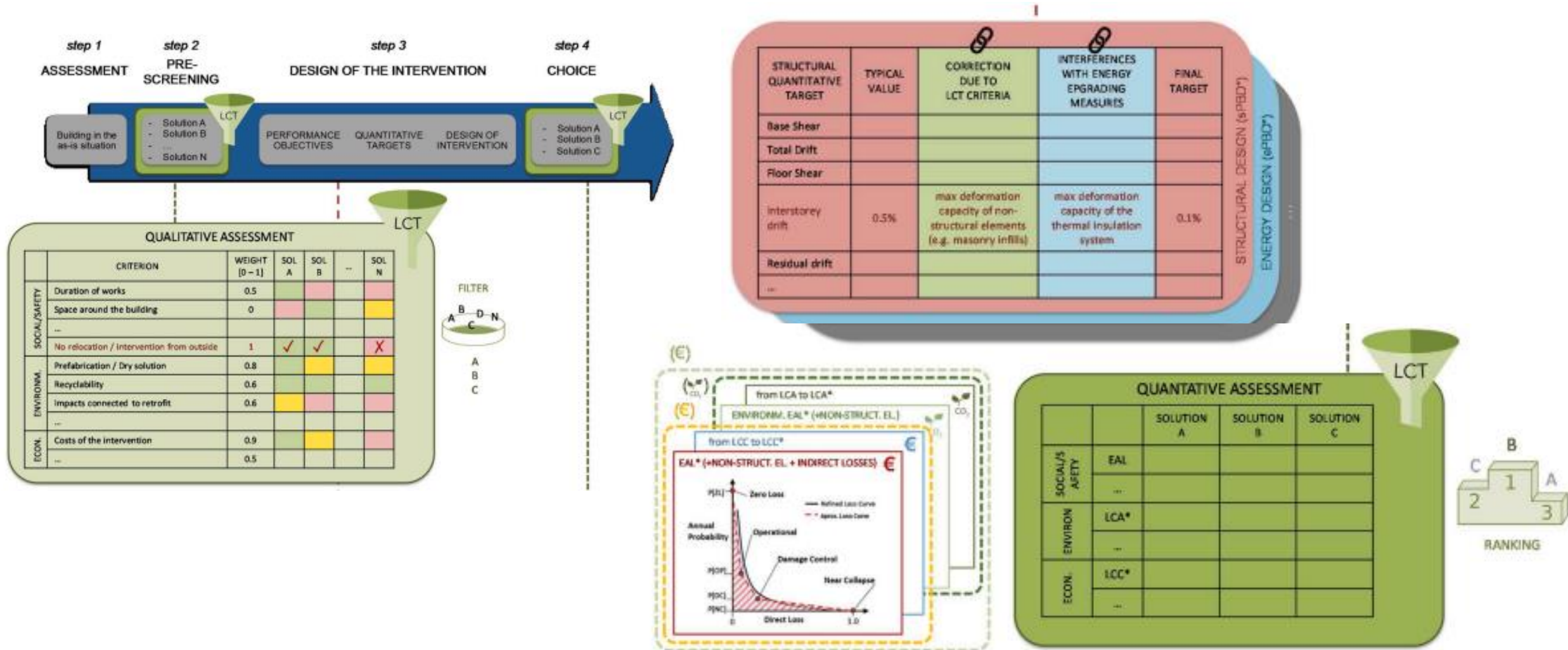
Sviluppo di approcci metodologici integrati

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



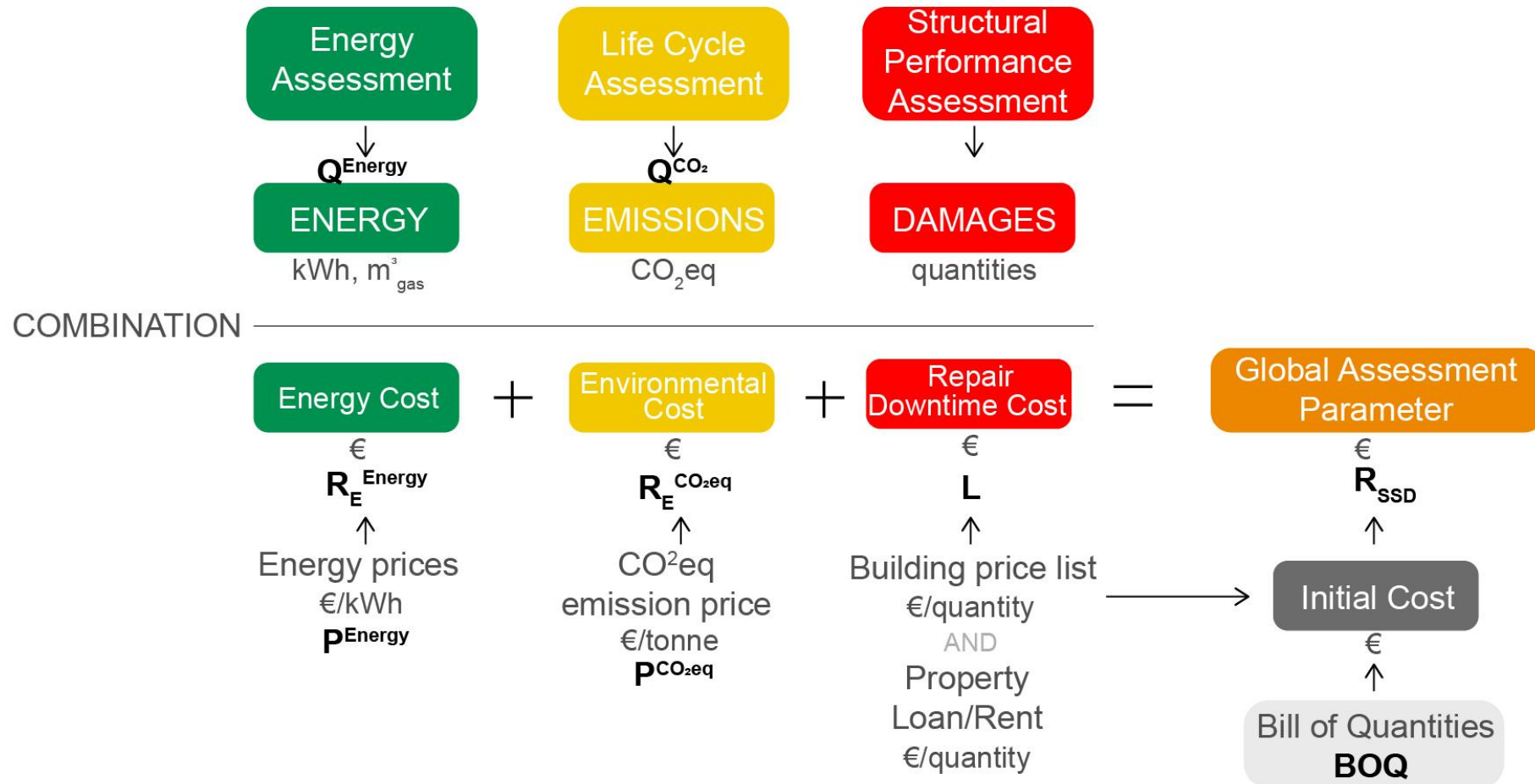
Sviluppo di approcci metodologici integrati

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



Sviluppo di approcci metodologici integrati

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



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

