



Rete dei Laboratori Universitari
di Ingegneria Sismica e Strutturale



6/13
OTTOBRE
2024

#settimanadiPC

SCUOLA DI INGEGNERIA STRUTTURALE – RELUIS

Bologna, 9-11 ottobre 2024

**INTERVENTI PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DI STRUTTURE
IN C.A. E MURATURA CON ESOSCHELETRI: PRINCIPI E CASI STUDIO**

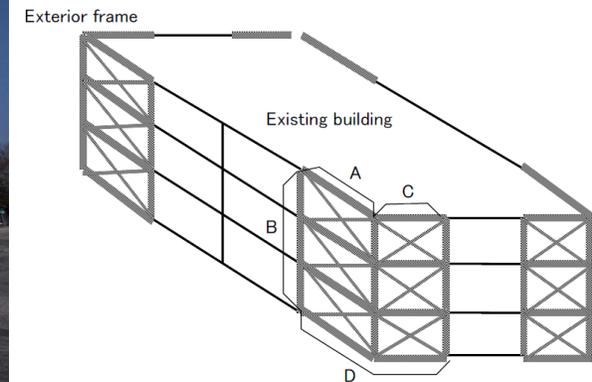


Antonio Formisano
Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura
Università degli Studi di Napoli "Federico II"



Outline

1. Introduzione
2. Stato dell'arte e classificazione degli esoscheletri
3. Esoscheletri: concezione strutturale
4. Metodologia di progetto
5. Il caso studio di un edificio in c.a.
6. Il caso studio di un edificio in muratura



1. Introduzione

In Italia, quasi il 60% degli edifici è stato costruito senza alcun criterio di progettazione antisismica.

Età del patrimonio edilizio esistente

Fonte: Eurostat, 2021



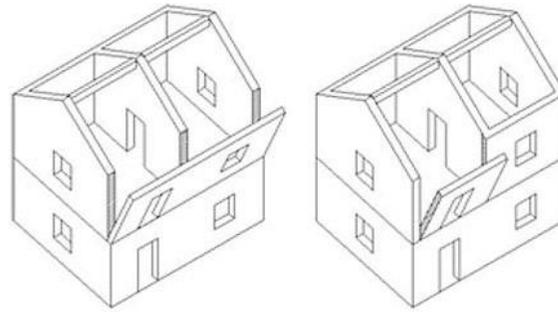
Legenda

- Prima 1919
- 1946-1960
- 1971-1980
- 1919-1945
- 1961-1970
- 1981-1990

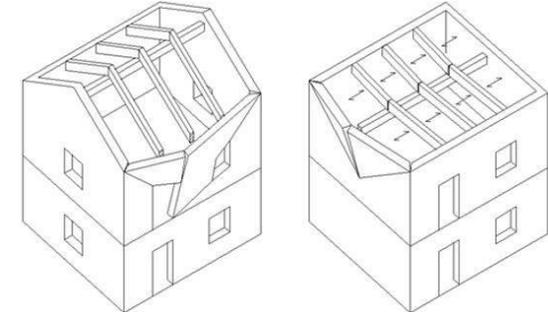
Molti edifici attualmente si trovano in condizioni di avanzato degrado e presentano differenti tipologie di danno in caso di eventi sismici.

Strutture in muratura

Presenza di meccanismi locali



- Ribaltamento parziale o totale



- Flessione verticale o orizzontale

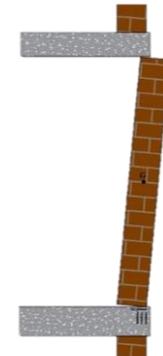
Strutture in c.a.



- Rottura a taglio o a pressoflessione degli elementi principali



- Lesioni e rotture dei nodi



- Ribaltamento tamponature

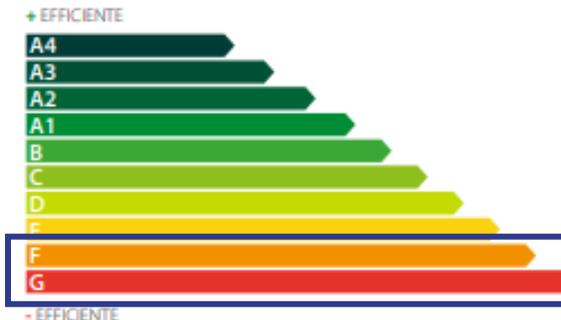
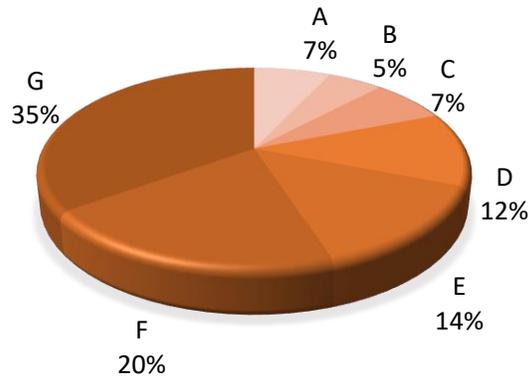
1. Introduzione

Oltre alle inevitabili criticità dovute all'assenza di una progettazione antisismica, gli edifici esistenti presentano anche problemi di **natura energetica**, essendo caratterizzati da notevoli **dispersioni termiche**.



Oltre il 50% del patrimonio edilizio esistente, per via di tali dispersioni, rientra nelle **due classi energetiche più basse** (F e G).

Efficienza energetica del patrimonio edilizio italiano ENEA



- Strutture verticali: 25%
- Infissi: 15%
- Copertura: 20%
- Solaio di primo calpestio: 7%

È dunque necessario applicare una **strategia di intervento integrata** in grado di coniugare sia gli aspetti sismici, spesso trascurati, che quelli energetici, al fine di **migliorare** il comportamento sismico ed energetico del patrimonio edilizio esistente.

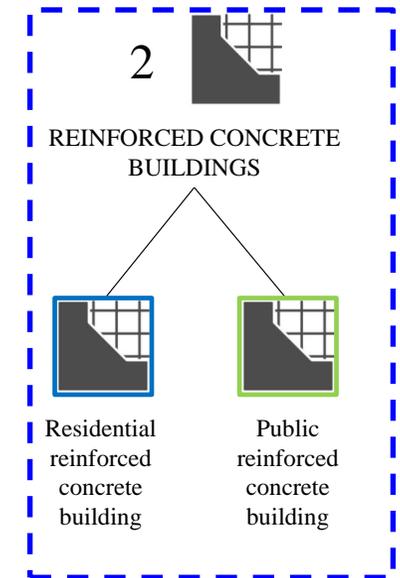
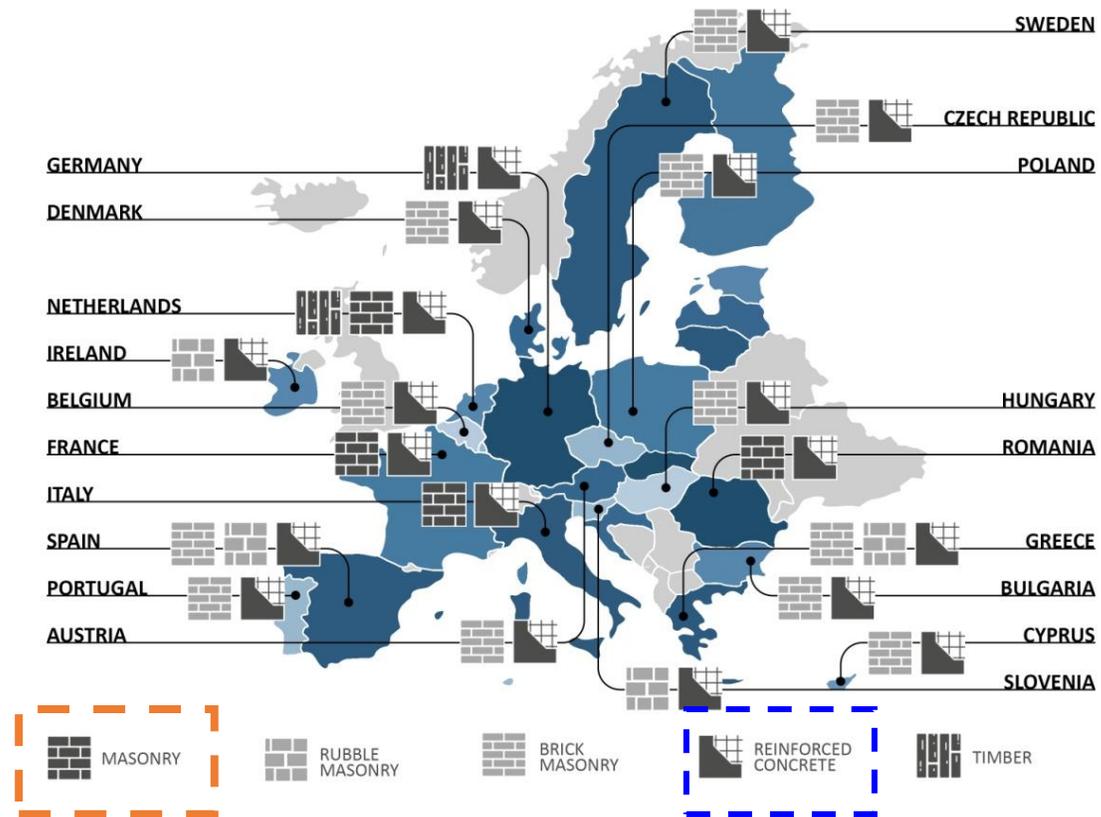
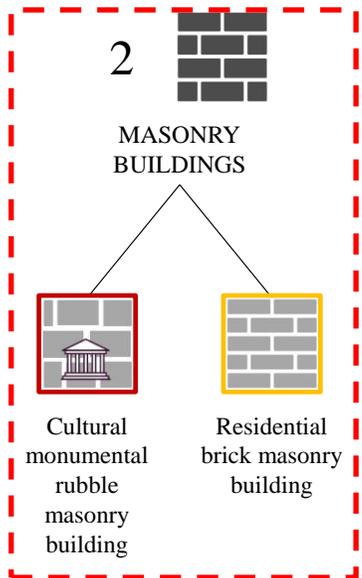
Tra le varie soluzioni impiegate, una delle più innovative è quella che prevede l'applicazione degli **esoscheletri in acciaio**.



Quadro delle attività: Il patrimonio edilizio Europeo

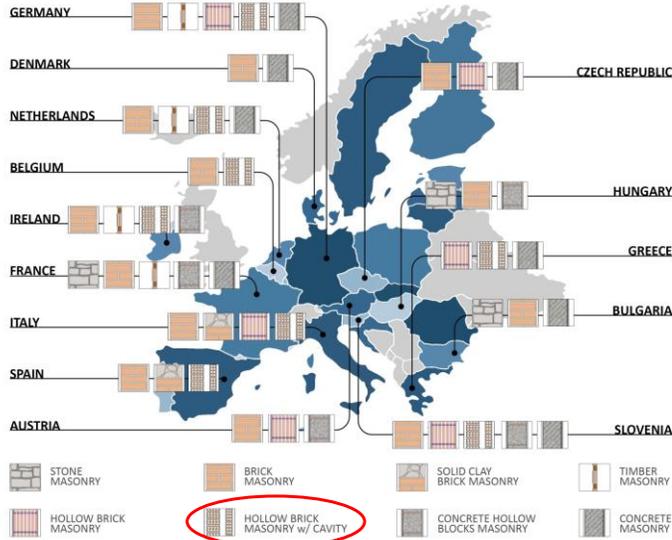
(Progetto pilota JRC – Componenti esperti: R. Landolfo - A. Formisano)

La mappa mostra le principali tipologie costruttive che caratterizzano una significativa parte del patrimonio edilizio esistente europeo.

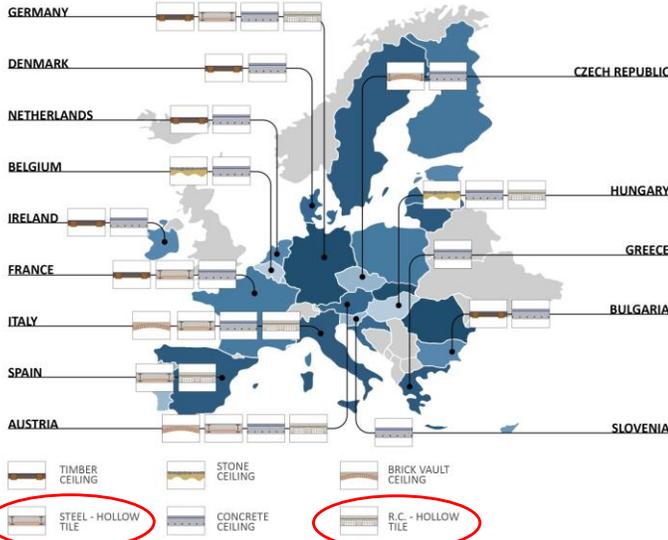


Quadro delle attività: I sistemi di chiusura e partizione

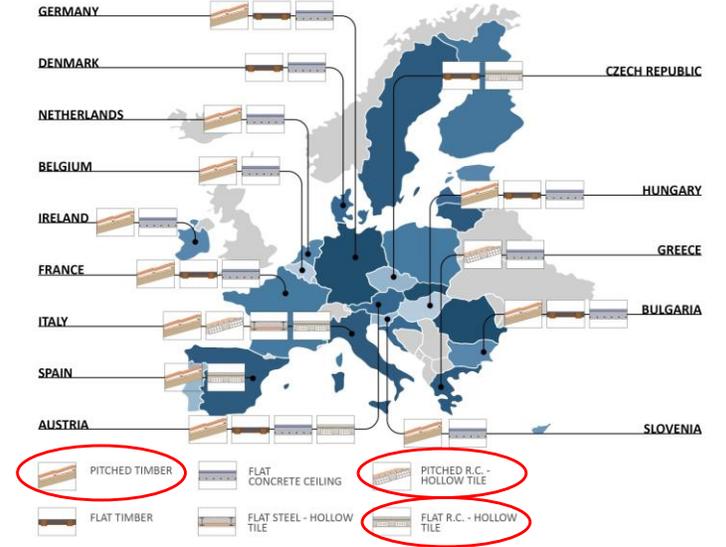
Tamponature



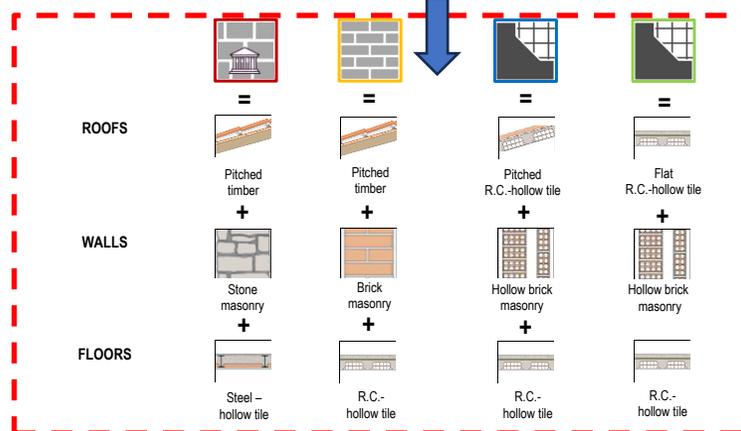
Solai



Coperture

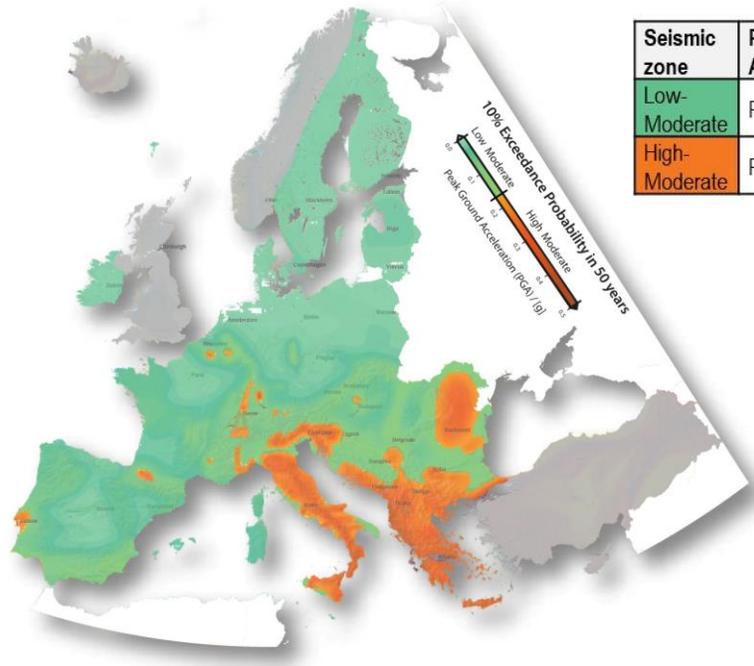


Fonte: TABULA Web Tool, 2020 (Pohoryles et al., 2020)



Caratteristiche strutturali ed energetiche degli edifici esaminati

Quadro delle attività: Macroaree di rischio sismico e climatico



| Seismic zone | Peak Ground Acceleration (PGA) |
|---------------|--------------------------------|
| Low-Moderate | PGA < 0,175g |
| High-Moderate | PGA ≥ 0,175g |

| Seismic level | Low-Moderate (L-M) | Low-Moderate (L-M) | Low-Moderate (L-M) | High-Moderate (H-M) | High-Moderate (H-M) | High-Moderate (H-M) |
|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Climatic zone | A | B | C | A | B | C |
| Case studies | | X | X | X | X | |



| Climatic zone | Heating Degree Days (HDD) |
|---------------|---------------------------|
| A | HDD < 2200 |
| B | 2200 ≤ HDD ≤ 3500 |
| C | HDD > 3500 |

| | |
|-------------|------|
| Malta | 366 |
| Cyprus | 477 |
| Portugal | 1305 |
| Greece | 1383 |
| Italy | 1754 |
| Spain | 1800 |
| Croatia | 2148 |
| France | 2184 |
| Bulgaria | 2358 |
| Hungary | 2472 |
| Belgium | 2514 |
| Netherlands | 2527 |
| Slovenia | 2584 |
| Luxembourg | 2670 |
| Romania | 2749 |
| Ireland | 2756 |
| Germany | 2776 |
| Slovakia | 2922 |
| Czechia | 2996 |
| Denmark | 3051 |
| Poland | 3125 |
| Austria | 3196 |
| Lithuania | 3696 |
| Latvia | 3891 |
| Estonia | 4065 |
| Sweden | 5163 |
| Finland | 5364 |

Dwellings in Toscolano Maderno (BS)
Dwellings in Dalmine (BS)
Santini Primary school (MC)
City Hall of Barisciano (AQ)



Quadro delle attività: Strumento di retrofit combinato sismico-energetico

I metodi integrati standard per la valutazione delle prestazioni strutturali e ambientali di edifici soggetti a retrofit hanno in comune un **unico strumento di governance**, vale a dire il parametro economico.

Il caso studio – La scuola primaria «P. Santini»



| | | | | | | |
|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|---|----------------------|----------------------|
| Seismic level | Low/ Moderate (L-M) | Low/ Moderate (L-M) | Low/ Moderate (L-M) | High/ Moderate (H-M) | High/ Moderate (H-M) | High/ Moderate (H-M) |
| Climatic zone | A | B | C | A | B | C |
| Case studies | | | |  | | |



Energy retrofit: facade system using **perforated panels** and **alveolar polycarbonate modules** with thermal insulation intervention using **Transparent Insulation Materials (TIM)**.



Seismic retrofit: **X-shaped Concentric Braced Frame (CBF-X)** **steel exoskeletons** with **CHS profiles**.

Fasi di analisi:

- 1) Fase energetica
- 2) Valutazione ambientale (LCA)
- 3) Analisi sismica

1. Introduzione

WP5 ReLUIs «Interventi di rapida esecuzione a basso impatto ed integrati»
Coordinatore UR UNINA: Prof. R. Landolfo

*Strategie di retrofit sismico di strutture esistenti in cemento armato
 Con bassa durabilità e duttilità*



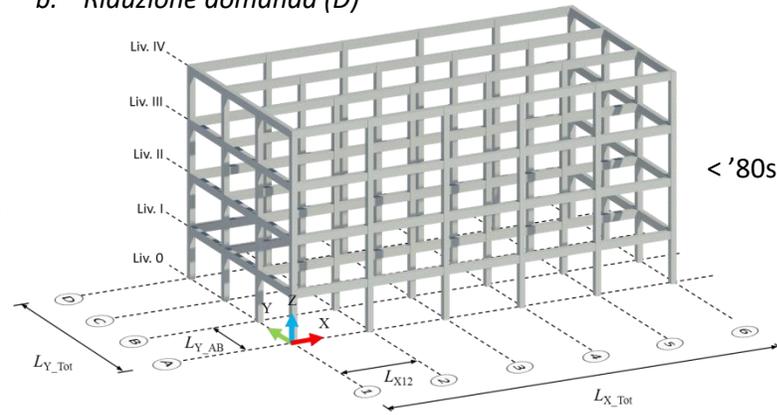
Categorie intervento:

- §8.4.1. Interventi locali
- §8.4.2. Miglioramento sismico
- §8.4.3. Adeguamento sismico

Strategie di intervento



- a. Aumento capacità (C)
- b. Riduzione domanda (D)



$$\frac{D}{C} \leq 1$$

Interventi per la durabilità

Meccanismi di corrosione:

- Carbonatazione
- Contaminazione
- Correnti indotte

- a. Conservazione dalla passività
- b. Aumento della resistività
- c. Protezione catodica
- d. Protezione anodica



$$C(t)$$



1. Introduzione



Techniques
Seismic Rel
of Existing

FEMA 547/2006 Edition



English Version, 1st

Standard

for Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings, 2001

Guidelines

for Seismic Retrofit of Existing Reinforced Concrete Buildings, 2001

and

Technical Manual

for Seismic Evaluation and Seismic Retrofit of Existing Reinforced Concrete Buildings, 2001

Translated by :
Building Research Institute

Published by :
The Japan Building Disaster Prevention Association

Quadro normativo

§3.4 Strategie per sviluppare programmi di riabilitazione

3.4.5 Short-term Disruption of Occupants

Often retrofits are done at the time of major building remodels and this issue is minimized. However, in cases where the building is partially or completely occupied, this parameter commonly becomes dominant and controls the design.

To minimize disruption, schemes are often explored that place strengthening elements outside the building the building envelope. Concrete shear walls, pier-spandrel frames, and steel braced frames placed adjacent to or within the plane of exterior walls have been used in this way. Shear connection of the diaphragms to these new elements must be carefully considered. External elements that can also provide new strength and stiffness perpendicular to the exterior wall have

Cosa accade se non è possibile interrompere l'operatività della struttura?

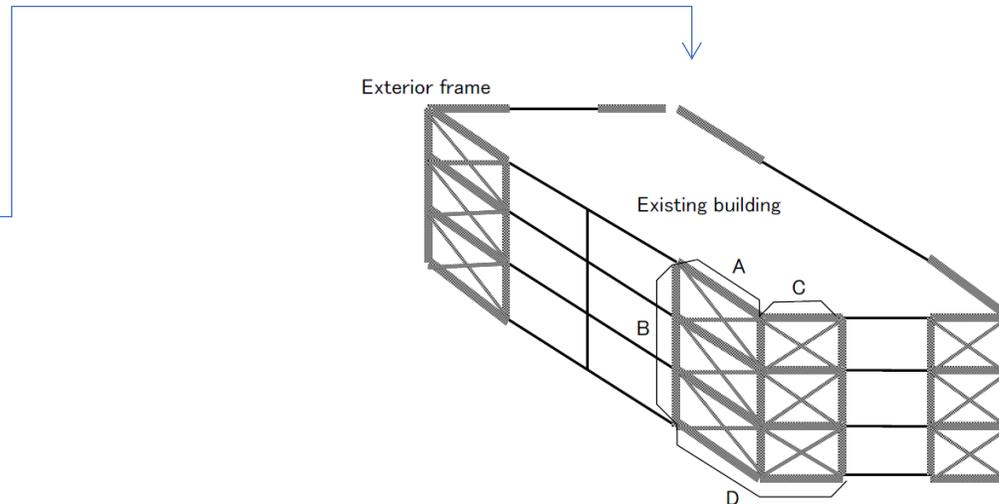


Figure TN.45 Exterior frame (steel framed brace)

1. Introduzione



Techniques of Seismic Rel of Existing

FEMA 547/2006 Edition



Pubblicazione nel 1977, Revisione 1990 [in Giapponese]

既存建築物の耐震診断・耐震補強ガイドライン

Associazione per la prevenzione delle catastrofi in Giappone
 Norme per la valutazione della capacità sismica e linee guida per la riabilitazione sismica di edifici esistenti in cemento armato

制定 平成 22 年 02 月 20 日
 改定 平成 22 年 03 月 08 日
 改定 平成 23 年 04 月 25 日
 改定 平成 25 年 10 月 01 日

株式会社ジェイ・イー・サポート
 建築物耐震診断・耐震改修計画 判定委員会

Quadro normativo

Cosa accade se non è possibile interrompere l'operatività della struttura?



§3.4 Strategie per sviluppare programmi di riabilitazione

3.4.5 Short-term Disruption of Occupants

Often retrofits are done at the time of major building remodels and this issue is minimized. However, in cases where the building is partially or completely occupied, this parameter commonly becomes dominant and controls the design.

To minimize disruption, schemes are often explored that place strengthening elements outside the building the building envelope. Concrete shear walls, pier-spandrel frames, and steel braced frames placed adjacent to or within the plane of exterior walls have been used in this way. Shear connection of the diaphragms to these new elements must be carefully considered. External elements that can also provide new strength and stiffness perpendicular to the exterior wall have

Queste tecniche d'intervento erano già menzionate nel primo codice giapponese del 1977 relativo alla ristrutturazione degli edifici in c.a. esistenti.

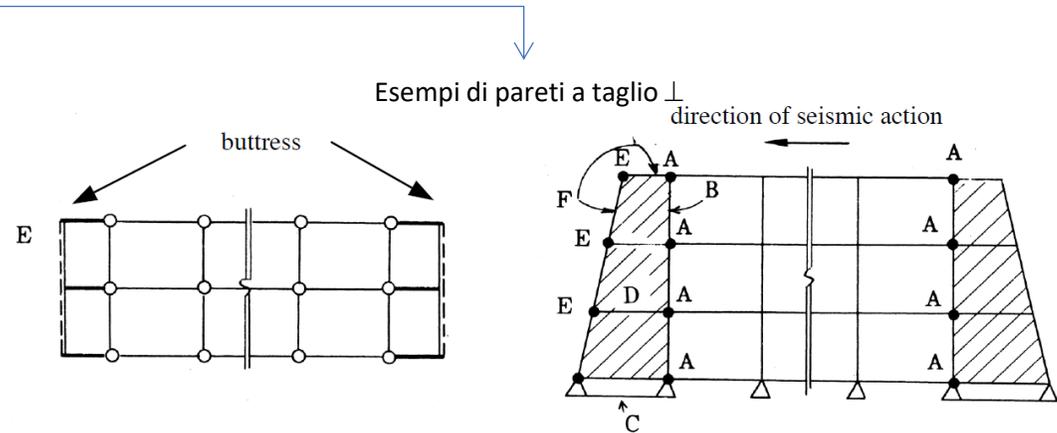


Figure TN.43 Examples of appropriately located buttress

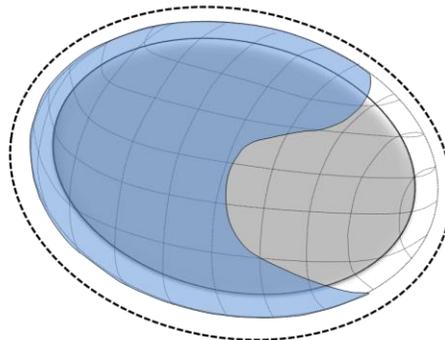
2. Stato dell'arte e classificazione degli esoscheletri

Esoscheletri: Definizione e prerequisiti strutturali (DPC-ReLUIs 2021-2023 - Coordinatore: R. Landolfo)

L'esoscheletro è un sistema **additivo**, facoltativamente anche **adattivo**, che è collegato all'edificio esistente dall'esterno su gran parte della superficie.

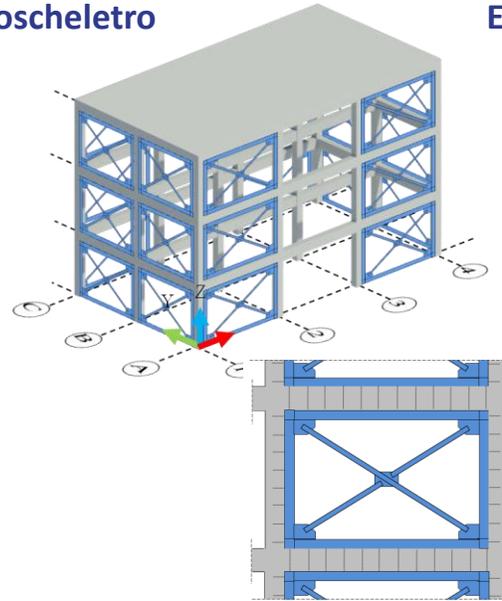
Requisiti

- Additivo (Di elementi o sistemi) → Intervento globale
- Esterno → Con fondazioni proprie o collegate a quelle esistenti
- Estensione → Integrale o parziale
- Adattivo → Capacità di adattamento alle trasformazioni edilizie

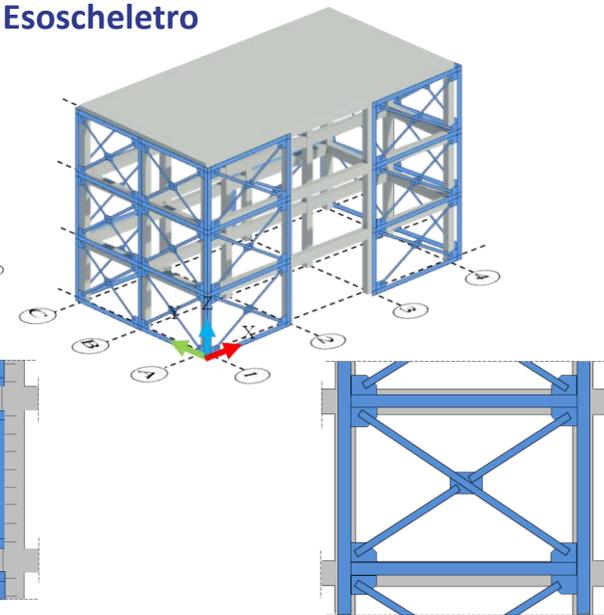


- Struttura esistente
- Esoscheletro
- Esoscheletro integrale
- Esoscheletro adattivo

Endoscheletro



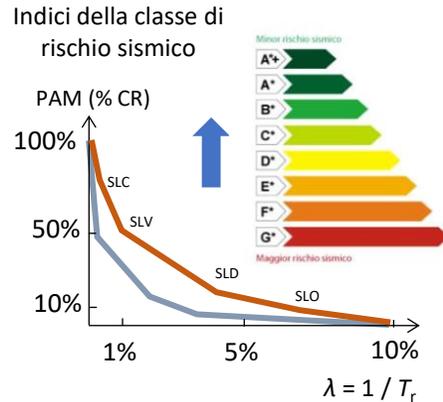
Esoscheletro



2. Stato dell'arte e classificazione degli esoscheletri

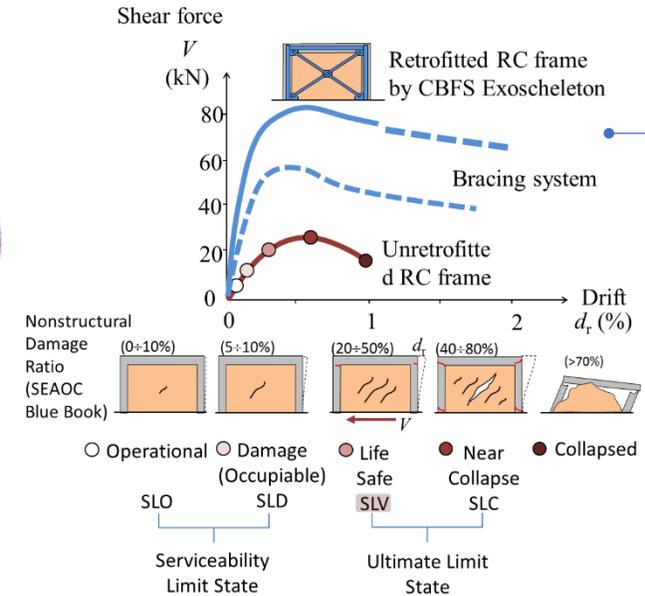
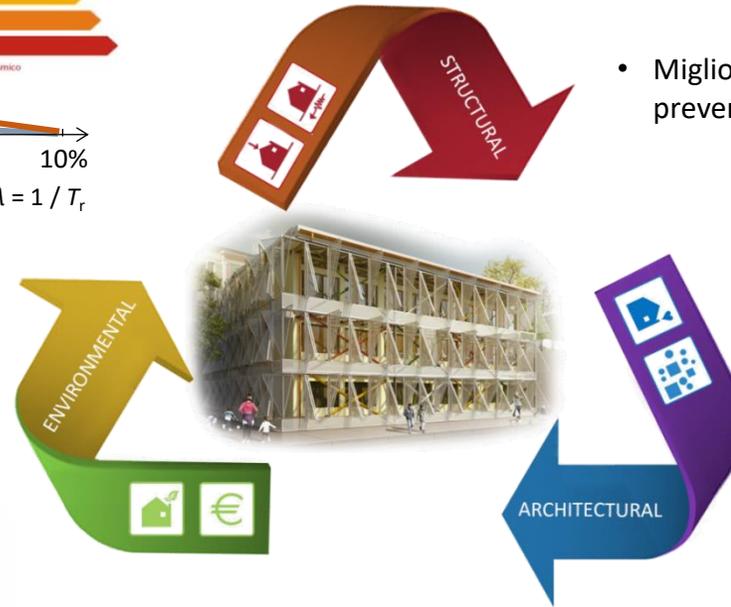
Proprietà

Per la sua configurazione, l'esoscheletro ha il potenziale di combinarsi con sistemi di isolamento termico-acustico per eseguire un'analisi di tutto il ciclo di vita dell'edificio con un approccio olistico, che mescola gli aspetti strutturali con quelli del comfort ambientale e anche con le questioni architettoniche, realizzando un profondo rinnovamento del contesto urbano.



● Proprietà strutturali

- Sono in grado di proteggere la costruzione esistente aumentando la sua resistenza, rigidezza e duttilità.
- Migliorano gli indici di rischio allo stato limite ultimo e di esercizio e riducono il valore della PAM (aumento della classe di sicurezza sismica)
- Migliorano il comportamento locale (nodi trave-colonna esterni) e prevengono l'attivazione di collassi fragili



Riferimenti

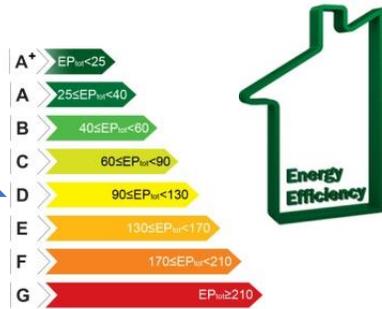
(*) Badoux, M., Jirsa, J.O., (1990). "Steel Bracing of RC Frames for Seismic Retrofitting", Journal of Structural Engineering, 116 (1), 55-74.

2. Stato dell'arte e classificazione degli esoscheletri

Proprietà

Per la sua configurazione, l'esoscheletro ha il potenziale di combinarsi con sistemi di isolamento termico-acustico per eseguire un'analisi di tutto il ciclo di vita dell'edificio con un approccio olistico, che mescola gli aspetti strutturali con quelli del comfort ambientale e anche con le questioni architettoniche, realizzando un profondo rinnovamento del contesto urbano.

Classe energetica



● Proprietà strutturali

- Sono in grado di proteggere la costruzione esistente aumentando la sua resistenza, rigidità e duttilità.
- Migliorano gli indici di rischio allo stato limite ultimo e di esercizio e riducono il valore della PAM (aumento della classe di sicurezza sismica)
- Migliorano il comportamento locale (giunti trave-colonna esterna) e prevengono l'attivazione di collassi fragili

- Possono essere utilizzati come interventi di emergenza provvisori alternativi per riparare e proteggere gli edifici danneggiati dai eventi sismici

- Sono in grado di aumentare la durabilità dell'opera modificando la classe di esposizione delle parti strutturali

● Proprietà ambientali

- Retrofit energetico grazie a un nuovo guscio (aumento della classe di efficienza energetica)
- Intervento reversibile grazie a materiali metallici e tecnologie a secco utilizzate

● Proprietà architettoniche

- Addizione laterale per un adeguamento funzionale
- Nuova shell per un retrofit formale
- Rigenerazione urbana



3. Esoscheletri: concezione strutturale

Fasi operative

Step 1

Scelta tecnologica

Selezione del materiale strutturale

Step 2

Scelta tipologica

Selezione degli elementi e degli schemi antisismici

Step 3

Scelta dimensionale

Dimensionamento di primo tentativo

3. Esoscheletri: concezione strutturale

Fasi operative

Step 1

Scelta tecnologica

Selezione del materiale strutturale

Step 2

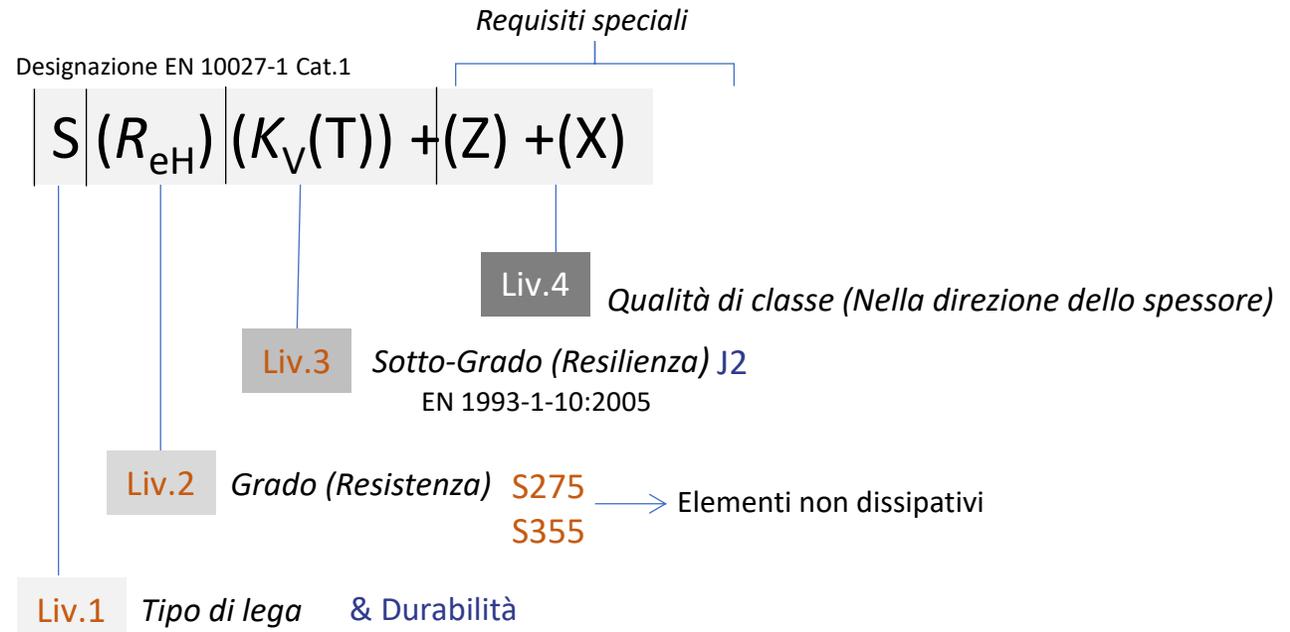
Scelta tipologica

Selezione degli elementi e degli schemi antisismici

Step 3

Scelta dimensionale

Dimensionamento di primo tentativo



3. Esoscheletri: concezione strutturale

Fasi operative

Step 1

Scelta tecnologica

Selezione del materiale strutturale

Step 2

Scelta tipologica

Selezione degli elementi e degli schemi antisismici

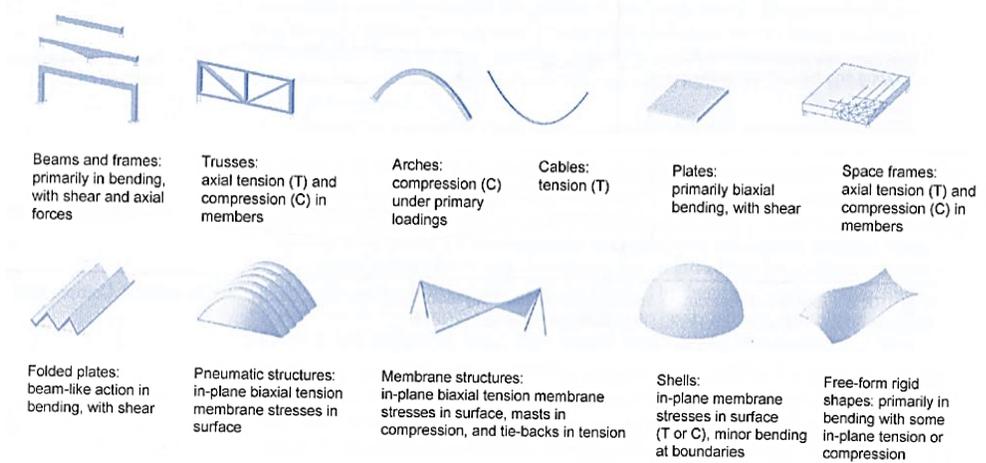
Step 3

Scelta dimensionale

Dimensionamento di primo tentativo

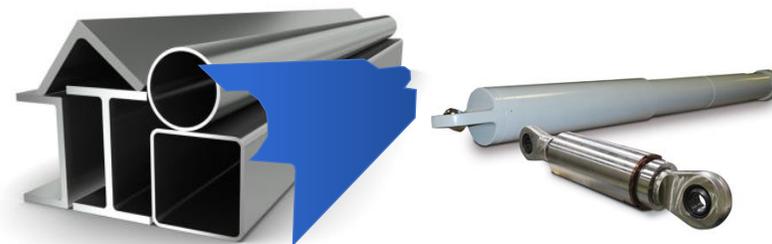
Globale (Liv. I ÷ III)

Schema sismo - resistente



Locale (Liv. IV÷V)

Sezioni e dispositivi per il trasferimento delle azioni



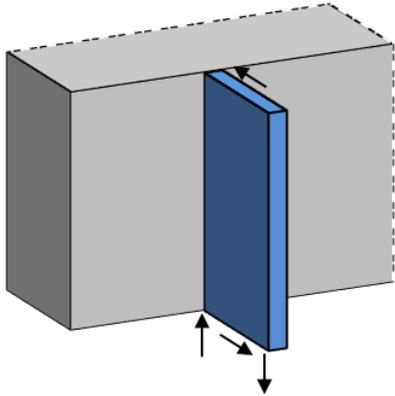
3. Esoscheletri: concezione strutturale

Selezione degli schemi antisismici (Step 2 - Livello I)

Esoscheletri 2D

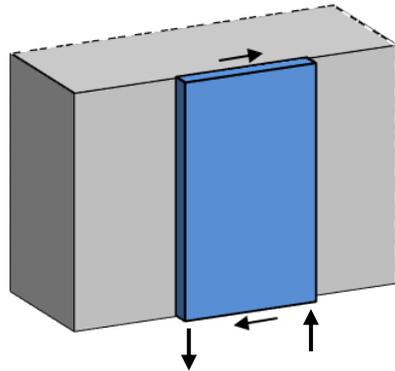
Pareti a taglio \perp :

- Piena
- Reticolare



Pareti a taglio $//$:

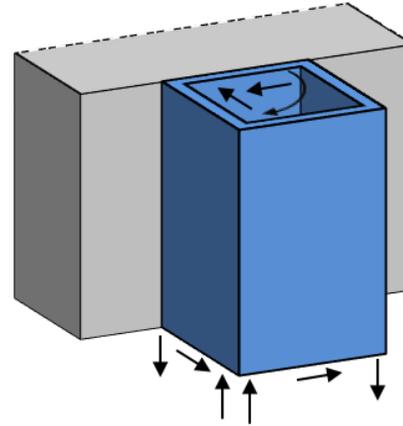
- Piena
- Reticolare



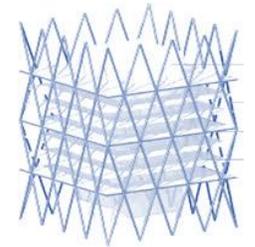
Esoscheletri 3D

Nuclei

- A parete piena
- Reticolari (simplex come la griglia diagrid o griglie multistrato)

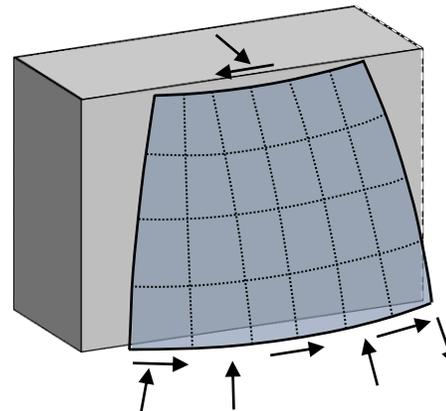


Diagrid

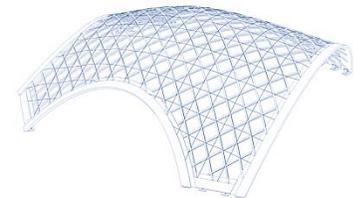


Shells

- Guscio continuo
- Guscio reticolare (simplex come il gridshell o griglie multistrato)



Gridshell

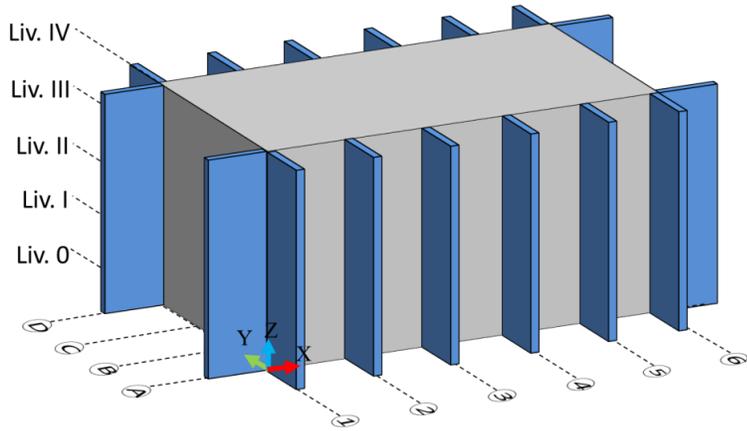


3. Esoscheletri: concezione strutturale

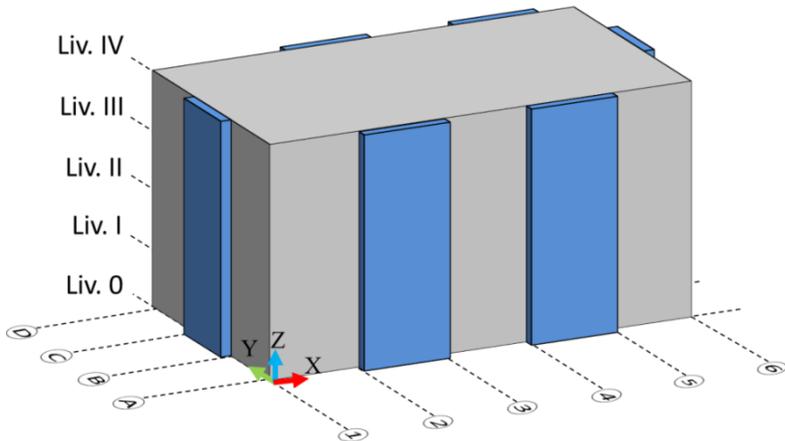
Selezione degli schemi antisismici (Step 2 - Livello I)

Esoscheletri 2D

Pareti a taglio \perp

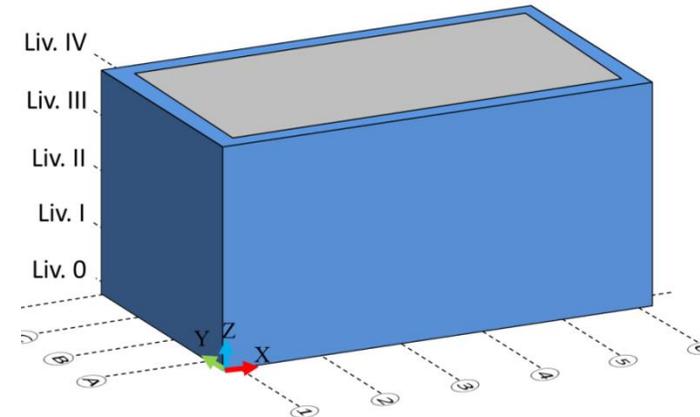


Pareti a taglio //

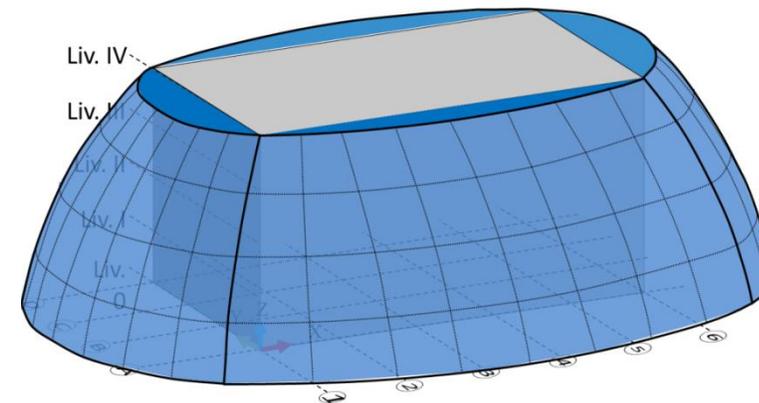


Esoscheletri 3D

Boxes



Shells

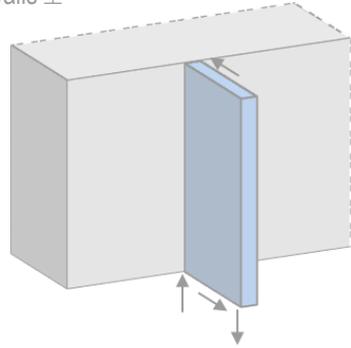


3. Esoscheletri: concezione strutturale

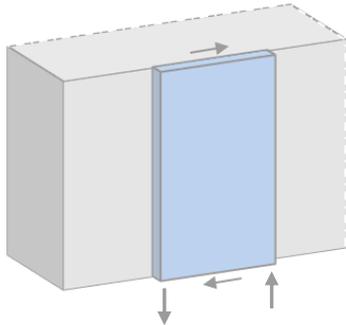
Selezione degli schemi antisismici (Step 2 - Livello I)

Level I:
Structural system and orientation
of shear walls

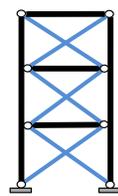
Shear walls \perp



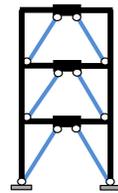
Shear walls \parallel



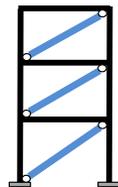
Level II:
Type of primary stresses



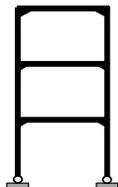
Concentrically Braced Frames
CBF



Eccentrically Braced Frames
EBF

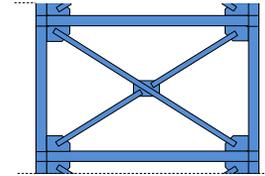


Buckling Resisting Frames
BRF

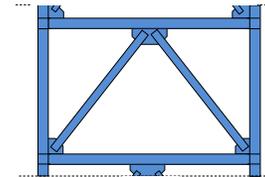


Moment Resisting Frames
MRF

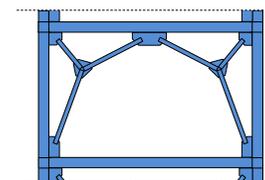
Level III:
Diagonals arrangement



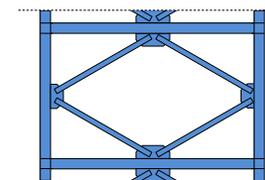
X-bracing
CBF_X



Chevron Braces
CBF_Δ



Gate or Portal
Braced
CBF_P



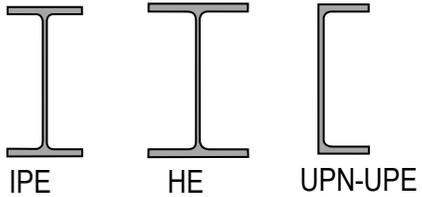
K-bracing
CBF_K

3. Esoscheletri: concezione strutturale

Selezione degli elementi e dei collegamenti (Step 2 - Livello II)

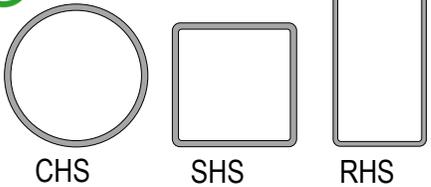
Sezioni aperte

Livello IV
Sezioni

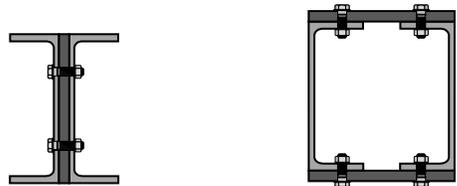


- Efficienza a compressione
- Estetica
- Sicurezza in caso di urti accidentali

Profili cavi



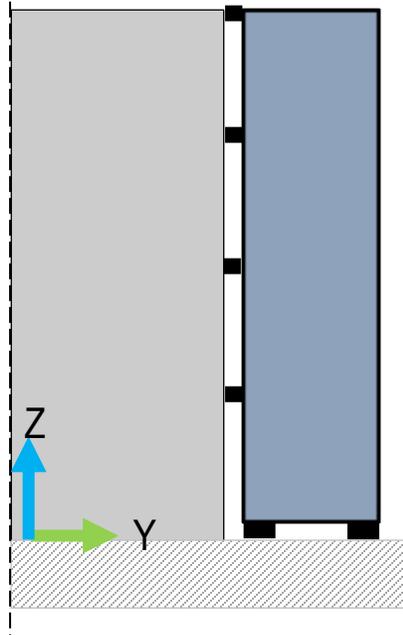
Sezioni composte



Accoppiati

Con cuciture

Livello V
Ancoraggi e dispositivi per trasferimento di azioni



Confrontando il comportamento dei collegamenti rigidi con quello dei dispositivi di dissipazione aggiuntiva è possibile vedere che in quest'ultimo caso una riduzione di taglio alla base e un aumento di spostamento (assoluto e relativo) non risultano spesso compatibili con le capacità duttili dell'edificio esistente.

Interventi di retrofit locale

Collegamento con l'edificio esistente:



RIGIDO
(ad es. Cerniera e Pin Connessioni)

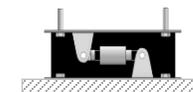


DISSIPAZIONE SUPPLEMENTARE
(ad es. dispositivi di smorzamento)

Collegamento con la sottostruttura esistente:



RIGIDO
(ad es. Cerniera e Pin Connessioni)



DISSIPAZIONE SUPPLEMENTARE
(ad es. dispositivi di smorzamento)

3. Esoscheletri: concezione strutturale

Fasi operative

Step 1

Scelta tecnologica

Selezione del materiale strutturale

Step 2

Scelta tipologica

Selezione degli elementi e degli schemi antisismici

Step 3

Scelta dimensionale

Dimensionamento di primo tentativo

Questa fase consiste nell'assegnare, dato il valore L , una **dimensione di primo tentativo** D al sistema a parete e ai componenti utilizzando fattori di forma globali (es. **Rapporto luce/altezza sistema** r_{DL}^{-1}) e locali (es. **Rapporto lunghezza/altezza componente**). Questa fase di dimensionamento preliminare si basa sulla teoria dei rapporti, dove i fattori di forma sono stati tratti da precedenti esperienze di altri progettisti (©Di Lorenzo & Landolfo).

3. Esoscheletri: concezione strutturale

Scelta dimensionale (Step 3)

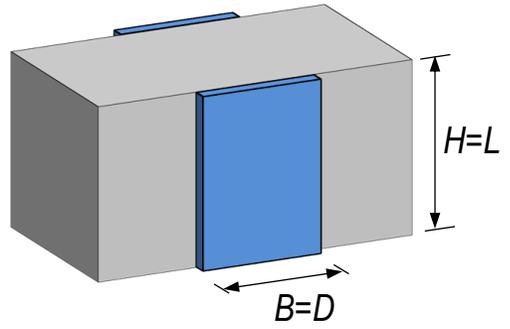
$$D = r_{DL} \cdot L$$

Fattore di forma r

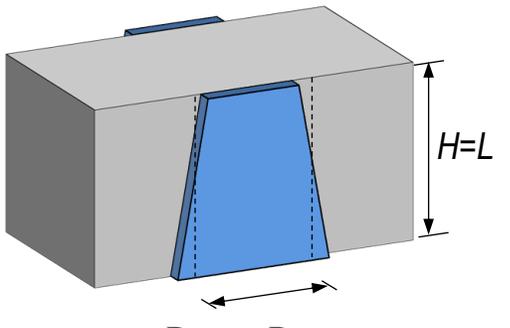
Globale $r_{Glob} = \frac{B}{H}$

Locale $r_{Loc} = \frac{h_i}{l_i}$

Esoscheletro 2D RETTANGOLARE

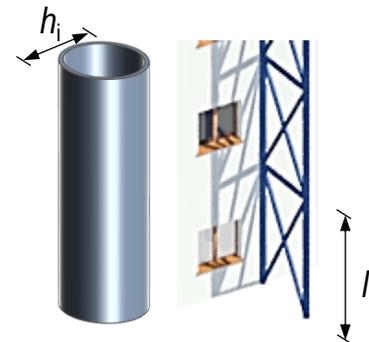


Esoscheletro 2D TRAPEZIO



$$B = \frac{B_{max} + B_{min}}{2} = D$$

Dimensionamento di primo tentativo



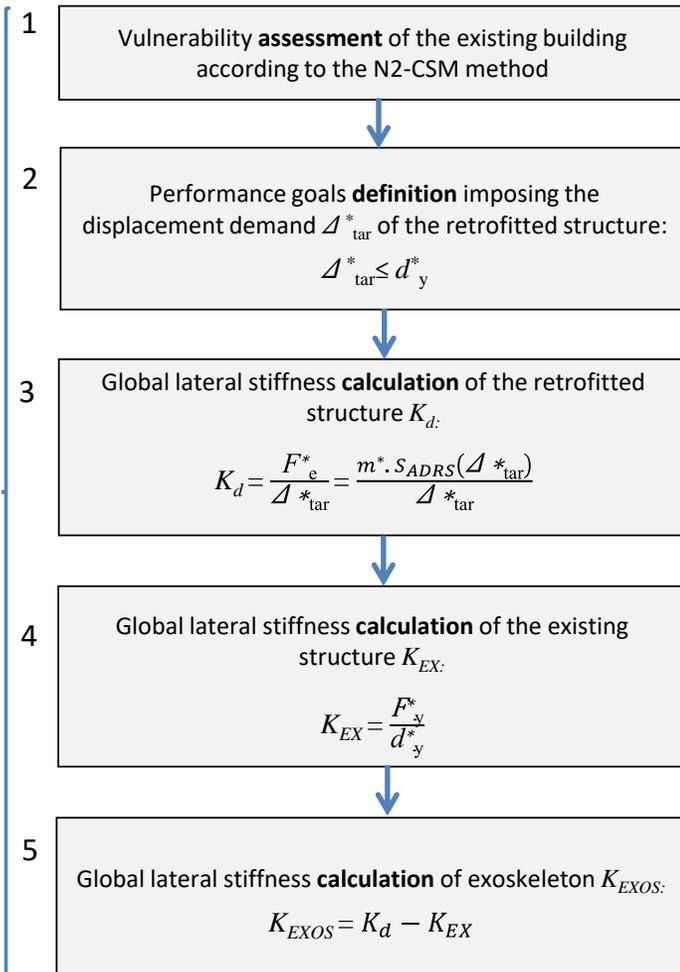
Step 3

Scelta dimensionale

Questa fase consiste nell'assegnare, dato il valore L, una **dimensione di primo tentativo** D al sistema a parete e ai componenti utilizzando fattori di forma globali (es. **Rapporto luce/altezza sistema** r_{DL}^{-1}) e locali (es. **Rapporto lunghezza/altezza componente**). Questa fase di dimensionamento preliminare si basa sulla teoria dei rapporti, dove i fattori di forma sono stati tratti da precedenti esperienze di altri progettisti (©Di Lorenzo & Landolfo).

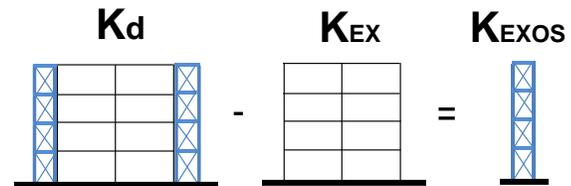
4. Metodologia di progetto

Proposed simplified design methodology



The Global lateral stiffness K_d of the retrofitted structure is calculated under the hypothesis of:

- Equivalent **mass** and equivalent **modal participation factor** of the structure before and after the retrofit;
- Equal **yielding displacement** of the bracing systems and the existing structure;

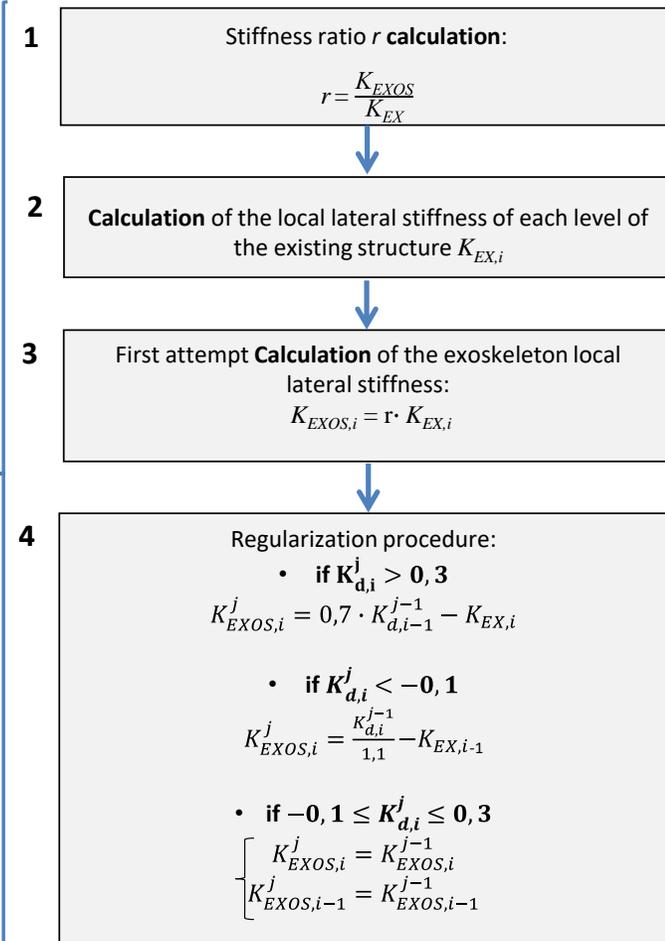


Riferimenti

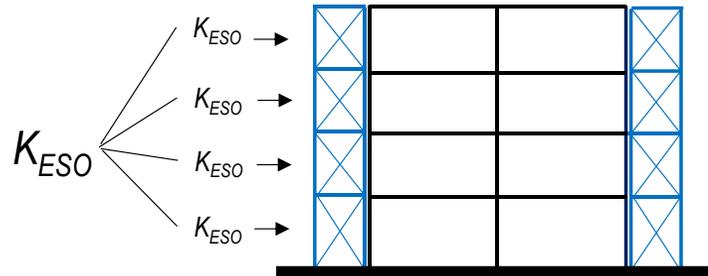
Faella, C., Martinelli, E, Nigro, E., 2004. Seismic assessment and retrofitting of R.C. existing buildings, Proc. of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, paper no 84

4. Metodologia di progetto

Regularization procedure



The global lateral stiffness of the exoskeleton obtained with the previous process is then distributed locally to each level:



This distribution of first attempt preserves the structural regularity properties of the existing construction. The regularization procedure is applied to:

- **modify** this initial distribution
- **correct** the structural irregularity of the existing building

Riferimenti

§ 7.2.1 NTC 2018

Ponzo, F.C., Di Cesare, A., Arleo, G., Totaro, P., 2010. Protezione sismica di edifici esistenti con controventi dissipativi di tipo isteretico: aspetti progettuali ed esecutivi, Progettazione sismica, 1-2010, Eucentre Press.

5. Il caso studio di un edificio in c.a.

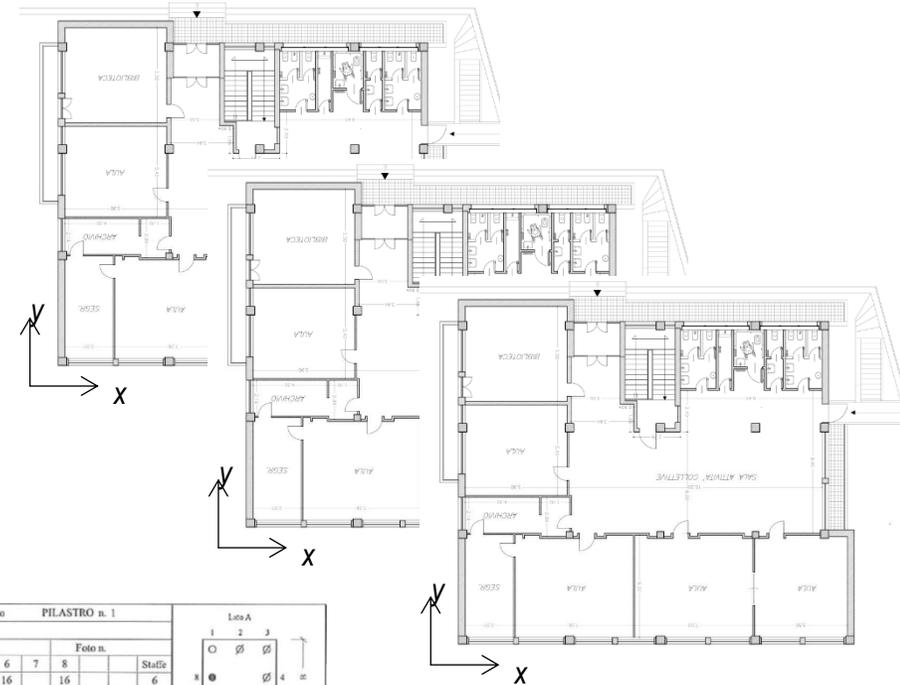
La scuola primaria «P. Santini»

Il caso studio si trova a Loro Piceno (MC) ed è rappresentato dalla scuola primaria «P. Santini», edificio tipico dell'abitato italiano degli anni '60 progettato per sopportare solo carichi verticali. Infatti, la località dove sorge la scuola fu etichettata come area sismica solo nei primi anni Ottanta.



Fonte: Google Street View

- Localizzazione: Loro Piceno, Macerata
- Anno di costruzione: Metà anni '60
- Materiale disponibile: Disegni e indagini



| CORPO: -- | PIANO: 2° Seminterrato | | | | | | | | PILASTRO n. 1 | | |
|-------------------------|-------------------------|---|---|---|----|----|---|----|---------------|---|--|
| Passo staffe dal piede: | 15-30-28-23-23-29-32-24 | | | | | | | | | | |
| H = 290 | Dim. A x B: 47x48 | | | | | | | | Foto n. | | |
| Ferro n.: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Staffe | | |
| Diam. Ø: | | | | | 16 | 16 | | 16 | | 6 | |
| Tipi: | | | | | L | L | | L | | L | |
| Conservazione: | | | | | B | B | | B | | B | |
| Intensità: | | | | | 15 | 15 | | 10 | | | |
| CF: | | | | | 30 | 29 | | 24 | | | |

Livello di conoscenza 2 (LC2)

5. Il caso studio di un edificio in c.a.

Il sistema strutturale

L'edificio è caratterizzato da una pianta rettangolare con un piano sfalsato sul lato est e si sviluppa su tre livelli.



La struttura è costituita da telai resistenti a momento in c.a. (MRF) con solai misti in cemento armato e laterizi.

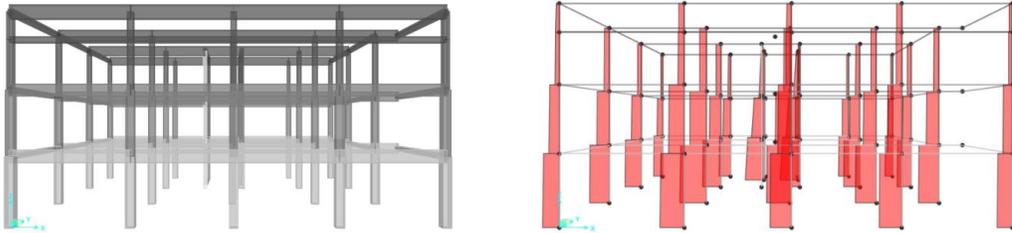
È anche caratterizzato da:

- — Telai MRF paralleli disposti lungo la direzione est-ovest
- — Telai MRF trasversali collocati alle estremità dell'edificio.

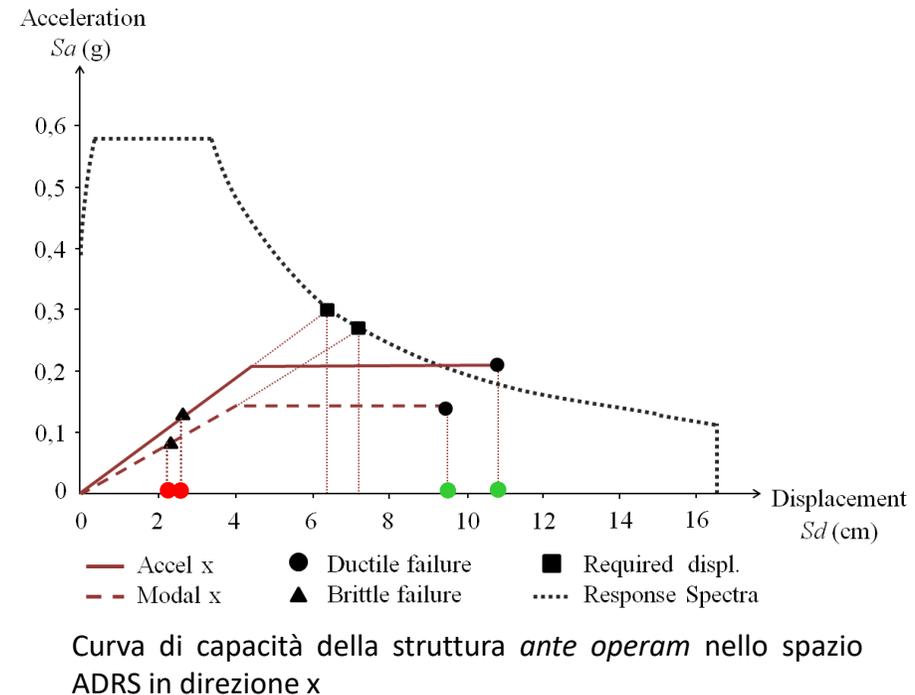
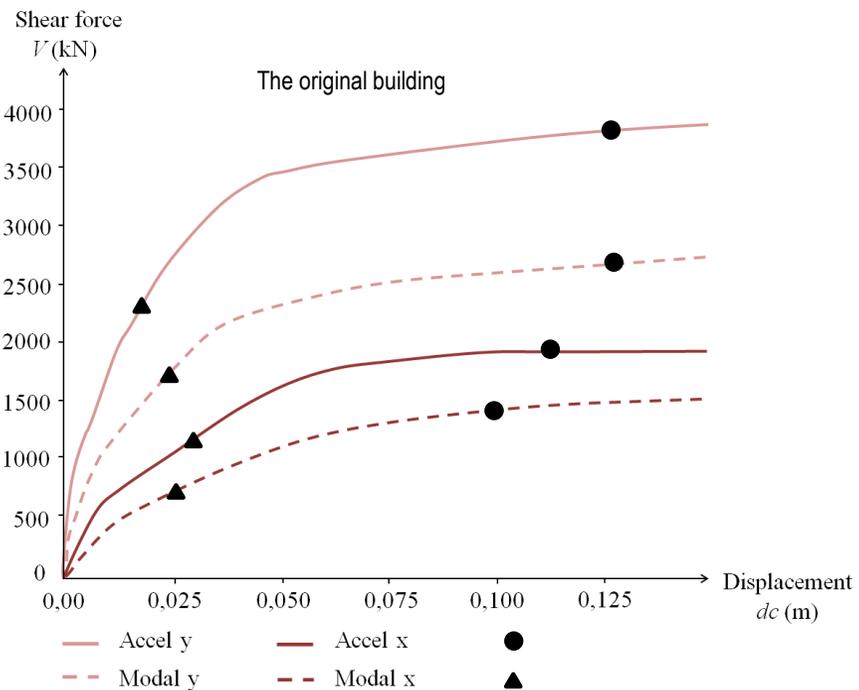
La scala si trova in posizione eccentrica. Le pareti in c.a. che ospitano le scale sono disposte perpendicolarmente alle strutture principali. Questa configurazione garantisce una buona distribuzione della rigidezza nelle direzioni principali.

5. Il caso studio di un edificio in c.a.

Valutazione sismica

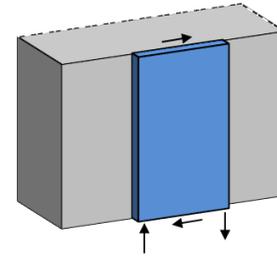
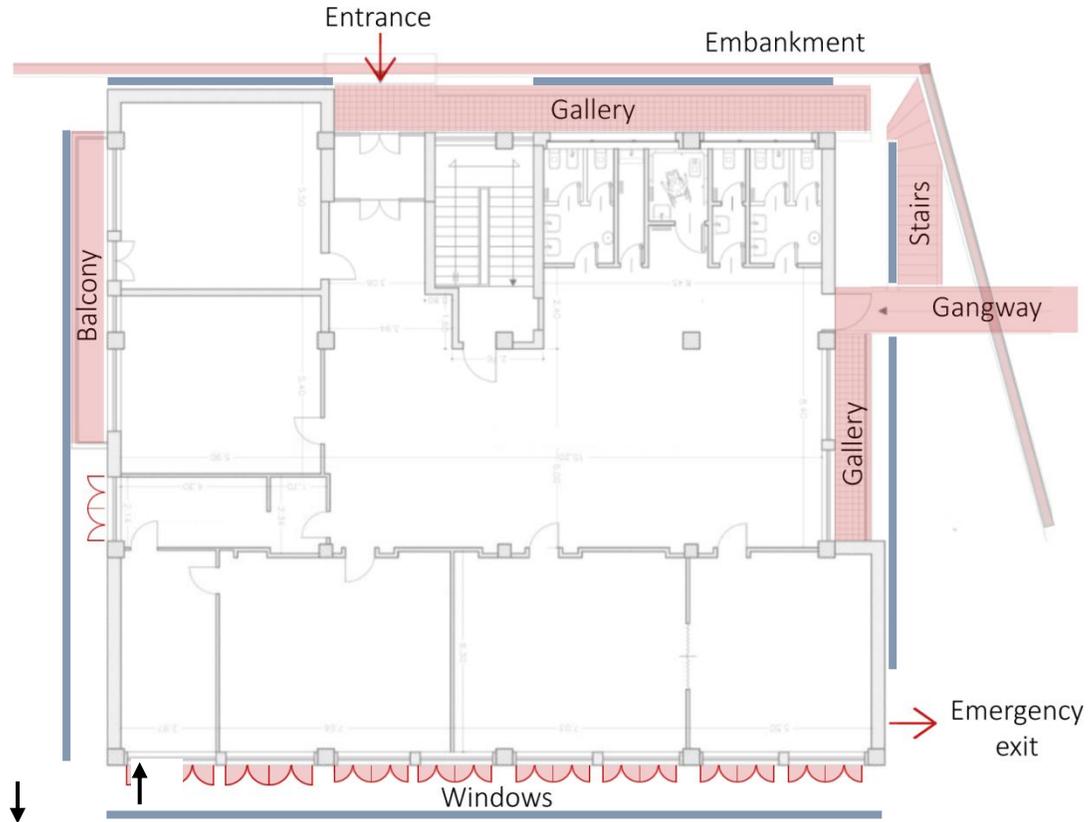


- Classe d'uso: III (§2.4.2)
- Classe topografica: T1 (§3.2.2)
- Categoria di sottosuolo: B (§3.2.2)
- Periodo di riferimento: 75 anni (§2.4.3)

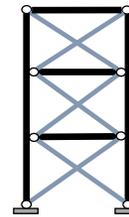


5. Il caso studio di un edificio in c.a.

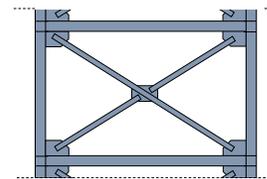
Progetto dell'intervento di retrofit



Livello I
2//



Livello II
Telai con controventi concentrici
CBF

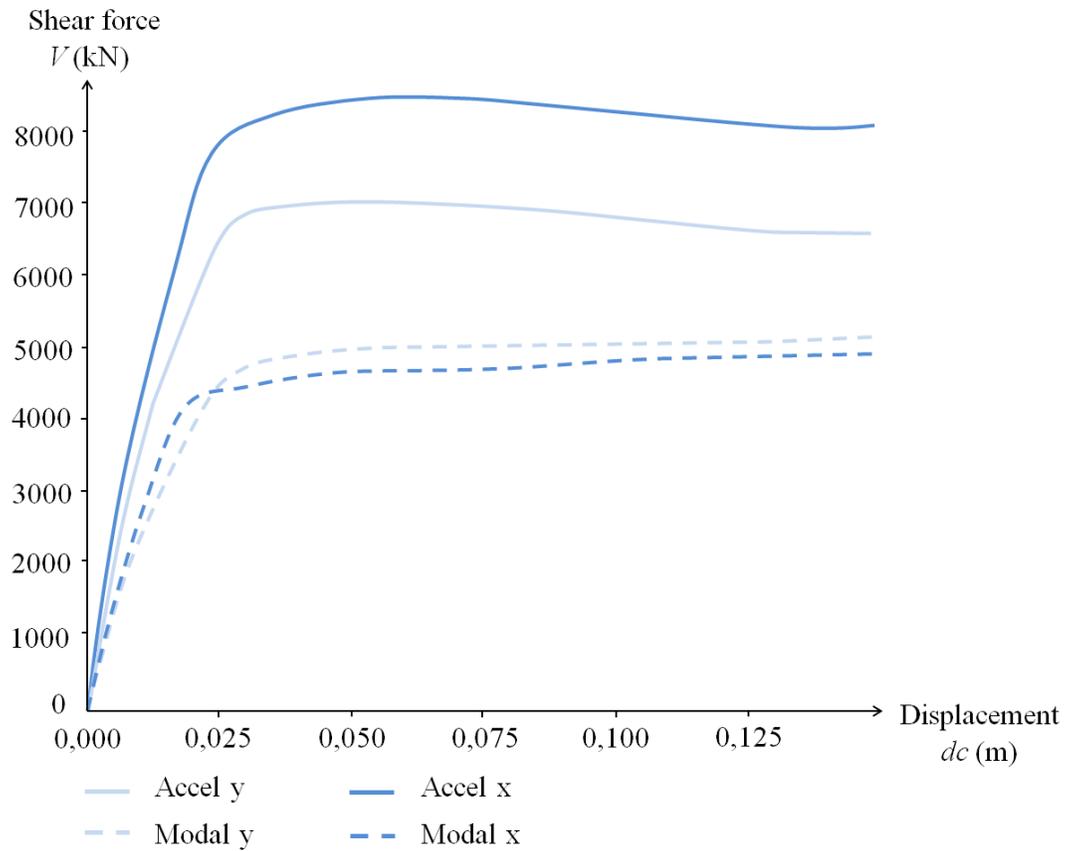


Livello III
Controvento ad X
CBF_X

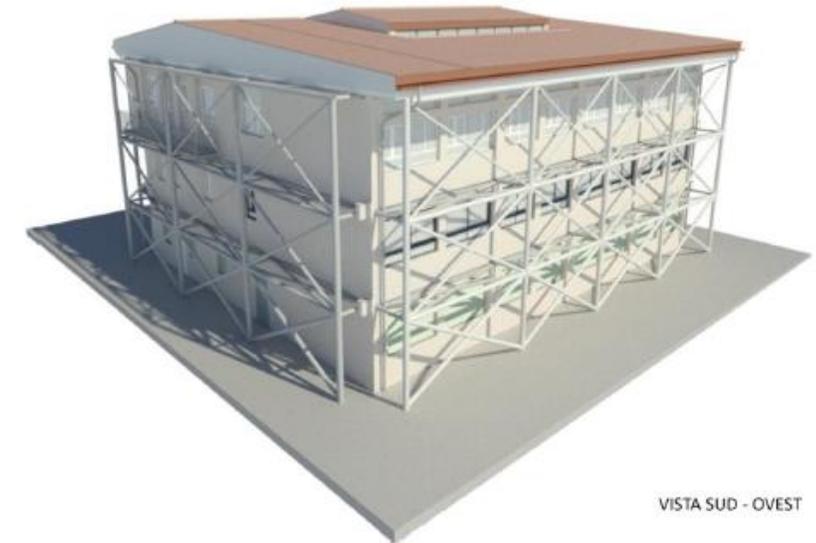
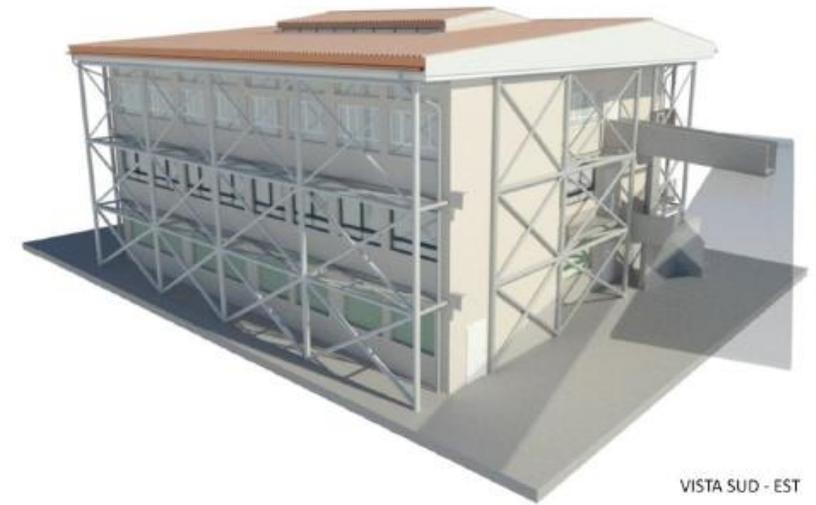


Livello IV
Sezione cava
CHS

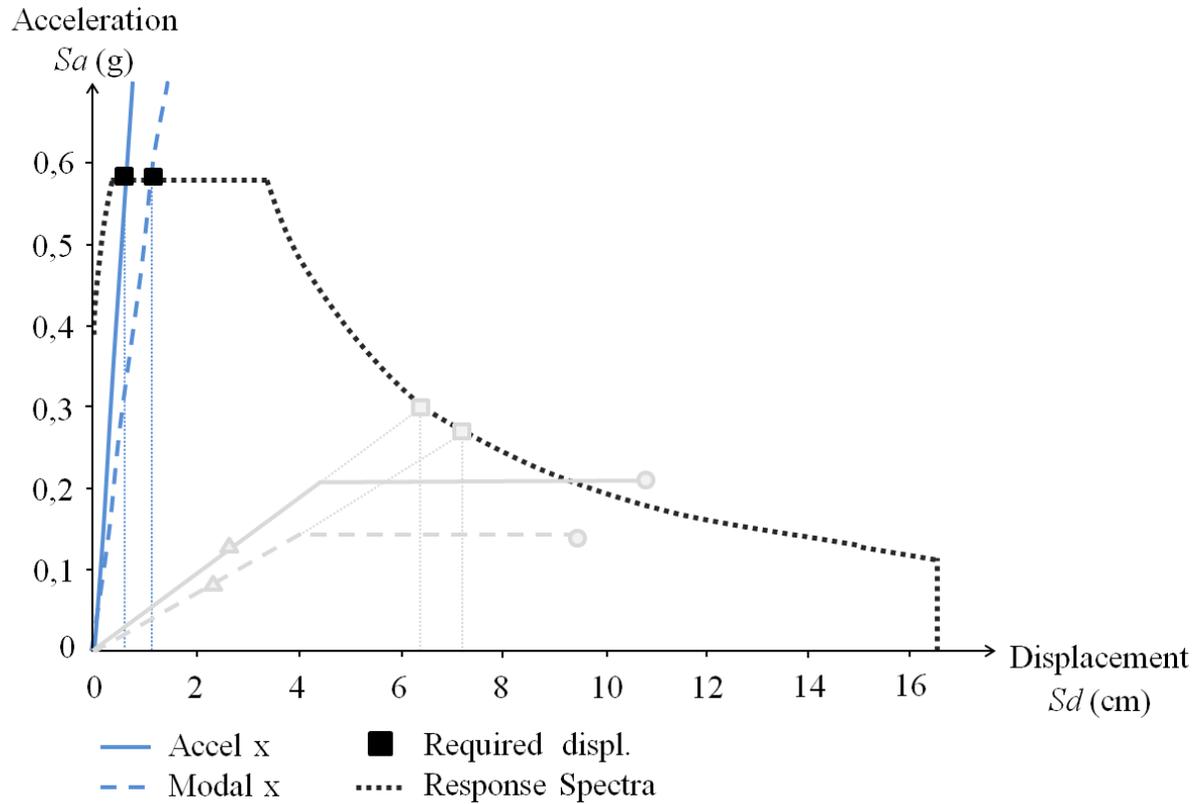
5. Il caso studio di un edificio in c.a.



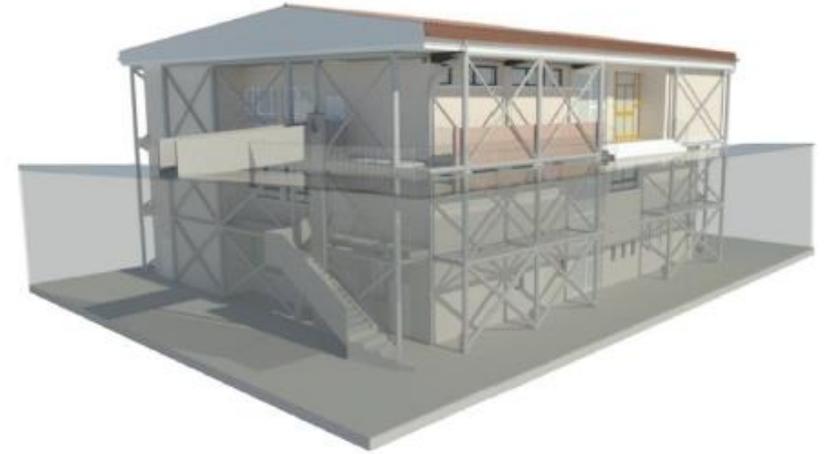
Curva di capacità post operam – Sistema MDOF



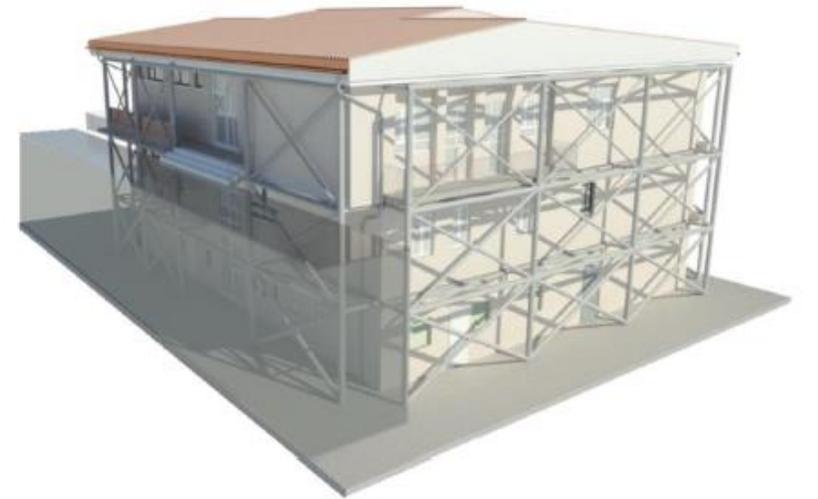
5. Il caso studio di un edificio in c.a.



Curva di capacità della struttura *post operam* nello spazio ADRS in direzione x



VISTA NORD - EST



VISTA NORD - OVEST

5. Il caso studio di un edificio in c.a.

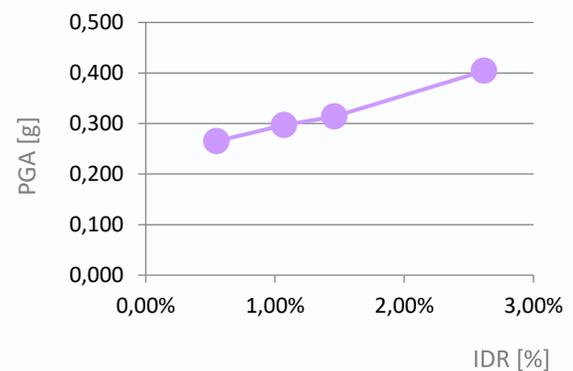
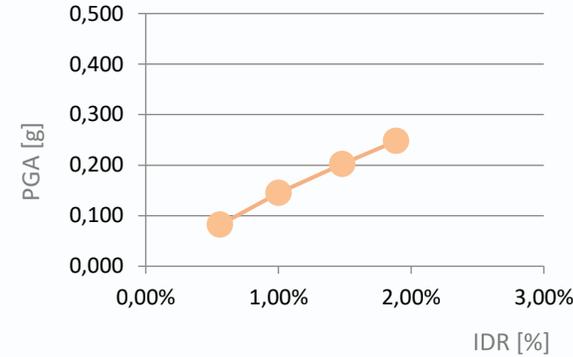
Valutazione sismica

ANTE-OPERAM

| Limit state | | IDR | PGA | TR | R50 | Loss |
|-------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| | | % | g | years | % | € |
| 1 | Low | 0,50% | 0,082 | 72 | 50,2% | 34542,00 |
| 2 | Heavy | 1,00% | 0,145 | 308 | 15,0% | 135912,00 |
| 3 | Severe | 1,48% | 0,202 | 713 | 6,8% | 170412,00 |
| 4 | NC | 1,89% | 0,248 | 1304 | 3,8% | 1578526,00 |
| | | | | | | 1919392,00 |

POST- OPERAM

| Limit state | | IDR | PGA | TR | R50 | Loss |
|-------------|--------|-------|-------|-------|------|------------------|
| | | % | g | years | % | € |
| 1 | Low | 0,50% | 0,265 | 1593 | 3,1% | 34542,00 |
| 2 | Heavy | 1,00% | 0,297 | 2249 | 2,2% | 135912,00 |
| 3 | Severe | 1,46% | 0,314 | 2598 | 1,9% | 170412,00 |
| 4 | NC | 2,62% | 0,404 | 4442 | 1,1% | 191907,00 |
| | | | | | | 532773,00 |



I risultati finali del processo di assessment sismico vengono presentati in termini economici valutando tutti i costi associati all'intervento, nonché le perdite previste che possono verificarsi nell'edificio durante la sua vita per tutti gli obiettivi di progetto.

5. Il caso studio di un edificio in c.a.

Valutazione sismica

ANTE-OPERAM

| Limit state | | IDR | PGA | TR | R50 | Loss |
|-------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| | | % | g | years | % | € |
| 1 | Low | 0,50% | 0,082 | 72 | 50,2% | 34542,00 |
| 2 | Heavy | 1,00% | 0,145 | 308 | 15,0% | 135912,00 |
| 3 | Severe | 1,48% | 0,202 | 713 | 6,8% | 170412,00 |
| 4 | NC | 1,89% | 0,248 | 1304 | 3,8% | 1578526,00 |
| | | | | | | 1919392,00 |



POST-OPERAM

| Limit state | | IDR | PGA | TR | R50 | Loss |
|-------------|--------|-------|-------|-------|------|------------------|
| | | % | g | years | % | € |
| 1 | Low | 0,50% | 0,265 | 1593 | 3,1% | 34542,00 |
| 2 | Heavy | 1,00% | 0,297 | 2249 | 2,2% | 135912,00 |
| 3 | Severe | 1,46% | 0,314 | 2598 | 1,9% | 170412,00 |
| 4 | NC | 2,62% | 0,404 | 4442 | 1,1% | 191907,00 |
| | | | | | | 532773,00 |

I risultati finali del processo di assessment sismico vengono presentati in termini economici valutando tutti i costi associati all'intervento, nonché le perdite previste che possono verificarsi nell'edificio durante la sua vita per tutti gli obiettivi di progetto.

5. Il caso studio di un edificio in c.a.

Valutazione sismica

Si basa sulla valutazione delle prestazioni strutturali ed è correlata alla valutazione delle perdite attese.

Definizione degli stati limite: gli stati limite sono definiti in termini di danno e viene calcolato il relativo costo previsto per ciascuno stato limite. Il parametro che misura il danno strutturale è l'IDR. I valori di IDR sono calcolati per ogni livello di danno utilizzando le curve di fragilità.

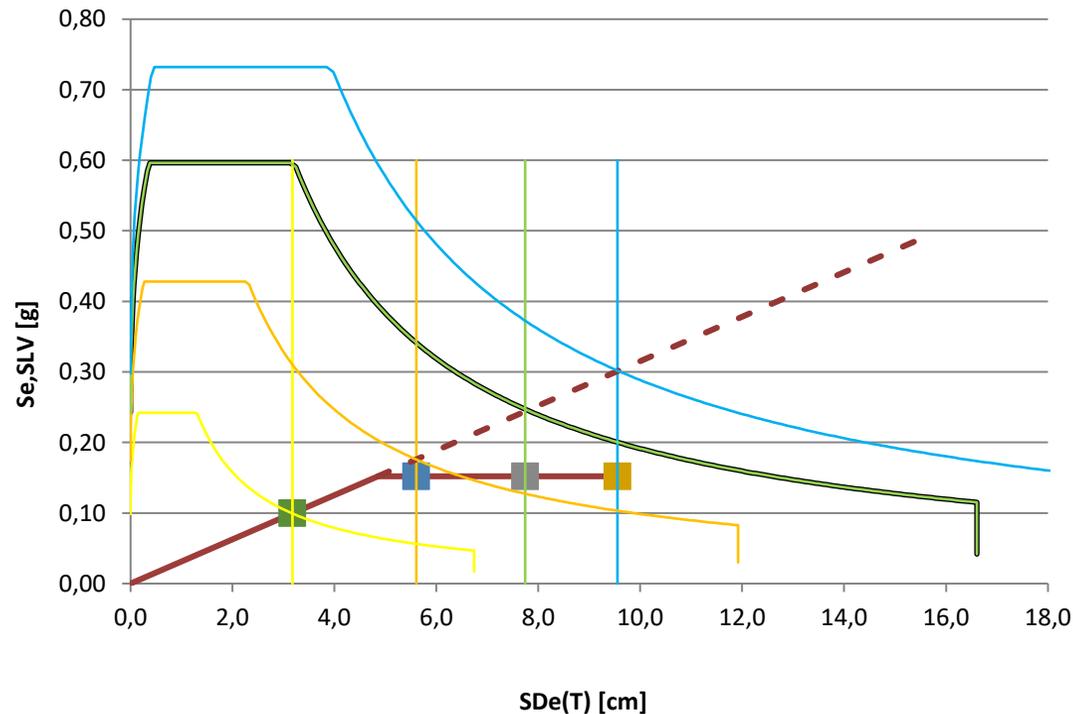
| Stato Limite | | Descrizione danno | IDR |
|--------------|--------|--|---|
| 1 | Low | Danno agli elementi non strutturali: muri esterni paralleli alla direzione sismica e finestre nel piano con IDR maggiore | 0,50% |
| 2 | Heavy | Danno a tutti gli elementi non strutturali: tutti i muri esterni e tutte le finestre | 1% |
| 3 | Severe | Danno a tutti gli elementi non strutturali e alle travi del primo piano parallele alla direzione sismica | Azione sismica di riferimento con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (1,48%) |
| 4 | NC | Danno a tutti gli elementi strutturali e non strutturali | Pieno sfruttamento della capacità di deformazione degli elementi strutturali (1,89%) |

5. Il caso studio di un edificio in c.a.

Valutazione sismica

Analisi strutturale: si calcolano le accelerazioni che determinano l'attingimento dei valori di IDR definiti nel passaggio precedente. Questo step si realizza attraverso un'analisi pushover standard.

| Limit state | IDR | Sd | ag [g] |
|-------------|-------|-------|--------|
| Low | 0,50% | 0,032 | 0,082 |
| Heavy | 1,00% | 0,056 | 0,145 |
| Severe | 1,48% | 0,077 | 0,202 |
| NC | 1,89% | 0,096 | 0,248 |



5. Il caso studio di un edificio in c.a.

Valutazione sismica

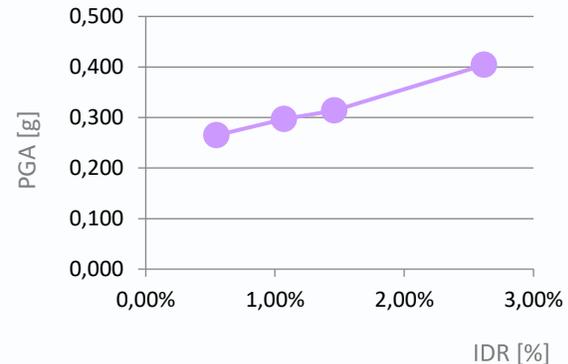
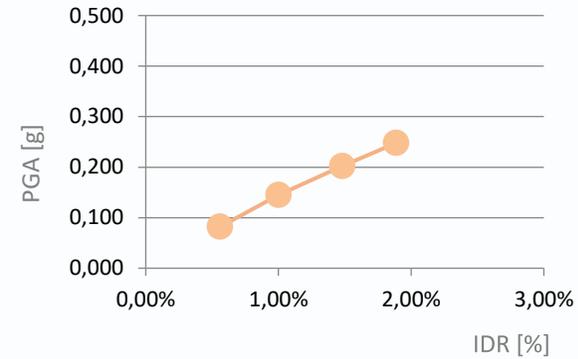
ANTE-OPERAM

| Limit state | | IDR | PGA | TR | R50 | Loss |
|-------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| | | % | g | years | % | € |
| 1 | Low | 0,50% | 0,082 | 72 | 50,2% | 34542,00 |
| 2 | Heavy | 1,00% | 0,145 | 308 | 15,0% | 135912,00 |
| 3 | Severe | 1,48% | 0,202 | 713 | 6,8% | 170412,00 |
| 4 | NC | 1,89% | 0,248 | 1304 | 3,8% | 1578526,00 |
| | | | | | | 1919392,00 |



POST- OPERAM

| Limit state | | IDR | PGA | TR | R50 | Loss |
|-------------|--------|-------|-------|-------|------|------------------|
| | | % | g | years | % | € |
| 1 | Low | 0,50% | 0,265 | 1593 | 3,1% | 34542,00 |
| 2 | Heavy | 1,00% | 0,297 | 2249 | 2,2% | 135912,00 |
| 3 | Severe | 1,46% | 0,314 | 2598 | 1,9% | 170412,00 |
| 4 | NC | 2,62% | 0,404 | 4442 | 1,1% | 191907,00 |
| | | | | | | 532773,00 |



I risultati finali del processo di assessment sismico vengono presentati in termini economici valutando tutti i costi associati all'intervento, nonché le perdite previste che possono verificarsi nell'edificio durante la sua vita per tutti gli obiettivi di progetto.

5. Il caso studio di un edificio in c.a.

Valutazione sismica

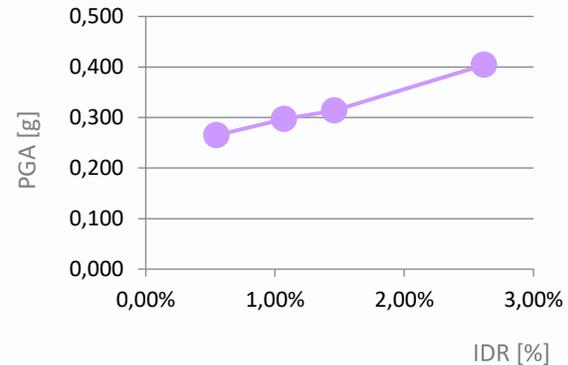
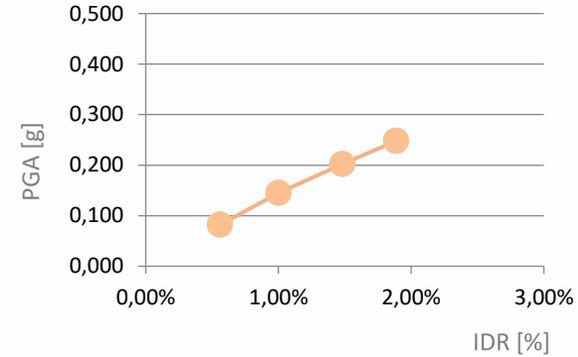
ANTE-OPERAM

| Limit state | | IDR | PGA | TR | R50 | Loss |
|-------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| | | % | g | years | % | € |
| 1 | Low | 0,50% | 0,082 | 72 | 50,2% | 34542,00 |
| 2 | Heavy | 1,00% | 0,145 | 308 | 15,0% | 135912,00 |
| 3 | Severe | 1,48% | 0,202 | 713 | 6,8% | 170412,00 |
| 4 | NC | 1,89% | 0,248 | 1304 | 3,8% | 1578526,00 |
| | | | | | | 1919392,00 |



POST- OPERAM

| Limit state | | IDR | PGA | TR | R50 | Loss |
|-------------|--------|-------|-------|-------|------|------------------|
| | | % | g | years | % | € |
| 1 | Low | 0,50% | 0,265 | 1593 | 3,1% | 34542,00 |
| 2 | Heavy | 1,00% | 0,297 | 2249 | 2,2% | 135912,00 |
| 3 | Severe | 1,46% | 0,314 | 2598 | 1,9% | 170412,00 |
| 4 | NC | 2,62% | 0,404 | 4442 | 1,1% | 191907,00 |
| | | | | | | 532773,00 |



I risultati finali del processo di assessment sismico vengono presentati in termini economici valutando tutti i costi associati all'intervento, nonché le perdite previste che possono verificarsi nell'edificio durante la sua vita per tutti gli obiettivi di progetto.

5. Il caso studio di un edificio in c.a.

Valutazione sismica

Analisi dei rischi: l'output del passaggio precedente viene utilizzato per stimare la probabilità di superamento: i codici sismici moderni forniscono la relazione tra i periodi di ritorno TR e le PGA. Di conseguenza, è possibile definire la probabilità di superamento Rn.

$$\log(a_g) = \log(a_{g1}) + \log\left(\frac{a_{g2}}{a_{g1}}\right) \cdot \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \cdot \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

PGA per uno stato limite determinato Valori intermedi di PGA Periodi di ritorno per le relative a_{gi}

$$R_n = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^n$$

5. Il caso studio di un edificio in c.a.

Valutazione sismica

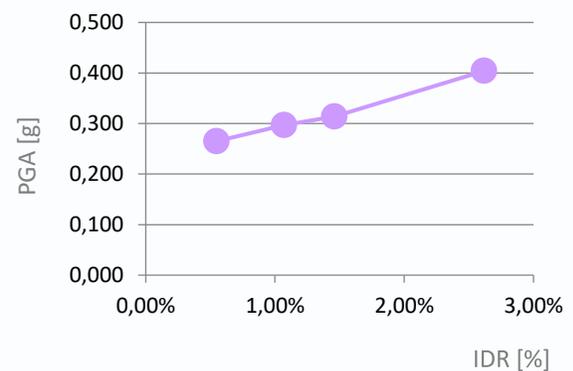
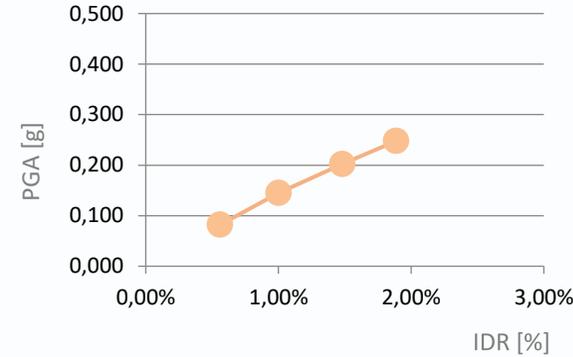
ANTE-OPERAM

| Limit state | | IDR | PGA | TR | R50 | Loss |
|-------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| | | % | g | years | % | € |
| 1 | Low | 0,50% | 0,082 | 72 | 50,2% | 34542,00 |
| 2 | Heavy | 1,00% | 0,145 | 308 | 15,0% | 135912,00 |
| 3 | Severe | 1,48% | 0,202 | 713 | 6,8% | 170412,00 |
| 4 | NC | 1,89% | 0,248 | 1304 | 3,8% | 1578526,00 |
| | | | | | | 1919392,00 |



POST- OPERAM

| Limit state | | IDR | PGA | TR | R50 | Loss |
|-------------|--------|-------|-------|-------|------|------------------|
| | | % | g | years | % | € |
| 1 | Low | 0,50% | 0,265 | 1593 | 3,1% | 34542,00 |
| 2 | Heavy | 1,00% | 0,297 | 2249 | 2,2% | 135912,00 |
| 3 | Severe | 1,46% | 0,314 | 2598 | 1,9% | 170412,00 |
| 4 | NC | 2,62% | 0,404 | 4442 | 1,1% | 191907,00 |
| | | | | | | 532773,00 |



I risultati finali del processo di assessment sismico vengono presentati in termini economici valutando tutti i costi associati all'intervento, nonché le perdite previste che possono verificarsi sull'edificio durante la sua vita per tutti gli obiettivi di progetto.

5. Il caso studio di un edificio in c.a.

Valutazione sismica

Analisi dei costi: per ogni stato viene calcolato il costo per riparare i danni precedentemente definiti per ogni stato limite.

| Stato Limite | | Perdite attese |
|--------------|--------|--|
| 1 | Low | Costo della demolizione e ricostruzione dei muri esterni paralleli alla direzione sismica e sostituzione delle finestre in corrispondenza del piano con IDR maggiore |
| 2 | Heavy | Costo della demolizione e ricostruzione di tutti i muri e sostituzione di tutte le finestre |
| 3 | Severe | Costo dello step precedente e del retrofit delle travi danneggiate |
| 4 | NC | Costo della totale demolizione e ricostruzione/Costo del retrofit integrale |

5. Il caso studio di un edificio in c.a.

Valutazione energetica

La conversione in termini di costo è effettuata utilizzando prezzi unitari di:

- 0,174 €/kWh *elettricità*
- 0,035 €/m³ *gas*

ANTE-OPERAM

$$0,174 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \times 3.230.095,2 \text{ kWh} = 562.036,56 \text{ €} \quad + \quad 0,035 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \times 779.923,22 \text{ m}^3 = 27.297,31 \text{ €} = 589.333,87 \text{ €}$$

POST-OPERAM

$$0,174 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \times 2.951.545,6 \text{ kWh} = 513.568,93 \text{ €} \quad + \quad 0,035 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \times 379.814,66 \text{ m}^3 = 13.293,51 \text{ €} = 526.862,45 \text{ €}$$

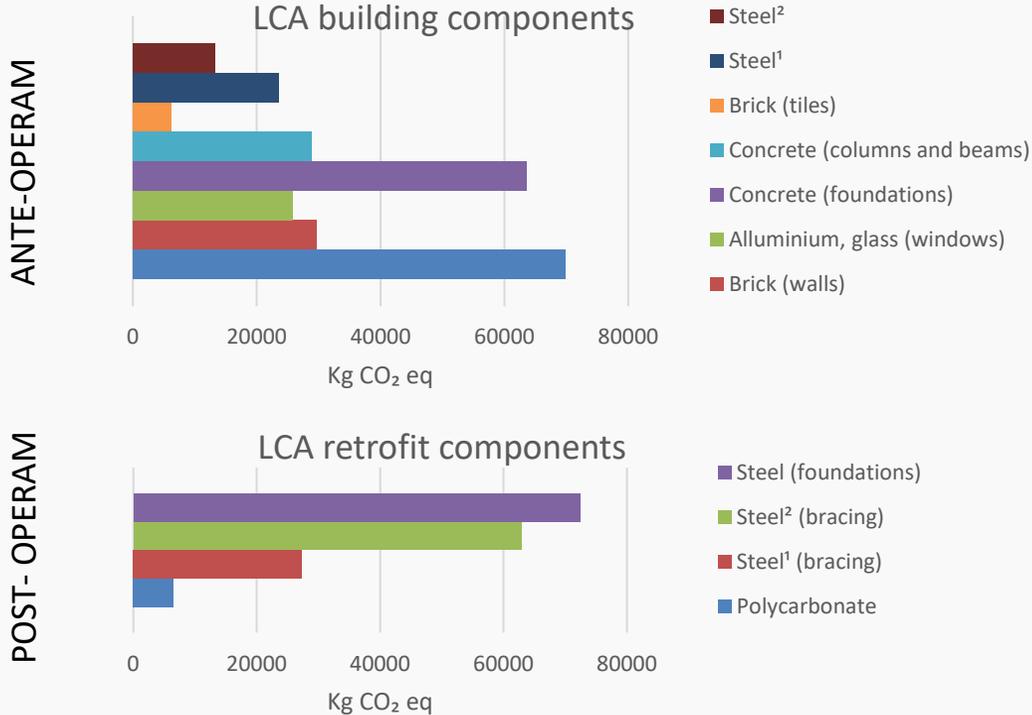
E' stato usato il software DesignBuilder che esegue un'analisi dinamica per ottenere i consumi annui richiesti in Kwh/m².

I consumi di luce in kWh si ottengono moltiplicando il consume annuo in KWh/m² per i m² dell'edificio e per gli anni del ciclo di vita dello stesso (50 anni) .

5. Il caso studio di un edificio in c.a.

Life Cycle Assessment (LCA)

L'ultima fase di analisi riguarda la valutazione del ciclo di vita. È ottenuta computando le emissioni in termini di impronta di carbonio di tutti i componenti dell'edificio durante il loro intero ciclo di vita, dall'estrazione allo smaltimento. L'impatto economico in termini di CO₂ si ottiene utilizzando il software SimaPro, che converte il peso dei componenti in kg di emissioni di CO₂.



5. Il caso studio di un edificio in c.a.

Valutazione globale

| | ANTE-OPERAM | | POST-OPERAM | | Δ |
|---------------------------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|-------------|
| Step I – Valutazione energetica | 589.333,87 | 23,43% | 526.862,44 | 49,22% | -11% |
| Step II - Life Cycle Assessment | 6.556,10 | 0,26% | 10.808,21 | 1,01% | +65% |
| Step III – Analisi sismica | 1.919.392,00 | 76,31% | 532.773,00 | 49,77% | -72% |
| Valutazione globale | 2.515.281,97 | 100% | 1.070.443,65 | 100% | -57% |

Diminuzione delle perdite totali dopo il retrofit: ~57%

6. Il caso studio di un edificio in muratura

Esoscheletri integrati leggeri (Cappotti sismici)

Cosa sono

Rappresentano una **soluzione innovativa, leggera e poco invasiva** per la riqualificazione sismo – energetica del patrimonio edilizio esistente.

Applicati **esternamente** alla struttura, permettono con un **singolo intervento** di migliorare sia le **performance sismiche** che quelle **energetiche** del fabbricato con rapidità in fase di montaggio, riducendo tempi e costi di cantiere.

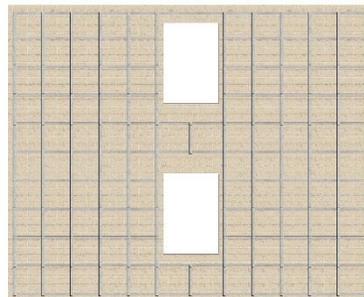
Come sono realizzati

Telaio di base con elementi metallici **cold formed o estrusi** (realizzati in acciaio o in lega di alluminio) costituito da profili verticali e orizzontali disposti ad interasse variabile e connessi alla struttura di base (murature o telai in c.a.). Gli spazi che si creano tra i profili vengono poi riempiti con **pannelli termo - isolanti**.

Schema d'applicazione

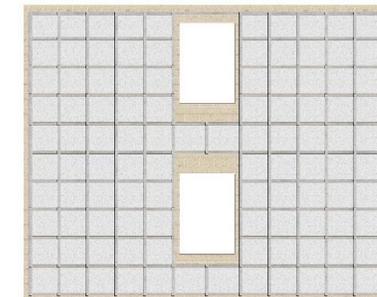
Fase 1

Posizionamento dei profili verticali ed orizzontali che formano il telaio di base ad interassi prefissati.



Fase 2

Ottenuto il telaio di base, negli spazi vuoti ottenuti dal posizionamento dei profili si posizionano i pannelli termoisolanti.



Fase 3

Completamento del sistema con finitura esterna.

6. Il caso studio di un edificio in muratura

Esoscheletri integrati leggeri (Cappotti sismici)

Normativa di riferimento

Nel caso di **profili in acciaio**, si fa riferimento all'**Eurocodice 3** – «*Progettazione delle strutture in acciaio*».

Nel caso di **profili in lega di alluminio**, si fa riferimento all'**Eurocodice 9** - «*Progettazione delle strutture in alluminio*»

Per il sistema in lega di alluminio l'Eurocodice 9, unitamente alle Istruzioni CNR-DT 208/2011, contiene le indicazioni per il dimensionamento e la verifica dei profili estrusi.

Modalità di impiego

Intervento Locale - §8.4.2 delle NTC2018

Gli interventi di questo tipo riguardano singole parti e/o elementi della struttura. Essi non debbono cambiare significativamente il comportamento globale della costruzione.



Il sistema serve a contrastare i meccanismi locali di collasso, come il ribaltamento delle pareti e si configura come elemento di rinforzo nel piano degli elementi strutturali in muratura e c.a. Il cappotto non è collegato in fondazione.

Intervento Globale - §8.4.3 delle NTC2018

In questo caso, l'intervento è esteso alla struttura nel suo insieme.

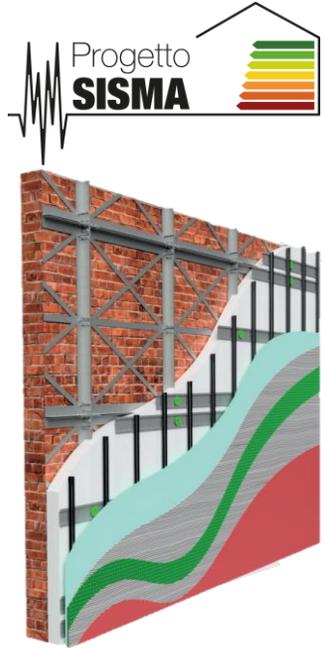
A seguito degli interventi di miglioramento, il **coefficiente ζ_E** deve essere incrementato di un valore comunque non minore di 0,1.



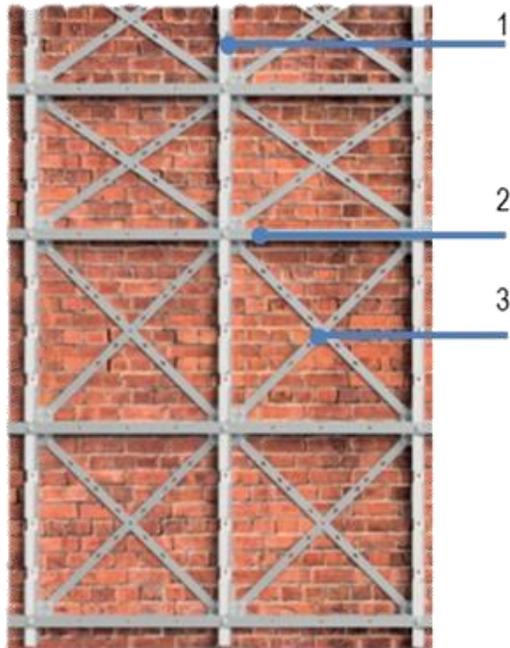
Il sistema è collegato in fondazione e permette di ottenere un miglioramento/adeguamento sismico della struttura.

6. Il caso studio di un edificio in muratura

Il cappotto sismico Resisto 5.9



Componenti del sistema



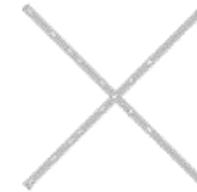
1 - 2 Montanti e traversi



Profili ad U
Dim: 80x60x3 mm

Profili

3 Diagonali di controvento con configurazione a Croce di Sant'Andrea



Piatti con fori asolati
Dim: 50x3 mm

Connessioni

Profili e diagonali
Piatti in acciaio



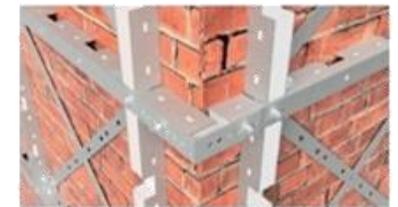
Con la muratura



Tra due profili
Profili a C di collegamento



D'angolo
Profili a C con forma ad L



Accessori di fissaggio

Bulloni e viti autofilettanti



Ancoranti chimici



Bulloni



Bulloni



6. Il caso studio di un edificio in muratura

Localizzazione del sito



Emilia-Romagna



Provincia di Bologna



Comune di Casalecchio di Reno



Vista dall'alto del sito, Google Earth 2021



Vista 3D della struttura, Google Earth 2021

L'area

Il 20 e 29 Maggio 2012, l'Emilia Romagna, in particolare l'area compresa tra Modena, Bologna e Ferrara, è stata colpita da un **violento terremoto** con una **magnitudo di 5.9**.

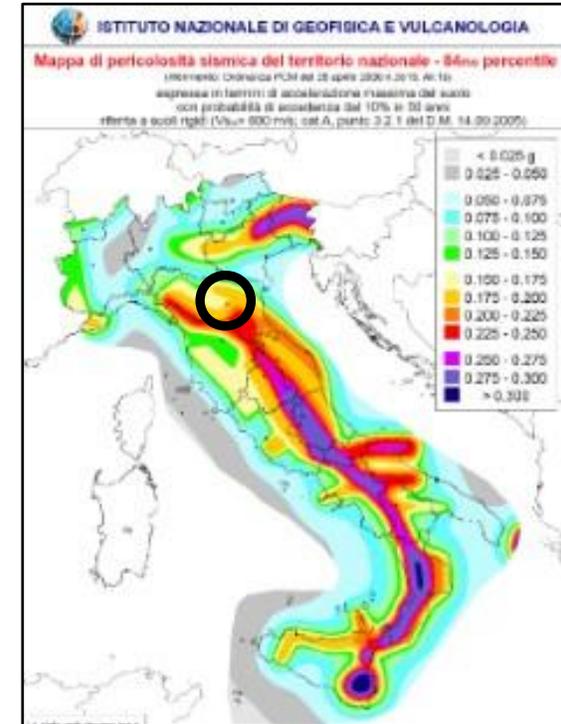


Numerosi i danni sulle strutture e molte anche le perdite in termini di vite umane.



Il patrimonio edilizio esistente necessita di operazioni di retrofit in modo da evitare il ripetersi di eventi simili.

Rischio sismico



Mapa di pericolosità sismica, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 2006

6. Il caso studio di un edificio in muratura

La struttura

Destinazione d'uso

Edificio residenziale diviso in 6 unità
Presenta 3 livelli fuori terra e un piano seminterrato.

Dimensioni

17,1x10,4 m

Periodo di costruzione

Anni '50

Fondazioni

Fondazioni continua, posizionate a -1,35 m, con dimensione 50x60 cm

Strutture in elevazione

Muratura portante in mattoni pieni e malta. Spessore di circa 30 cm.

Strutture orizzontali

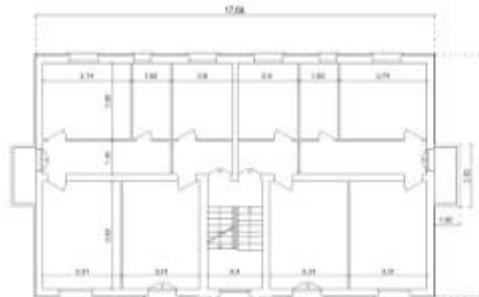
Solai tipo SAP aventi laterizi e travetti in c.a.

Copertura

Travi in legno e manto di tegole.



Pianta tipo



La campagna di indagini

- **Rilievi visivi** → Stato di degrado e tipologia di orizzontamenti
- **Martinetti piatti singoli e doppi** → Tensione di esercizio=1,27MPa
Tensione di rottura= 2,96 MPa
- **Prove ultrasoniche** → Modulo elastico medio E=1310 MPa
- **Prove penetrometriche su malta** → Resistenza media $f_m=2,52$ MPa



Livello di Conoscenza LC2 → Fattore di Confidenza $F_c=1,20$

| Tensione di rottura | Modulo Elastico Medio | Modulo elastico tangenziale | Peso specifico | Resistenza media a taglio |
|----------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------------|
| [N/mm ²] | [N/mm ²] | [N/mm ²] | [kN/m ³] | [N/cm ²] |
| 2,96 | 1310 | 500 | 17 | 0,09 |

Sintesi delle caratteristiche meccaniche della muratura

6. Il caso studio di un edificio in muratura

Comportamento sismico ante-operam

Software



Metodologia

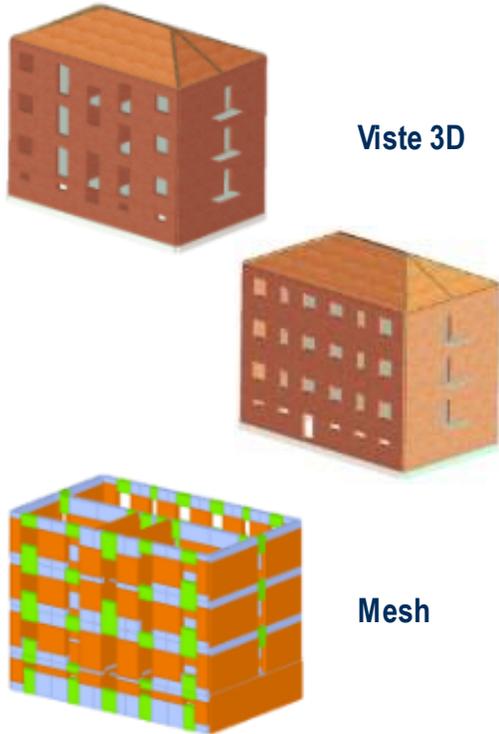
FME – Frame by Macro Elements



Legenda

- Maschi murari accanto alle aperture
- Fasce al di sopra delle aperture
- Nodi rigidi

Modellazione – 3D e Mesh



Azione sismica

Categoria di sottosuolo: B

Categoria Topografica: T1

Carico sismico

Forma spettro: Parametrica

Classe suolo: B

| | SLC | SLV | SLO | SLO |
|--------------------------------|--------|--------|-------|-------|
| σ_g [N/m ²] | 2,05 | 1,61 | 0,65 | 0,53 |
| F_g | 2,42 | 2,38 | 2,49 | 2,49 |
| T^*_C [s] | 0,32 | 0,31 | 0,27 | 0,26 |
| T_B | 975,00 | 475,00 | 50,00 | 30,00 |
| β_g | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| T_g [s] | 0,15 | 0,14 | 0,13 | 0,12 |
| T_C [s] | 0,44 | 0,43 | 0,39 | 0,37 |
| T_D [s] | 2,44 | 2,26 | 1,87 | 1,81 |

Categoria topografica: T1 S_T 1,0

Fattore di amplificazione: 1,000

Analisi

Analisi modale

Finalizzata ad ottenere i modi di vibrare della struttura.

| Mode | T | mx | Mx | my | My |
|------|-------|--------|-------|--------|-------|
| [-] | [s] | [kg] | [%] | [kg] | [%] |
| 1 | 0,407 | 13 | 0 | 504,89 | 78,24 |
| 2 | 0,339 | 320,31 | 49,64 | 26 | 0 |

Analisi pushover

Considerando le 24 combinazioni di carico:

- Proporzionale alle masse strutturali;
- Proporzionale ai modi di vibrare.

Risultati

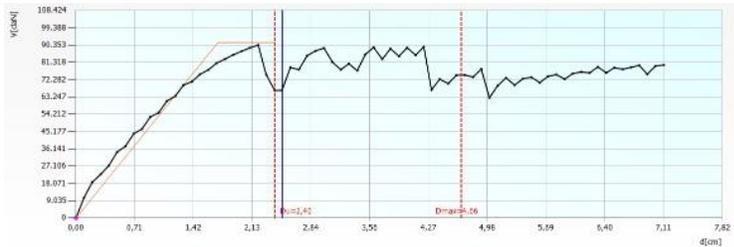


6. Il caso studio di un edificio in muratura

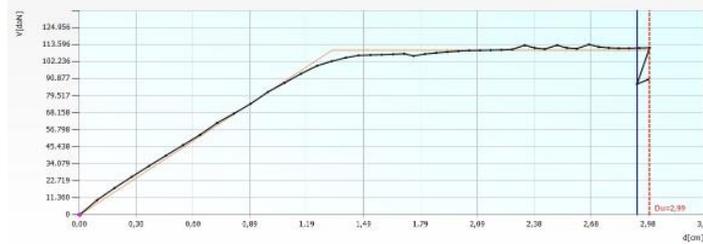
Comportamento sismico ante-operam

Risultati

Analisi Nr 2- Direzione X

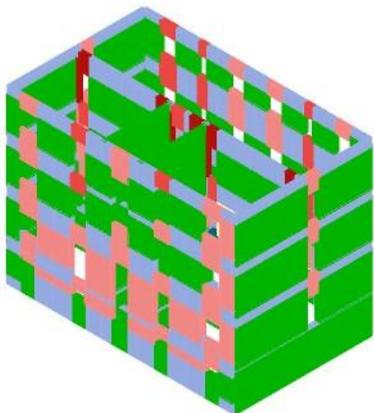


Analisi Nr 22- Direzione Y



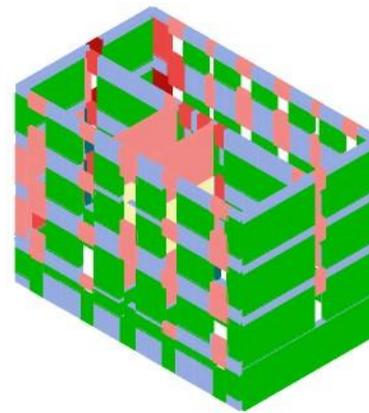
Le due analisi più gravose

| Nr | Dir. sisma | Carico sismico | Eccentricità | α SLC | α SLV |
|----|------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| 2 | +X | Distr. Modale | 0 | 0,516 | 0,510 |
| 22 | -Y | Distr. Uniforme | -83,75 | 0,796 | 0,780 |



Legenda

- Intatto
- Taglio in fase plastica
- Rottura a taglio
- Plastico a pressoflessione
- Rottura a pressoflessione
- Rottura a compressione
- Rottura a trazione
- Rottura in fase elastica



Principali meccanismi

Per le fasce

- Pressoflessione (El. In rosa) e rottura a trazione (El. In blu) sono i principali danni.

Per i maschi murari

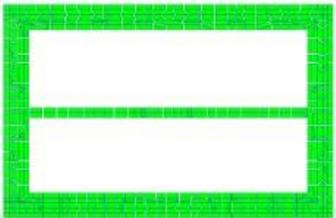
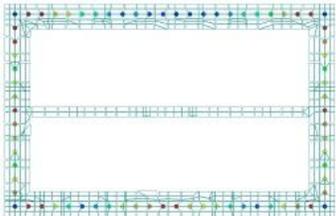
- Plasticizzazione e rottura a pressoflessione (El. in rosso) sono i meccanismi prevalenti insieme ad alcuni fenomeni di rottura a taglio (El. In giallo).

6. Il caso studio di un edificio in muratura

Gli interventi

1 – Allargamento fondazioni

- **Come:** Trave in c.a. 50x90 cm ancorate alle fondazioni pre-esistenti e poggianti su micropali
- **Materiale:** CIs C28/35



2 – Rifacimento solaio

- **Come:** Cordolo perimetrale ad L, travi principali e secondarie metalliche + tavolato ligneo
- **Materiale:** Acciaio S275 e legno C24



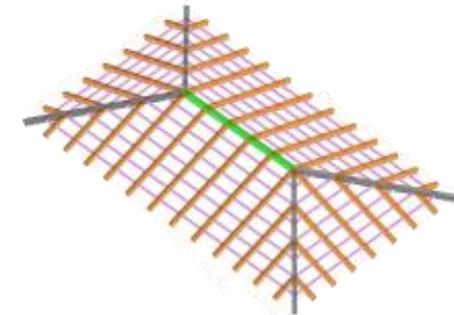
3 – Cappotto Sismico Resisto 5.9

- **Scopo:** Miglioramento sismico ed energetico
- **Modalità:** intervento globale con sistema connesso in fondazione



4 – Sostituzione copertura

- **Scopo:** Sostituzione della copertura originaria in precarie condizioni di conservazione
- **Materiale:** Legno lamellare GL32h



- Trave di colmo: 20x30 cm
- Travi di displuvio: 20x24 cm
- Travi principali: 16x24 cm, i=1,35m
- Travi secondarie: 8x10 cm, i=0,66m

6. Il caso studio di un edificio in muratura

Gli interventi: 1 – Allargamento fondazioni

Fase di PROGETTO

Fase 1: Verifica Fondazioni Esistenti

Fondazioni esistenti



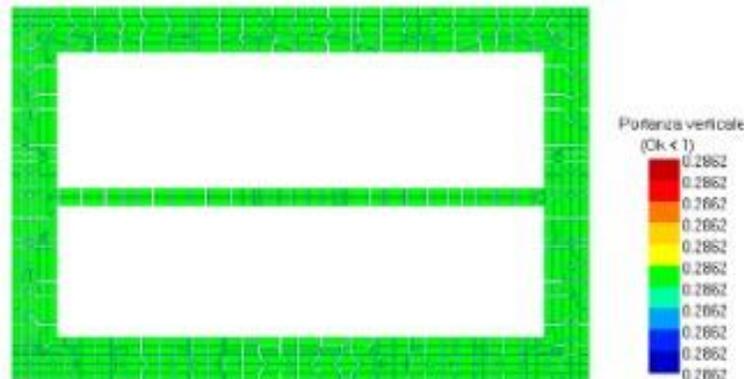
È stata verificata l'interazione terreno – fondazione determinando la portanza verticale ed i cedimenti per ogni elemento della fondazione ai sensi delle NTC 2018 (§6.4.2)



Fase 2: Dimensionamento Cordolo

Prima della progettazione dei micropali, si è dimensionato e verificato il cordolo in c.a. da ancorare alla fondazione esistente tramite inghisaggi con tasselli a quinconce (ogni 40 cm). Esso ha dimensioni 90x50 cm, è armato con $\phi 18$ superiori ed inferiori e staffe $\phi 8/20$ ed è realizzato in cls C28/35.

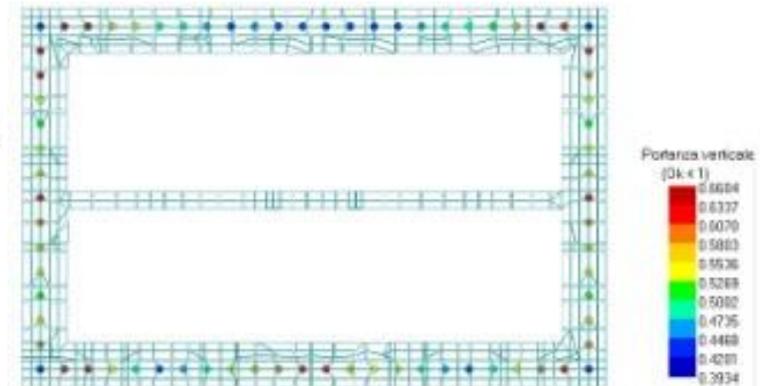
Verifica della portanza verticale per la trave



Fase 3: Progettazione micropali

Per i micropali, in cls C258/35, si prevede una camicia di armatura in acciaio S355 costituita da tubo in acciaio senza saldatura a sezione trasversale circolare del tipo "TK 168x10". I micropali hanno diametro di 25 cm, profondità pari a 10 m e interasse di 80 cm.

Verifica della portanza verticale per i micropali

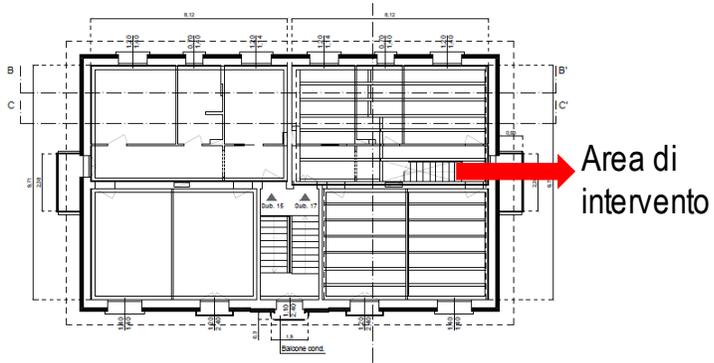


6. Il caso studio di un edificio in muratura

Gli interventi: 2 – Rifacimento porzione solaio

Fase di PROGETTO

Dimensionamento e verifica travi



Procedimento eseguito per travi principali e secondarie e per la trave ad asse longitudinale non rettilineo

- Determinazione dei carichi;
- Scelta delle sezioni per i profili;
- Determinazione delle sollecitazioni;
- Verifiche agli **SLU** (Resistenza e Stabilità):
 - Verifica a flessione, a taglio, a presso/tensoflessione,
 - Verifica di instabilità flessio- torsionale
- Verifiche agli **SLE** (Deformabilità)
- Verifiche dei **collegamenti**

Verifica del tavolato

Il solaio in acciaio è completato con un **tavolato** di spessore pari a **60 mm** in legno massiccio di conifera e pioppo avente classe di resistenza C24.



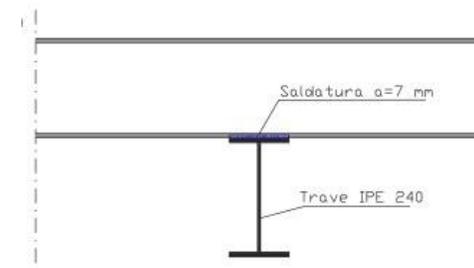
- Determinazione dei carichi agenti;
 - Determinazione delle sollecitazioni;
 - Verifiche agli **SLU**
 - Verifiche agli **SLE**
- Mediante ausilio di fogli di calcolo

Verifica dei collegamenti

- Verifica del collegamento tra trave principale e secondaria (Squadretta)



- Verifica dei cordoni di saldatura



6. Il caso studio di un edificio in muratura

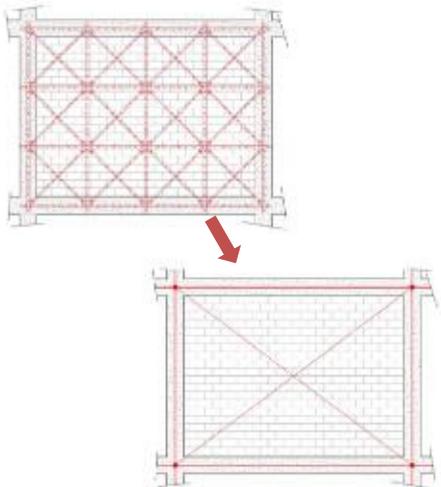
Gli interventi 3 – Cappotto sismico Resisto 5.9

Fase di PROGETTO

Fase 1: Dimensionamento del sistema

Step 1

Per ogni maschio murario è stato modellato un telaio con profili ad U in acciaio e con controventi a croce di Sant'Andrea.

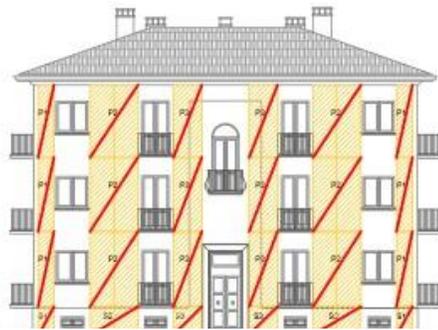


Step 2

Trasformazione di ogni campo controventato da sistema multi-diagonale a sistema a singola diagonale

Step 3

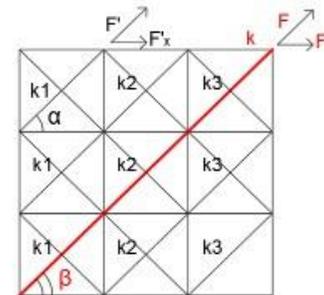
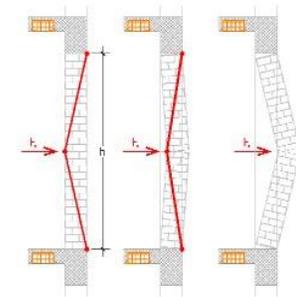
Nota la rigidezza equivalente, è possibile derivare l'area, e quindi il diametro, di ogni diagonale.



Facciata principale dell'edificio in esame

Fase 2: Verifica dei profili

1. Verifica di contenimento dell'espulsione della muratura da parte del cappotto sismico



2. Verifica di resistenza della diagonale e della relativa unione bullonata

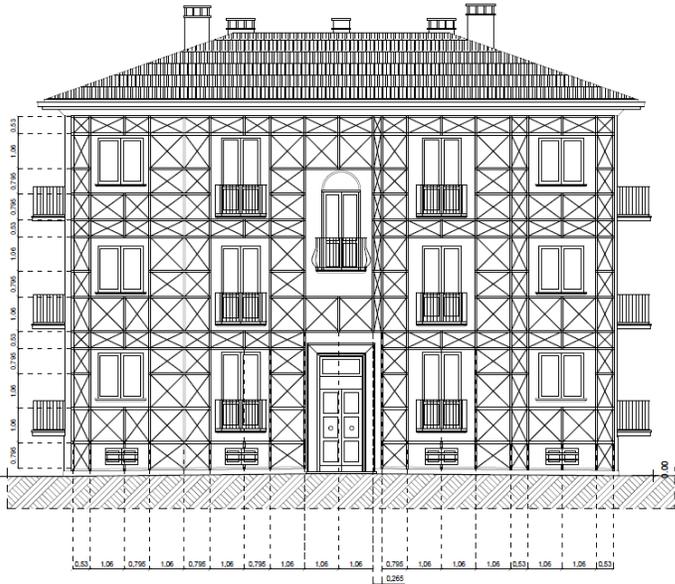


3. Verifica a trazione del sistema hold-down per il collegamento del montante alla fondazione

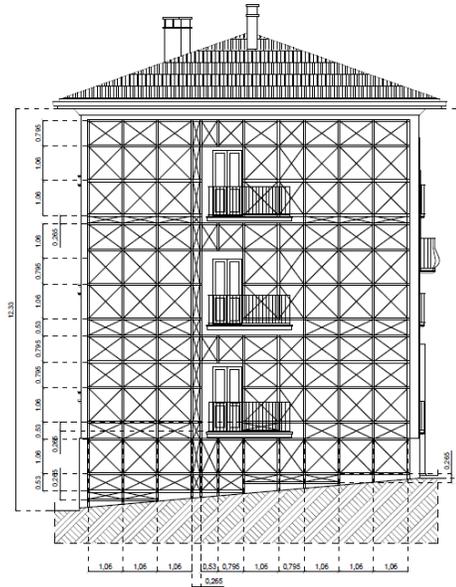
6. Il caso studio di un edificio in muratura

Posizionamento del cappotto sismico Resisto 5.9 sulle facciate

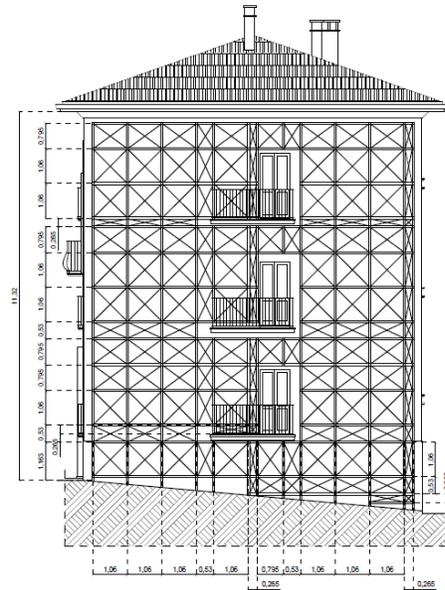
Prospetto Sud - Est
Scala 1:100



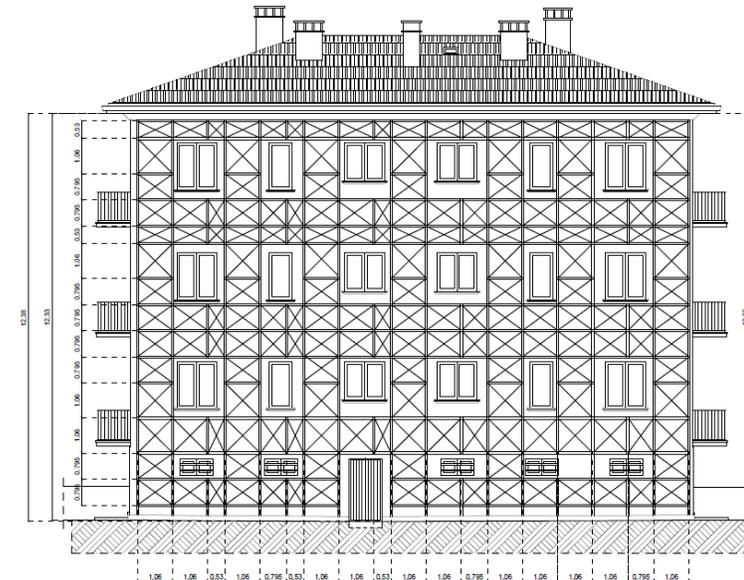
Prospetto Sud - Ovest
Scala 1:100



Prospetto Nord - Est
Scala 1:100



Prospetto Nord - Ovest
Scala 1:100



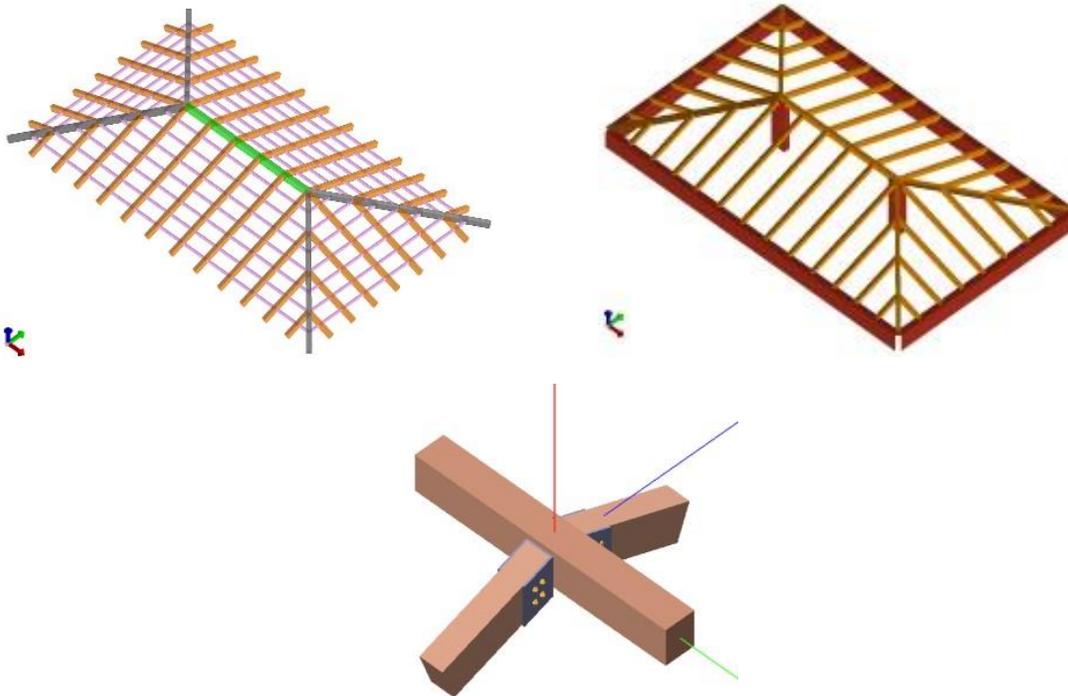
6. Il caso studio di un edificio in muratura

Gli interventi: 4 – Sostituzione copertura

Fase di **PROGETTO**

Dimensionamento e Verifica

Modellazione con software Pro Sap



- Determinazione dei carichi (Permanenti strutturali e non + variabili (Dest. d'uso, Neve));
- Scelta delle sezioni per le travi principali e secondarie;
- Verifiche agli **SLU** (Resistenza e Stabilità):
 - Verifica a flessione;
 - Verifica a taglio;
 - Verifica a presso/tensoflessione
 - Verifica di instabilità
- Verifiche agli **SLE** (Deformabilità)
- Verifiche dei collegamenti

6. Il caso studio di un edificio in muratura

Comportamento sismico post-operam

Fase di **PROGETTO**

Software



Metodologia

FME – Frame by Macro Elements



Legenda

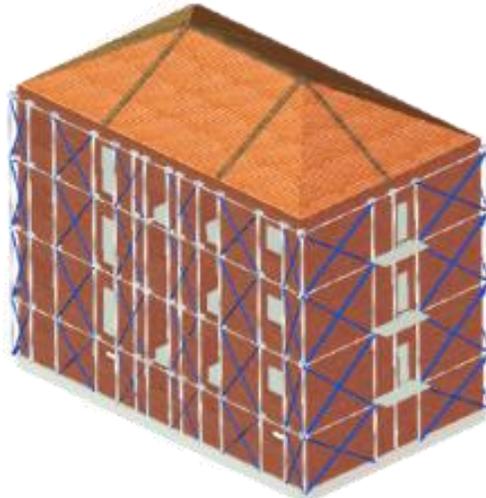
- Maschi murari accanto alle aperture
- Fasce al di sopra delle aperture
- Nodi rigidi

Modellazione – 3D e Mesh

Inserimento dei profili cold formed in acciaio galvanizzato;

Inserimento della nuova copertura;

Allargamento delle fondazioni.



Azione sismica

Categoria di sottosuolo: **B**

Categoria Topografica: **T1**

Carico sismico

Forma spettro: Parametrica

Classe suolo: E

| | -S.L.C | S.L.V | -S.L.D | S.L.D |
|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Verifica | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| e_g [n/m ²] | 2,05 | 1,61 | 0,65 | 0,53 |
| F_d | 2,42 | 2,38 | 2,49 | 2,48 |
| T^*_{C} [s] | 0,32 | 0,31 | 0,27 | 0,26 |
| T_A | 675,00 | 475,00 | 50,00 | 30,00 |
| S_g | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| T_g [s] | 0,15 | 0,14 | 0,13 | 0,12 |
| T_C [s] | 0,44 | 0,43 | 0,39 | 0,37 |
| T_D [s] | 2,44 | 2,26 | 1,87 | 1,81 |

Categoria topografica: T1 S_T : 1,0

Fattore di amplificazione: 1,000

Analisi

Analisi modale

Finalizzata ad ottenere i modi di vibrare della struttura.

| Mode | T | mx | Mx | my | My |
|------|-------|--------|-------|--------|-------|
| [-] | [s] | [kg] | [%] | [kg] | [%] |
| 1 | 0,326 | 247 | 0,04 | 534,53 | 79,24 |
| 2 | 0,268 | 463,52 | 68,72 | 219 | 0,03 |

Analisi pushover

Considerando le 24 combinazioni di carico:

- Proporzionale alle masse strutturali;
- Proporzionale ai modi di vibrare.

Risultati



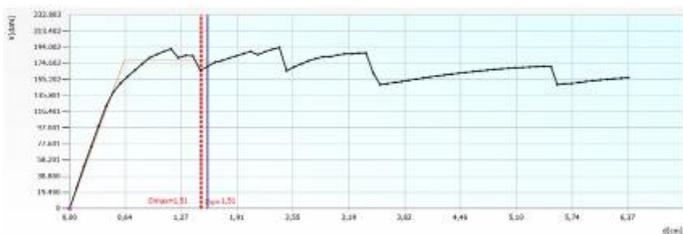
6. Il caso studio di un edificio in muratura

Comportamento sismico post-operam

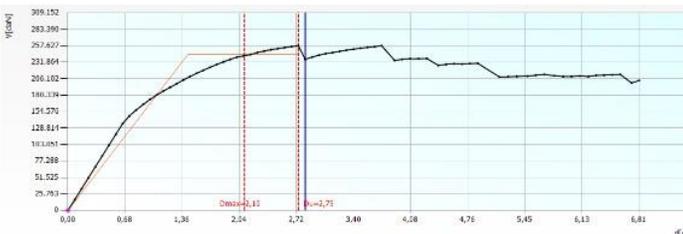
Fase di PROGETTO

Risultati

Analisi Nr 11- Direzione X

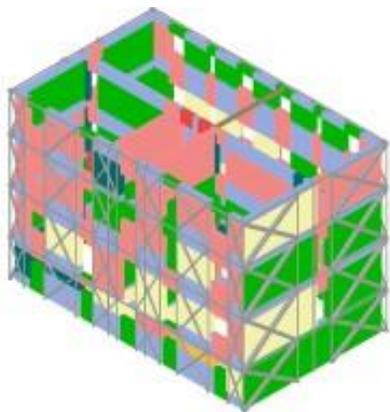


Analisi Nr 20- Direzione Y



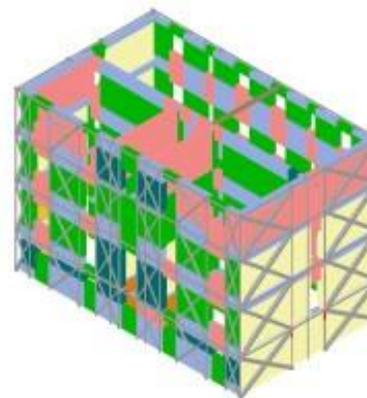
Le due analisi più gravose

| Nr | Direzione del sisma | Carico Sismico | Eccentricità | α SLC | α SLV |
|----|---------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| 11 | +X | Distr. Modale | 53,30 | 1,008 | 1,049 |
| 20 | +Y | Distr. Modale | -86,75 | 1,236 | 1,274 |



Legenda

- Intatto
- Taglio in fase plastica
- Rottura a taglio
- Plastico a pressoflessione
- Rottura a pressoflessione
- Rottura a compressione
- Rottura a trazione
- Rottura in fase elastica



Principali effetti dopo la progettazione degli interventi

Adeguamento completo della struttura dal momento che tutti **coefficienti** (Definiti come il rapporto tra la capacità e la domanda in termini di accelerazione) **sono maggiori di 1**

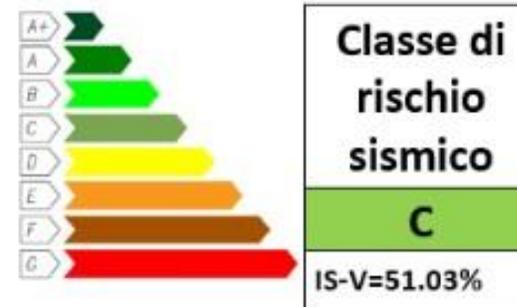
| ANTE | POST |
|--------------|--------------|
| α SLV | α SLV |
| 0,510 | 1,049 |
| 0,780 | 1,274 |

6. Il caso studio di un edificio in muratura

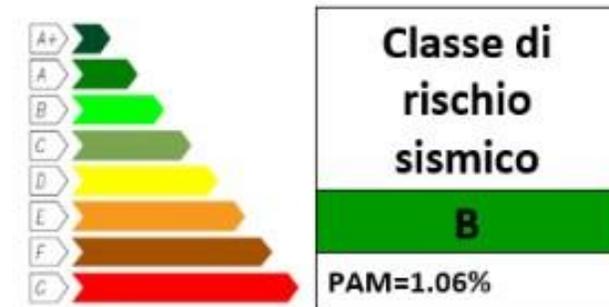
Classe di rischio sismico ANTE OPERAM

| Classe di rischio ISV | | | |
|-----------------------|---------|--------------|-----------------------------|
| Stato Limite | PGA_C | PGA_D | IS-V (PGA_C/PGA_D) |
| SLV | 0,0987 | 0,1934 | 0,510 |
| Classe di rischio PAM | | | |
| Stato Limite | CR (%) | $T_{RC}(SL)$ | $\lambda_{SL}=1/T_{RC}(SL)$ |
| SLR | 100% | 189,00 | 0,0053 |
| SLC | 80% | 189,00 | 0,0053 |
| SLV | 50% | 99,00 | 0,0101 |
| SLD | 15% | 87,00 | 0,0115 |
| SLO | 7% | 37,00 | 0,0270 |
| SLID | 0% | 37,00 | 0,0270 |

Indice di sicurezza IS-V



Perdita economica PAM

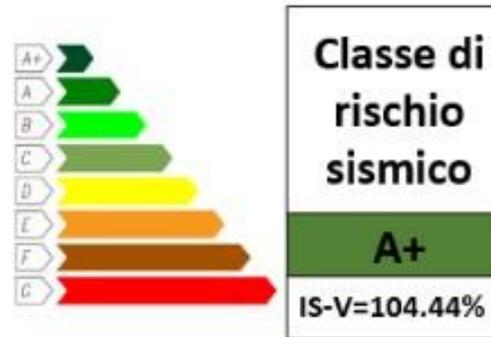


6. Il caso studio di un edificio in muratura

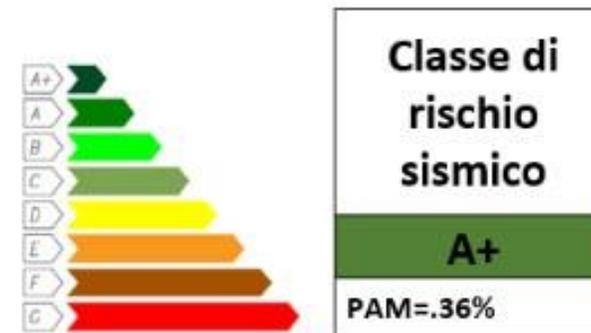
Classe di rischio sismico post OPERAM

Indice di sicurezza IS-V

| Classe di rischio ISV | | | |
|-----------------------|---------|--------------|-----------------------------|
| Stato Limite | PGA_C | PGA_D | IS-V (PGA_C/PGA_D) |
| SLV | 0,2020 | 0,1934 | 1,044 |
| Classe di rischio PAM | | | |
| Stato Limite | CR (%) | $T_{RC}(SL)$ | $\lambda_{SL}=1/T_{RC}(SL)$ |
| SLR | 100% | 980.00 | 0.0010 |
| SLC | 80% | 980.00 | 0.0010 |
| SLV | 50% | 541.00 | 0.0018 |
| SLD | 15% | 197.00 | 0.0051 |
| SLO | 7% | 71.00 | 0.0141 |
| SLID | 0% | 71.00 | 0.0141 |



Perdita economica PAM





Rete dei Laboratori Universitari
di Ingegneria Sismica e Strutturale



6/13
OTTOBRE
2024

#settimanadiPC

SCUOLA DI INGEGNERIA STRUTTURALE – RELUIS

Bologna, 9-11 ottobre 2024

**INTERVENTI PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DI STRUTTURE
IN C.A. E MURATURA CON ESOSCHELETRI: PRINCIPI E CASI STUDIO**



Antonio Formisano
Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura
Università degli Studi di Napoli "Federico II"

