

OTTAVA EDIZIONE DELLA GIORNATA NAZIONALE DELLA PREVENZIONE SISMICA - EVENTI FORMATIVI SULLA PREVENZIONE SISMICA -

MODULO **2** : MATERIALI E TECNOLOGIE INNOVATIVE PER IL RETROFIT ANTISISMICO

Esoscheletri

Prof. Ing. Raffaele Landolfo

(Professore di Tecnica delle Costruzioni presso l'Università di Napoli Federico II)

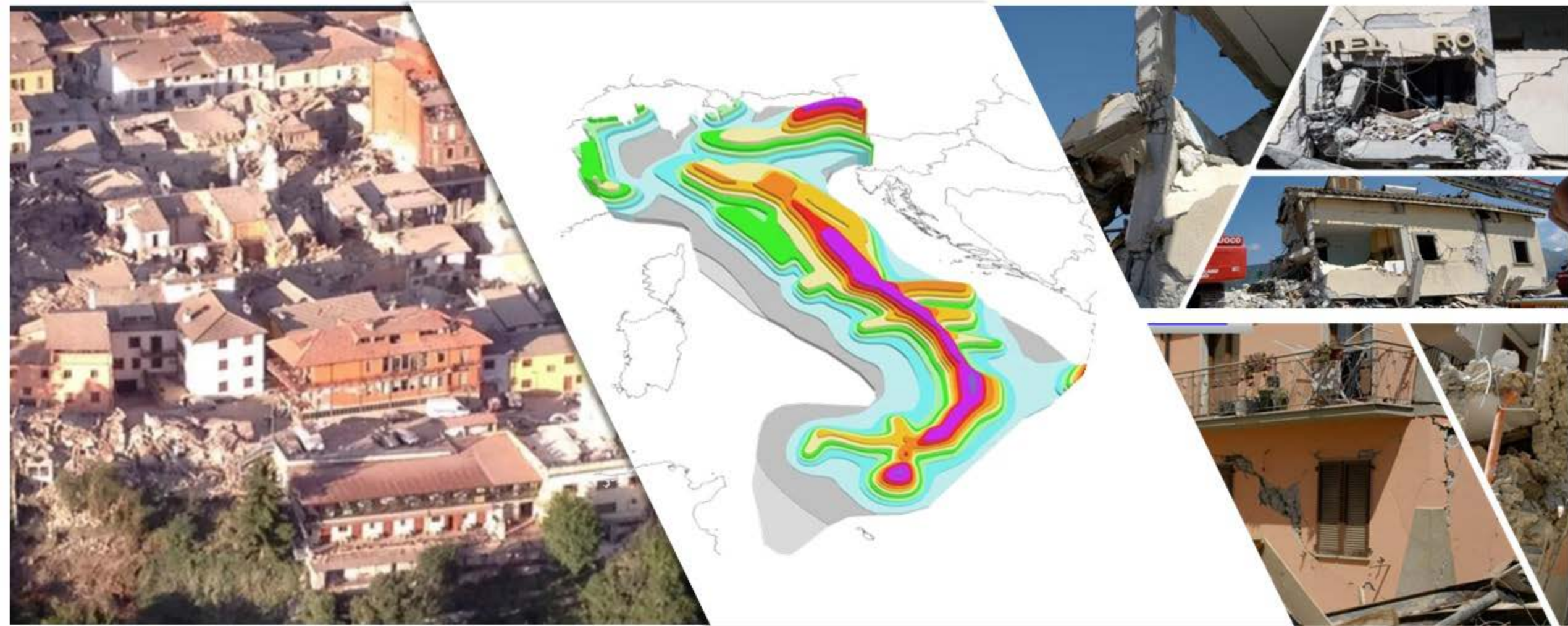
Contenuti

- Introduzione
- Esoscheletri: classificazione e prerogative
- Metodologia di progetto
- Studi e ricerche
- Conclusioni

Contenuti

- **Introduzione**
- Esoscheletri: classificazione e prerogative
- Metodologia di progetto
- Studi e ricerche
- Conclusioni

Il Rischio Sismico

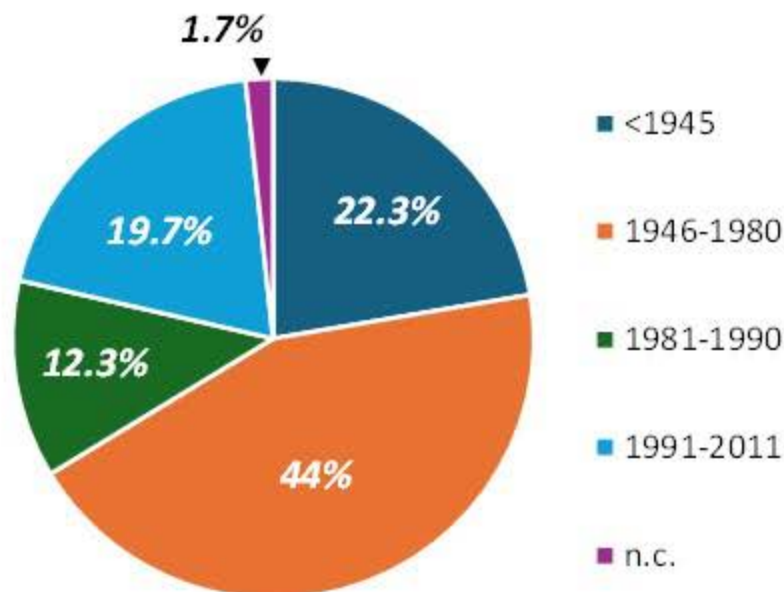


Valutazione degli elementi esposti

Parco immobiliare europeo

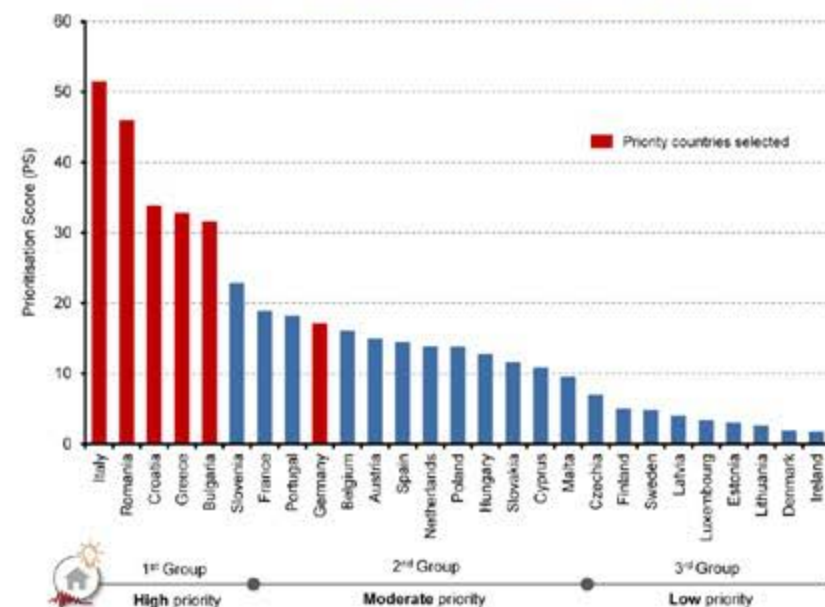
L'area edificata in Europa copre 25 miliardi di metri quadrati, 10 miliardi dei quali sono stati costruiti prima del 1960 e 20 miliardi prima del 1990. Vale la pena notare che il **40% del patrimonio edilizio dell'Unione Europea (UE)** si trova in **regioni soggette a sisma ed è stato costruito senza tenere conto delle moderne considerazioni di progettazione sismica.**

*Distribuzione degli edifici europei
per anno di costruzione*



Source: European Statistical System (ESS), 2011

*Priorità degli edifici dell'UE che
necessitano di interventi di retrofit*



Prioritisation Score

Source: Romano et al. (2023)

Il contesto normativo

■ Opere di Costruzione

Regolamento UE 305/2011 – Allegato I

(Construction Products Regulation CPR)

Requisito di base n.1: Resistenza meccanica e stabilità



Legame tra norme tecniche cogenti e volontarie



D.M. 14701/2018

Norme Tecniche sulle Costruzioni

CAPITOLO 12.

RIFERIMENTI TECNICI

Documenti di comprovata validità

Per quanto non diversamente specificato nella presente norma, si intendono coerenti con i principi alla base della stessa, le indicazioni riportate nei seguenti documenti:

- Eurocodici pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali

- Norme UNI EN armonizzate i cui riferimenti siano pubblicati su Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea;
- Norme per prove su materiali e prodotti pubblicate da UNI.

Inoltre, a integrazione delle presenti norme e per quanto con esse non in contrasto, possono essere utilizzati i documenti di seguito indicati che costituiscono riferimenti di comprovata validità:

- Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale e successive modificazioni del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici sul documento stesso;
- Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.).

Per quanto non trattato nella presente norma o nei documenti di comprovata validità sopra elencati, possono essere utilizzati anche altri codici internazionali; è responsabilità del progettista garantire espressamente livelli di sicurezza coerenti con quelli delle presenti Norme tecniche.

Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, per il tramite del Servizio Tecnico Centrale, predispone e pubblica, sentiti il Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.) e l'Ente Italiano di Normazione (UNI), l'elenco dei documenti che costituiscono riferimento tecnico per le Norme tecniche per le costruzioni ai sensi del presente capitolo. Con analoga procedura sono anche predisposti e pubblicati gli aggiornamenti periodici a tale elenco, nonché gli aggiornamenti degli elenchi delle specifiche tecniche volontarie UNI, EN ed ISO richiamate nella presente norma.

NTC



EC

Eurocodici:
Supporto applicativo
sistematico delle NTC

Il contesto normativo



NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI
D.M. 17/01/2018

CAPITOLO 8 - COSTRUZIONI ESISTENTI

- 8.1. OGGETTO**
- 8.2. CRITERI GENERALI**
- 8.3. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA**
- 8.4. CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI**
 - 8.4.1. RIPARAZIONE O INTERVENTO LOCALE
 - 8.4.2. INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO
 - 8.4.3. INTERVENTO DI ADEGUAMENTO
- 8.5. DEFINIZIONE DEL MODELLO DI RIFERIMENTO PER LE ANALISI**
 - 8.5.1. ANALISI STORICO-CRITICA
 - 8.5.2. RILIEVO
 - 8.5.3. CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI
 - 8.5.4. LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA
 - 8.5.5. AZIONI
- 8.6. MATERIALI**
- 8.7. PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI IN PRESENZA DI AZIONI SISMICHE**
 - 8.7.1. COSTRUZIONI IN MURATURA
 - 8.7.2. COSTRUZIONI IN CALCESTRUZZO ARMATO O IN ACCIAIO
 - 8.7.3. COSTRUZIONI MISTE
 - 8.7.4. CRITERI E TIPI D'INTERVENTO
 - 8.7.5. ELABORATI DEL PROGETTO DELL'INTERVENTO

CIRCOLARE n.7 del 21.01.2019

Istruzioni per l'applicazione dello "Aggiornamento delle
«Norme tecniche per le costruzioni»"

Capitolo **C8**

C8.1 OGGETTO

C8.2 CRITERI GENERALI

C8.3 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

C8.4 CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI

- C8.4.1 RIPARAZIONE O INTERVENTO LOCALE
- C8.4.2 INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO
- C8.4.3 INTERVENTO DI ADEGUAMENTO

C8.5 DEFINIZIONE DEL MODELLO DI RIFERIMENTO PER LE ANALISI

- C8.5.1 ANALISI STORICO-CRITICA
- C8.5.2 RILIEVO
- C8.5.3 CARATTERIZZAZ. MECCANICA DEI MATERIALI
- C8.5.4 LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONF.
- C8.5.5 AZIONI

C8.6 MATERIALI

Il contesto normativo



EN1998-3 – 2025

**Eurocode 8: Design of structures for
earthquake resistance**

*Part 3. Assessment and retrofitting of
buildings and bridges*

EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

FINAL DRAFT
FprEN 1998-3

April 2025

ICS 91.010.30; 91.120.25

Will supersede EN 1998-3:2005

English Version

**Eurocode 8 - Design of structures for earthquake
resistance - Part 3: Assessment and retrofitting of
buildings and bridges**

Eurocode 8 - Calcul des structures pour leur résistance
au séisme - Partie 3: Évaluation et renforcement des
bâtiments et des ponts

Eurocode 8 - Auslegung von Bauwerken gegen
Erdbeben - Teil 3: Beurteilung und Verstärkung von
Gebäuden und Brücken

This draft European Standard is submitted to CEN members for formal vote. It has been drawn up by the Technical Committee
CEN/TC 250.

If this draft becomes a European Standard, CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations
which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration.

This draft European Standard was established by CEN in three official versions (English, French, German). A version in any other
language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the CEN/CENELEC
Management Centre has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia,
Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway,
Poland, Portugal, Republic of North Macedonia, Romania, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Türkiye and
United Kingdom.

Recipients of this draft are invited to submit, with their comments, notification of any relevant patent rights of which they are
aware and to provide supporting documentation.

Warning : This document is not a European Standard. It is distributed for review and comments. It is subject to change without
notice and shall not be referred to as a European Standard.



EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brussels

© 2025 CEN - All rights of exploitation in any form and by any means reserved
worldwide for CEN national Members.

Ref No: FprEN 1998-3:2025 E

Uploaded to: FprEN 1998-3:2025 E
Downloaded: 2025-06-25
Single view: Extract only, copying and reworking prohibited

Il contesto normativo



NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI
D.M. 17/01/2018

CAPITOLO 8 - COSTRUZIONI ESISTENTI

8.1. OGGETTO

8.2. CRITERI GENERALI

8.3. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

8.4. CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI

8.4.1. RIPARAZIONE O INTERVENTO LOCALE

8.4.2. INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO

8.4.3. INTERVENTO DI ADEGUAMENTO

8.5. DEFINIZIONE DEL MODELLO DI RIFERIMENTO PER LE ANALISI

8.5.1. ANALISI STORICO-CRITICA

8.5.2. RILIEVO

8.5.3. CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI

8.5.4. LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA

8.5.5. AZIONI

8.6. MATERIALI

8.7. PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI IN PRESENZA DI AZIONI SISMICHE

8.7.1. COSTRUZIONI IN MURATURA

8.7.2. COSTRUZIONI IN CALCESTRUZZO ARMATO O IN ACCIAIO

8.7.3. COSTRUZIONI MISTE

8.7.4. CRITERI E TIPI D'INTERVENTO

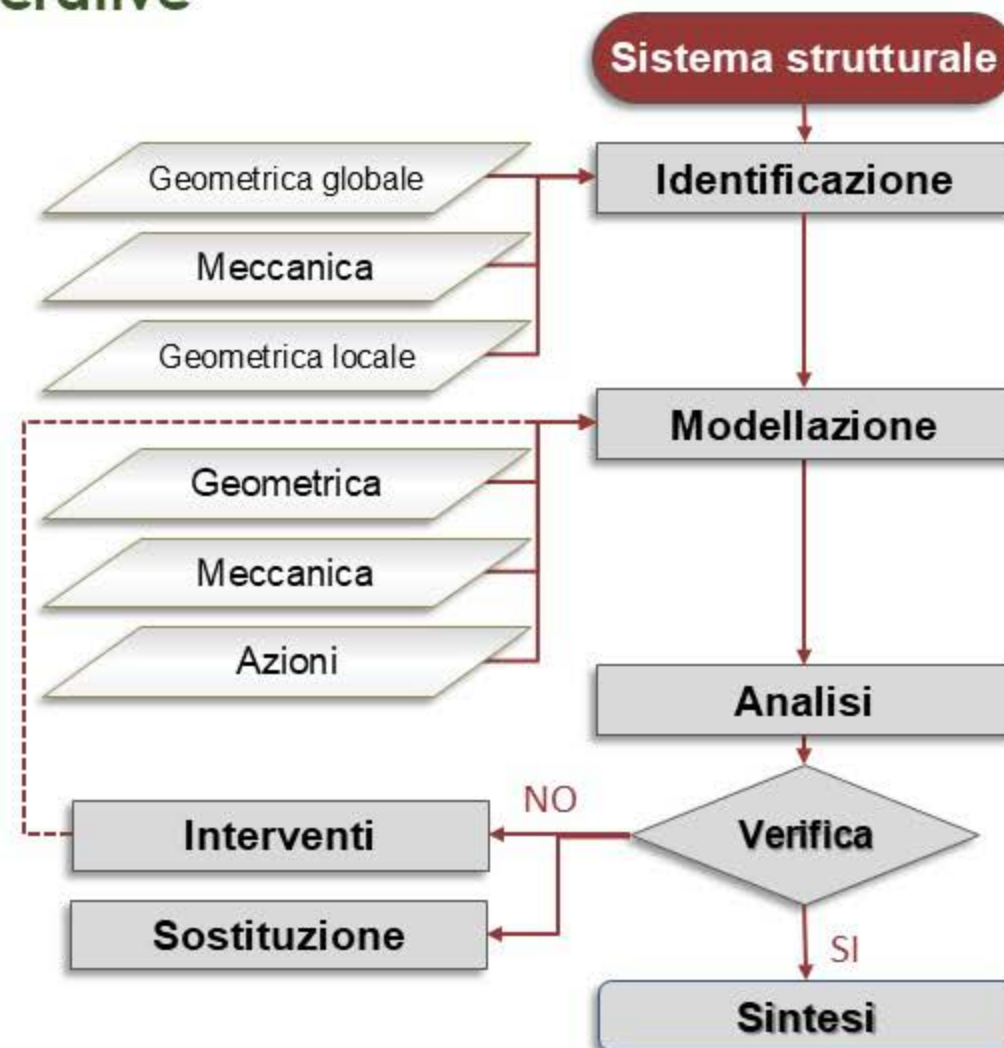
8.7.5. ELABORATI DEL PROGETTO DELL'INTERVENTO

La valutazione della sicurezza

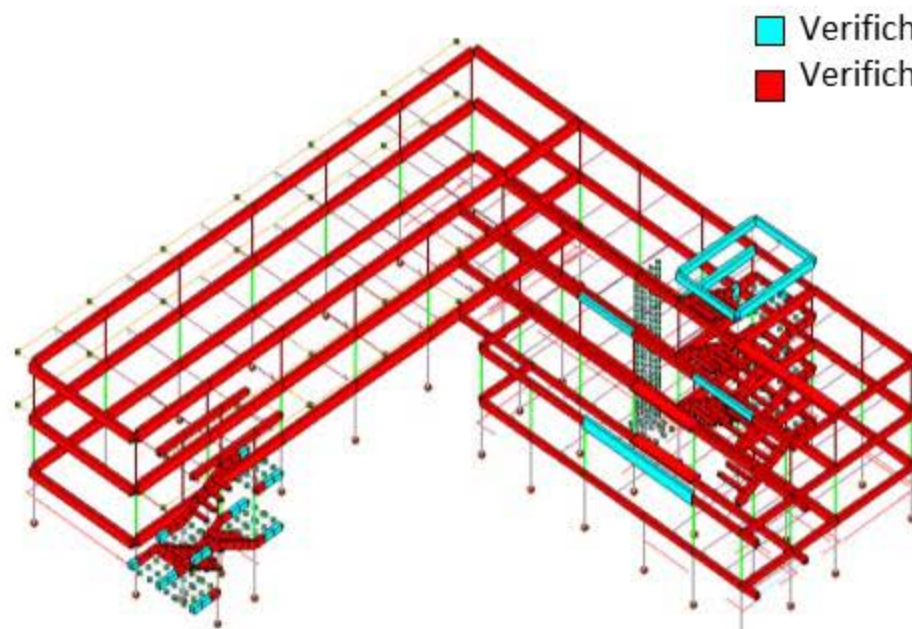


La valutazione della sicurezza strutturale

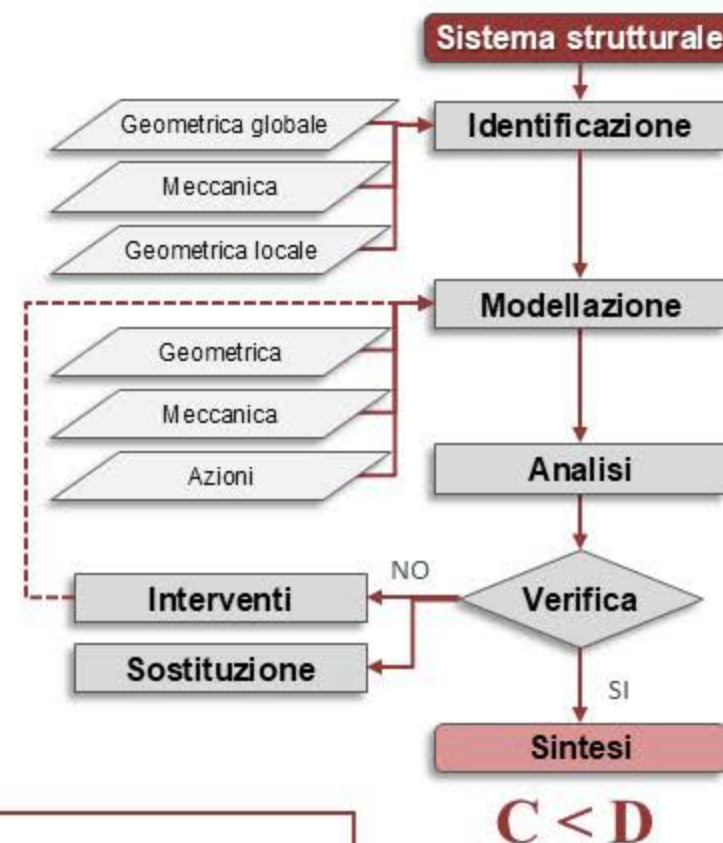
Le fasi operative



Sintesi



Verifiche soddisfatte
Verifiche non soddisfatte



1. Prevedere **interventi** per aumentare la sicurezza strutturale;
2. **L'uso deve essere modificato**
(declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso).

Metodi di analisi

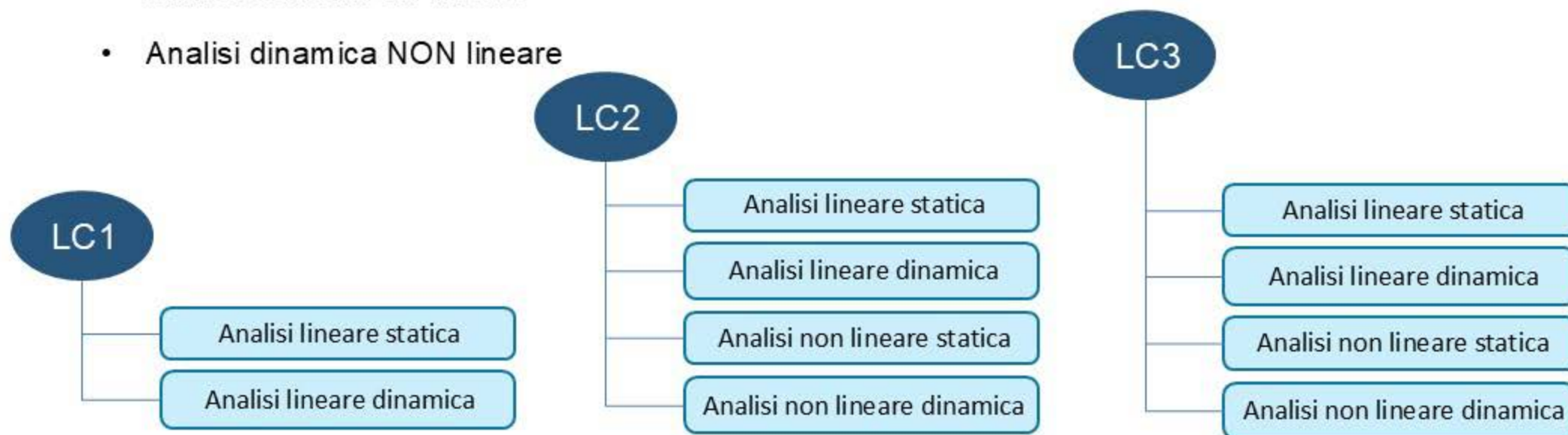


- Analisi statica lineare con di risposta spettro elastico
- Analisi statica lineare con fattore di comportamento q
- Analisi dinamica modale con fattore di comportamento q
- Analisi statica NON lineare
- Analisi dinamica NON lineare

Costruzioni in calcestruzzo armato e acciaio

elementi/meccanismi "duttili" $\rightarrow 1.5 \leq q \leq 3.0$

elementi/meccanismi "fragili" $\rightarrow q = 1.5$

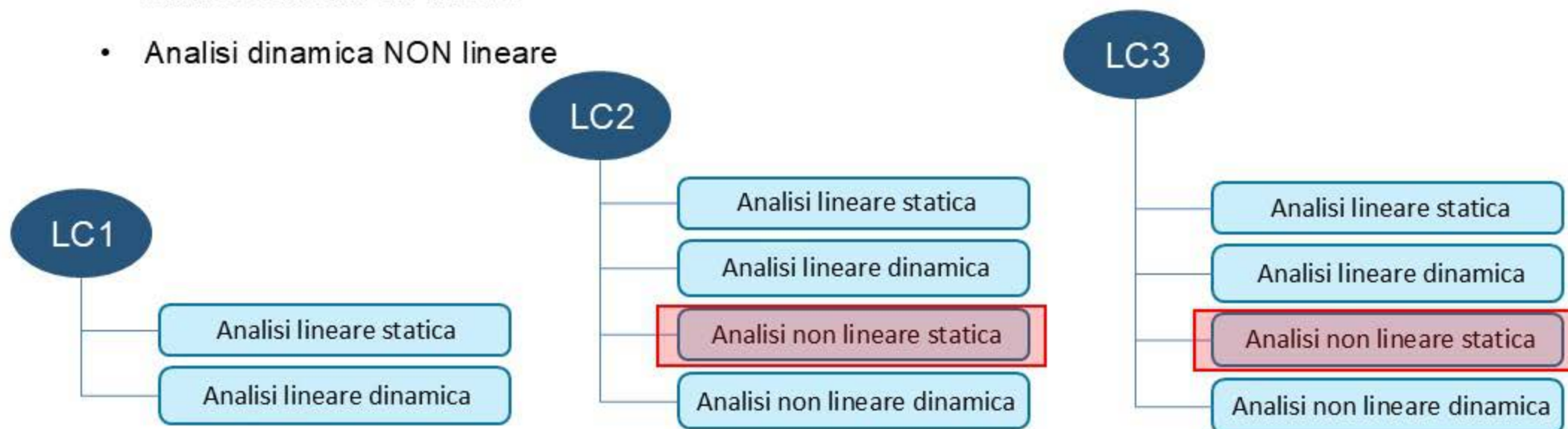


Metodi di analisi



- Analisi statica lineare con di risposta spettro elastico
- Analisi statica lineare con fattore di comportamento q
- Analisi dinamica modale con fattore di comportamento q
- Analisi statica NON lineare
- Analisi dinamica NON lineare

Costruzioni in calcestruzzo armato e acciaio
elementi/meccanismi "duttili" $\rightarrow 1.5 \leq q \leq 3.0$
elementi/meccanismi "fragili" $\rightarrow q = 1.5$



Analisi non lineare statica



NTC18

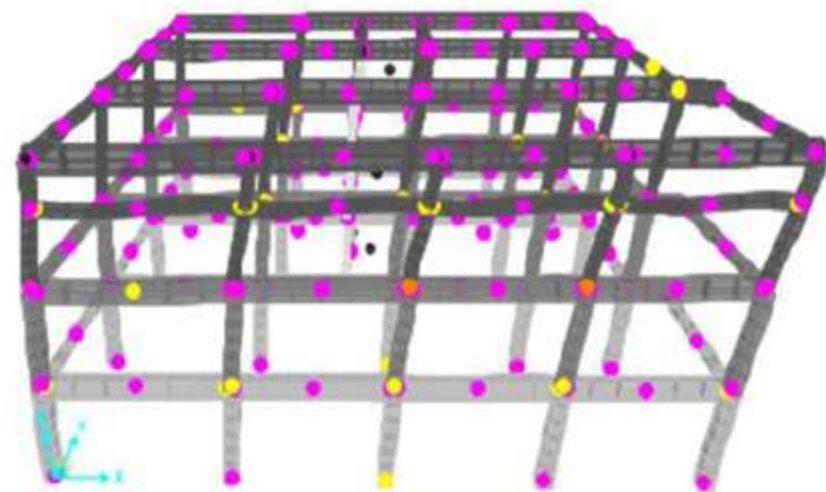
Per ogni stato limite considerato, il **confronto tra capacità e domanda** viene declinato in termini di **spostamento** e consente di determinare **il livello di prestazione raggiunto**.

Per la valutazione della domanda, definito dal **punto di prestazione (PP)** della struttura, nelle istruzioni applicative della NTC sono proposti i seguenti metodi:

(C73.4.2)

Metodo A, basato sull'individuazione della domanda anelastica attraverso il principio di uguali spostamenti o uguale energia.

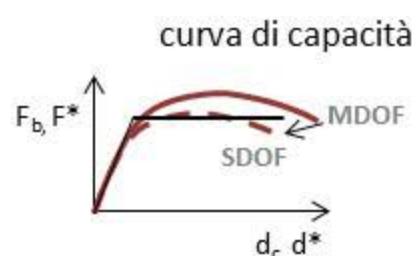
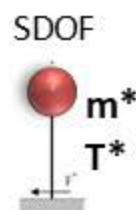
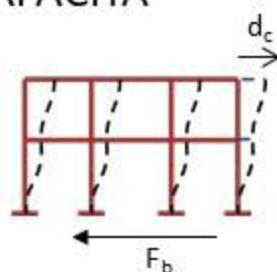
Metodo B, basato sulla costruzione di uno spettro di capacità.



Analisi non lineare statica

Metodo A nel piano ADRS

CAPACITA'



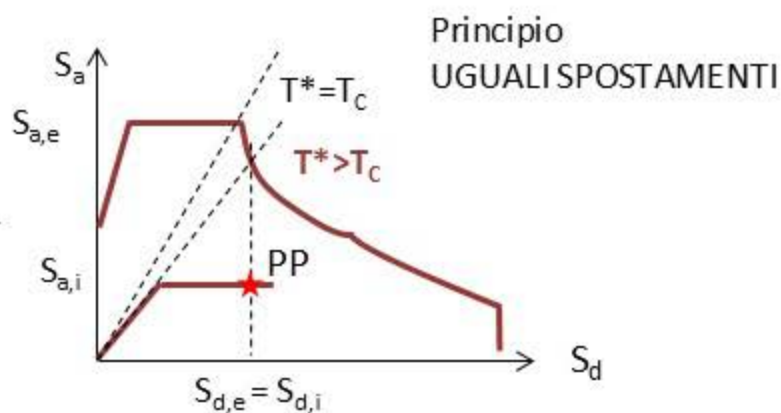
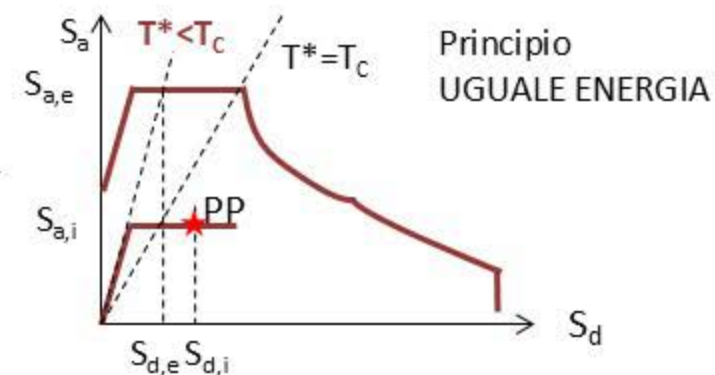
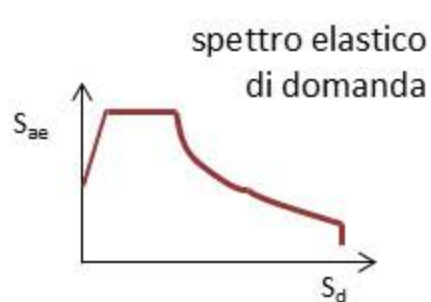
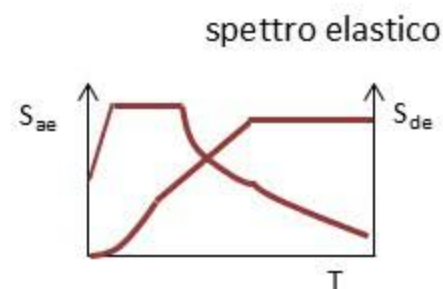
1

2

3

PRESTAZIONE

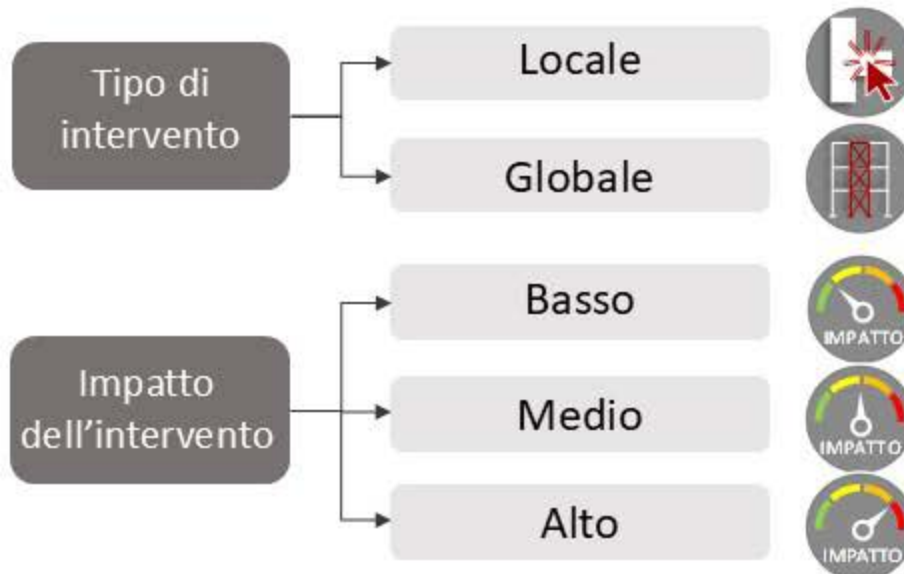
DOMANDA



L'uso dell'acciaio per il rafforzamento

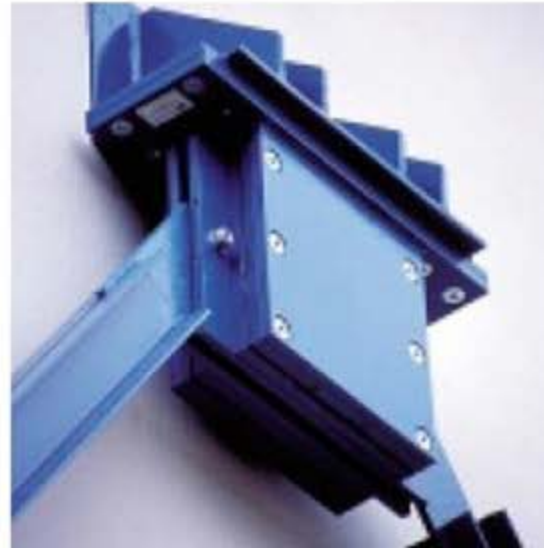


L'acciaio può essere utilizzato per il rafforzamento di edifici esistenti mediante **interventi locali, di miglioramento o adeguamento** e in accordo a alla strategie di **aumento della capacità** e di **riduzione della domanda**.



Interventi globali

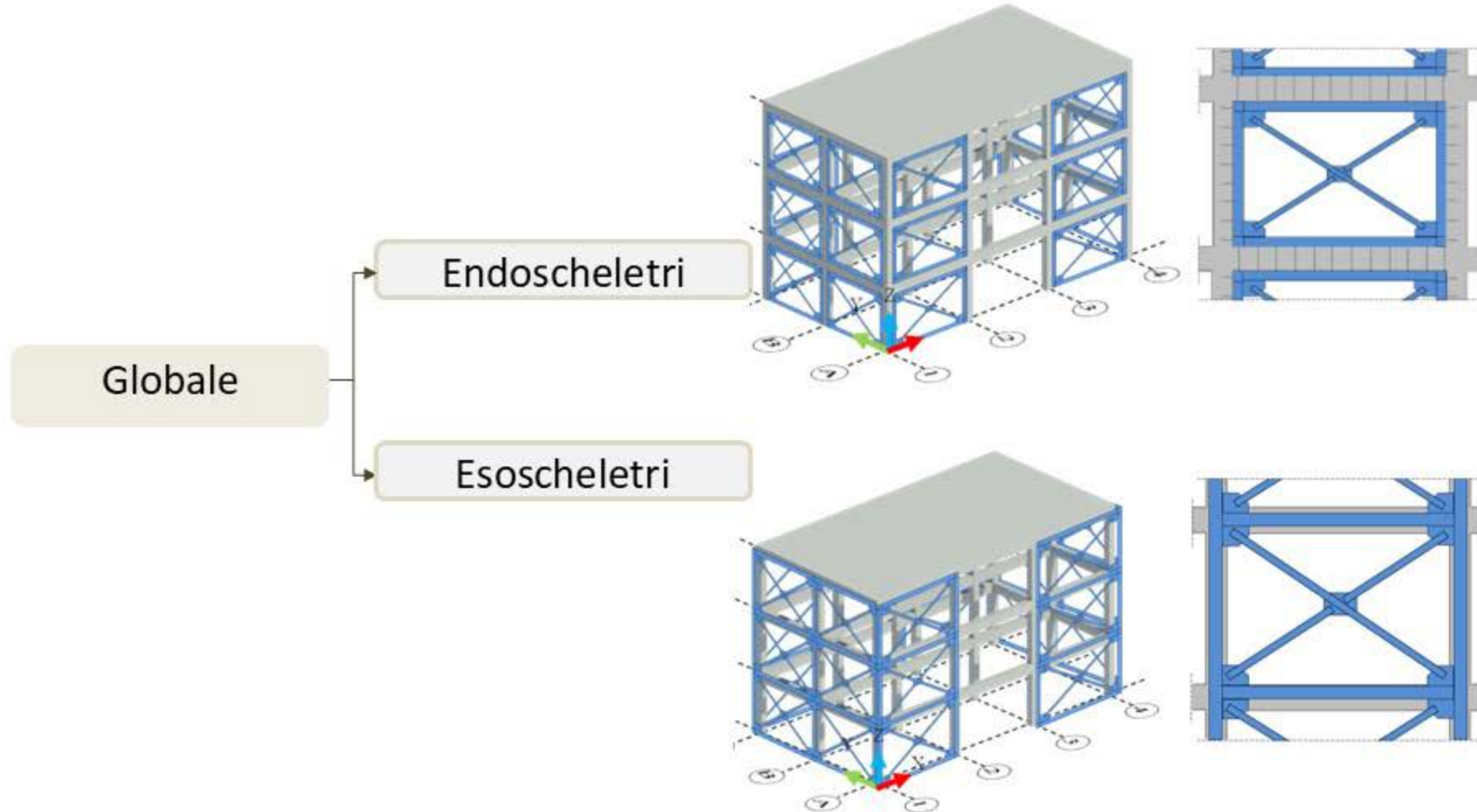
Sistemi reticolari



Contenuti

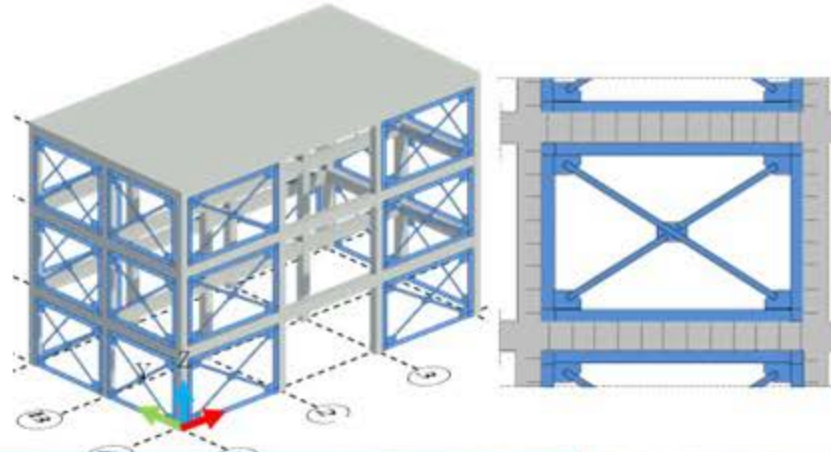
- Introduzione
- **Esoscheletri: classificazione e prerogative**
- Metodologia di progetto
- Studi e ricerche
- Conclusioni

Gli interventi globali



Gli interventi globali

Endoscheletri



L'endoscheletro è un sistema “**additivo**” simo-resistente, non adattivo, applicato **internamente** o **sul perimetro** della struttura esistente.

Globale



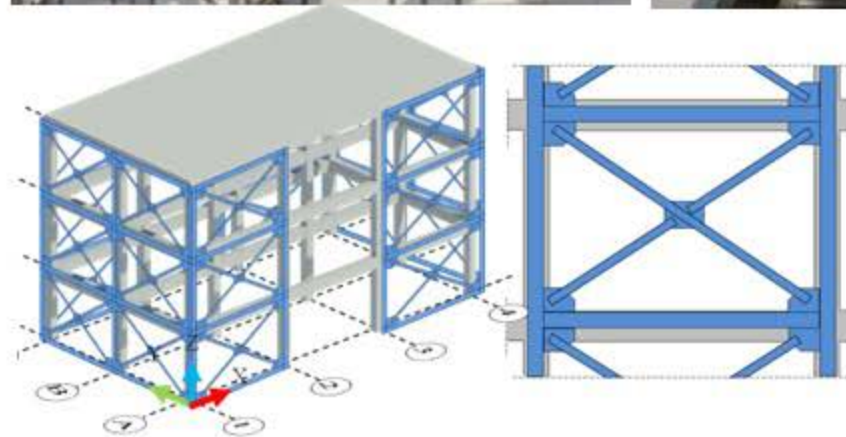
Scuola Primaria, Mussolente (VI)



Scuola secondaria, Vibo Valentia

Gli interventi globali

Globale



Esoscheletri

Reference

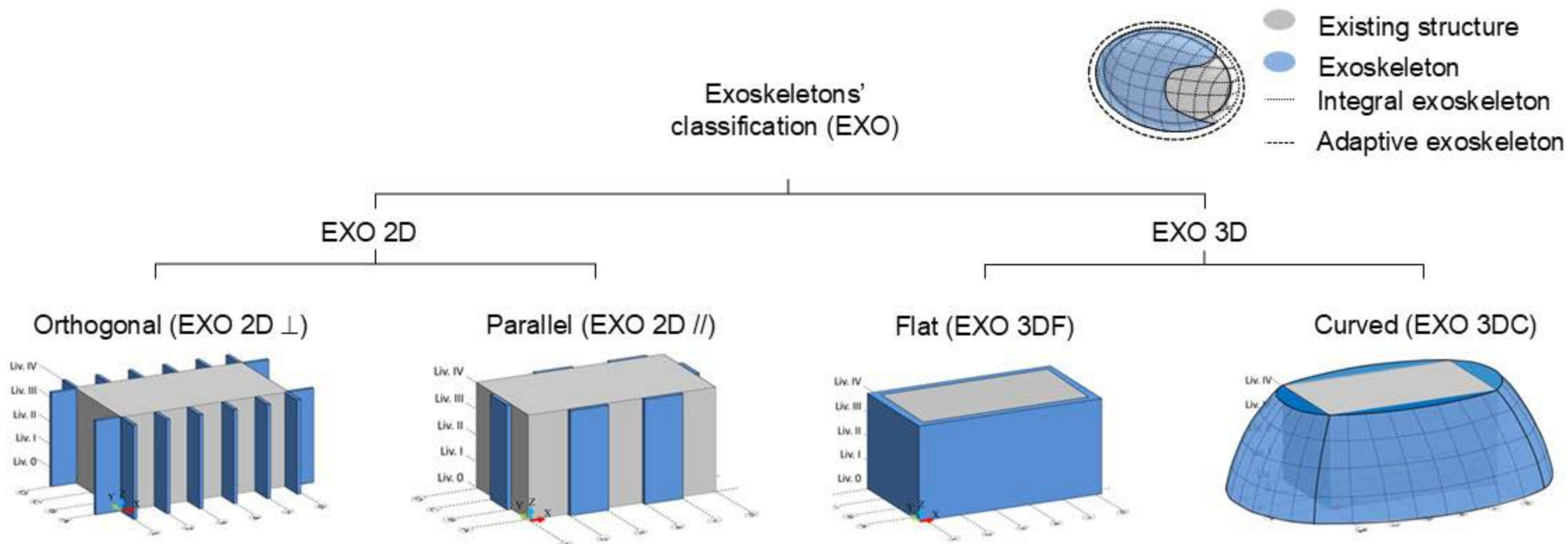
Benyus, J. M., (2002),
"Biomimicry. Innovation
Inspired by Nature".
2nd ed William Morrow
and Company, New
York, 2002

L'esoscheletro è un sistema è un sistema "additivo" simo-resistente, opzionalmente "adattivo", applicato e collegato dall'esterno alla struttura esistente su una porzione significativa della sua superficie laterale.

Esoscheletri

Classificazione tipologica

Dal punto di vista tipologico, gli esoscheletri possono essere classificati in funzione **della configurazione geometrica e sullo schema resistente** dell'esoscheletro, che può essere realizzato mediante **elementi piani bidimensionali (2D) oppure mediante sistemi spaziali tridimensionali (3D)**.

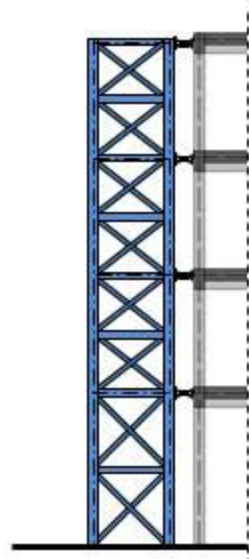


Esocheletri

Classificazione prestazionale

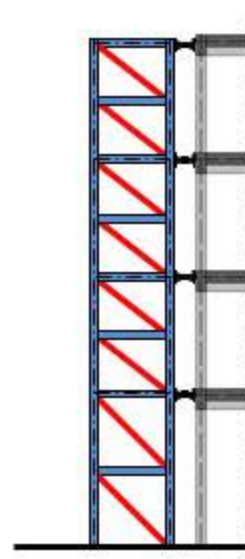
Accanto alla classificazione tipologica, basata sulla configurazione geometrica e sullo schema resistente dell'esoscheletro, è possibile introdurre una **classificazione funzionale** in relazione al loro ruolo nel **controllo della risposta sismica globale**. In questo caso, l'esoscheletro può essere progettati come **dissipativo o non dissipativo**.

Non-dissipative Exoskeleton

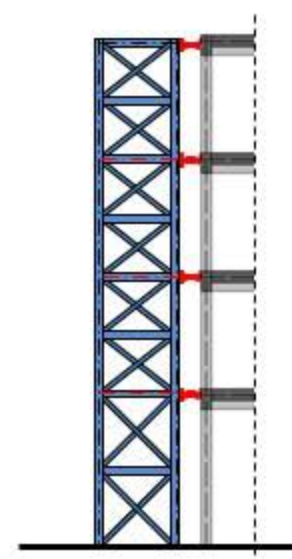


*Rigid bracing
Rigid link*

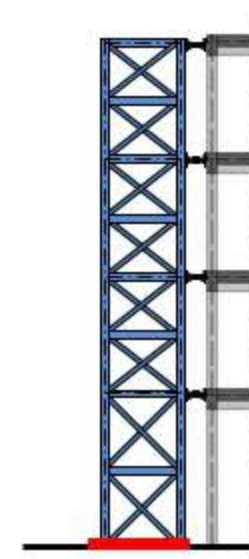
Dissipative Exoskeleton



*Dissipative Bracing
Rigid link*



*Rigid Bracing
Dissipative link*



*Rigid Bracing
Rigid link
Dissipative base Fuse
(Controlled rocking)*

Prerogative emerse

Vantaggi e svantaggi



- ✓ Rapida esecuzione
- ✓ Nessuna rilocalizzazione degli utenti
- ✓ Nessuna interruzione delle attività
- ✓ Elevate prestazioni strutturali
- ✓ Può essere un intervento reversibile e riciclabile*
- ✓ Può costituire la base per un intervento di retrofit integrato (strutturale, energetico)*



- X Costi elevati
- X Applicazione per edifici isolati
- X Applicazione per edifici non soggetti a vincoli architettonici e/o urbanistici
- X Assenza di procedure codificate in materia di progettazione e costruzione
- X Esperienza applicativa in fase di consolidamento rispetto a soluzioni più tradizionali

Esoscheletri

Prerogative

Gli esoscheletri consentono di effettuare, implementando la **VISIONE OLISTICA** in chiave **LIFE CYCLE**, un **RETROFIT GLOBALE (DEEP RENOVATION)**, ovvero strutturale, energetico e formale/funzionale.



Esempi emblematici e loro localizzazione

Le **prime realizzazioni** di esoscheletri in acciaio per il retrofit sismico a partire dagli anni '80

1995



Telegraph-Channing Garage
(Berkeley, California-USA)

1994



Auditorium HPH oh ETH
(Zurich, Switzerland)

2014



Palazzina Uffici Magneti
Marelli (Crevalcore, Italia)

1985

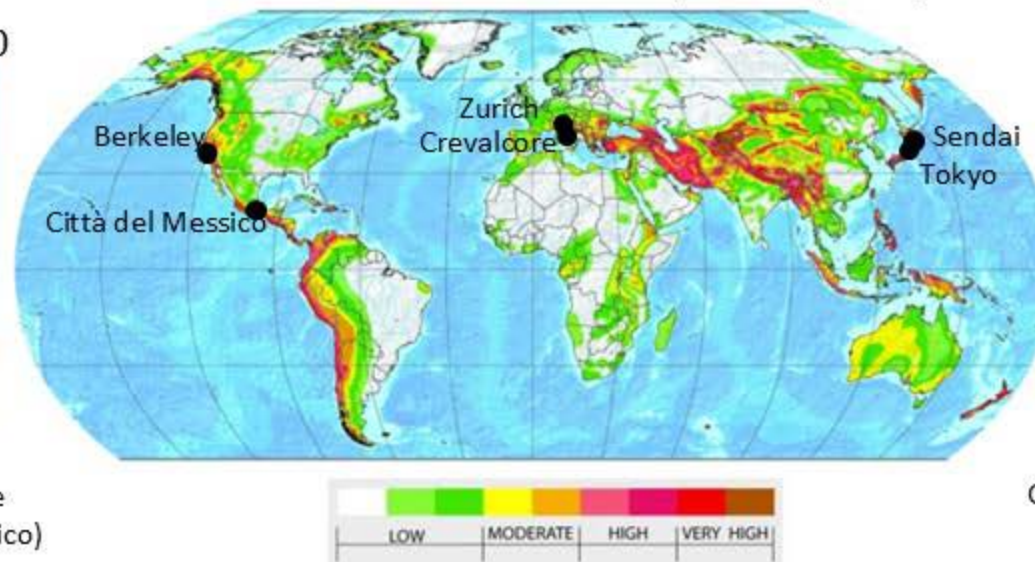


Matsuya Ginza Center
(Tokyo, Giappone)

1980



Hospital
Ángeles Clínica Londre
(Città del Messico, Messico)



1990



Applied Chemistry and
Chemical Engineering Building
(Sendai, Giappone)

Realizzazione emblematica

Ospedale Città del Messico

A seguito del terremoto che colpì Città del Messico nel 1979, furono riscontrati danni ingenti alle travi e alle colonne dei tre livelli inferiori dell'edificio. Nel 1980 fu effettuato un intervento di retrofit di **rapida esecuzione**, con un **costo pari al 20% del costo di costruzione originale**.



- ✓ Solo 8 mesi per la realizzazione dell'intervento
- ✓ Costo totale inferiore al 20% del costo di costruzione
- ✓ Nessun danno durante il devastante terremoto che colpì Città del Messico nel 1985 ($M_{w_max}=8.0$)

Retrofit intervention Hospital Angeles Clínica Londres (1980, Mexico)

Non-Dissipative EXO-2D-//

Applicazioni recenti in Italia

Palazzina per uffici di Magneti Marelli

Nell'ultimo decennio in Italia sono state realizzate numerose applicazioni di sistemi esterni per il rinforzo globale di strutture esistenti per **l'adeguamento sismico di edifici scolastici e industriali**.

Progetto

Adeguamento palazzina per uffici di Magneti Marelli (Teleios S.r.l.)

Località

Crevalcore (BO)

Periodo

Anno di costruzione: 1973-74,
Intervento: 2012-14

Importo lavori

700.000€ (strutture), incidenza $\approx$
480€/m²

Riferimento/Fonte

Franceschini, M., Semproli, P., Secci, A., Mundadori, M., Melli, B., Biancocini, B., (2014), "I segni della ricostruzione post terremoto maggio 2012: L'adeguamento sismico della palazzina per uffici nello stabilimento Magneti Marelli di Crevalcore", Fondazione Promozione Acciaio

Ante-Operam



Post-Operam



Intervento di Adeguamento sismico

EXO-2D - $\perp$ non-dissipativi

Esempi di intervento realizzati dopo il terremoto dell' Emilia 2012

Applicazioni recenti in Italia

Scuola Primaria "La Tina"

Nell'ultimo decennio in Italia sono state realizzate numerose applicazioni di sistemi esterni per il rinforzo globale di strutture esistenti per **l'adeguamento sismico di edifici scolastici e industriali**.

Progetto

Adeguamento Scuola Primaria "La Tina" (EXUP S.r.l.)

Località

Città di Castello (PG)

Periodo

Anno di costruzione: fine anni '70,
Intervento: 2016

Importo lavori

360.300€ (strutture), incidenza $\approx$
185€/m²

Riferimento/Fonte

<https://www.archilovers.com/projects/246906/>

Ante-Operam



Post-Operam



Intervento di Adeguamento sismico

EXO-2D - $\perp$ non-dissipativi

Esempi di intervento realizzati dopo il terremoto dell' Emilia 2012

Applicazioni recenti in Italia

Scuola secondaria di primo grado "A.Fiori"

Nell'ultimo decennio in Italia sono state realizzate numerose applicazioni di sistemi esterni per il rinforzo globale di strutture esistenti per **l'adeguamento sismico di edifici scolastici e industriali**.

Progetto

Adegumento sismico Scuola
secondaria di primo grado "A.Fiori"

Località

Formigine (MO)

Periodo

Anno di costruzione: fine anni '70,
Intervento: 2016-17

Importo lavori

450.000€ (totale), incidenza $\approx$
350€/m²

Riferimento/Fonte

<https://www.comune.formigine.mo.it/avvisi/avvisi-2019/scuole-201cfiori201d-finito-il-cantiere-a-giugno-il-secondo-stralcio>
http://portalealice.distrettoceramico.mo.it:8080/PortaleAppaltiUnione/it/ppgare_tab_infdpcm.wp?codice=G00609&tipo=Bando

Ante-Operam



Post-Operam



Intervento di Adeguamento sismico

EXO-2D -⊥ ed EXO-2D -// non-dissipativi

Esempi di intervento realizzati dopo il terremoto dell' Emilia 2012

Applicazioni recenti in Italia

Scuola dell'Infanzia "M. Montessori"

Nell'ultimo decennio in Italia sono state realizzate numerose applicazioni di sistemi esterni per il rinforzo globale di strutture esistenti per **l'adeguamento sismico di edifici scolastici e industriali.**

Progetto

Adegumento sismico Scuola
dell'Infanzia "M. Montessori"

Località

San Felice Sul Panaro (MO)

Periodo

Anno di costruzione: n.d.,

Intervento: 2016-17

Importo lavori

n.d.

Ante-Operam



Post-Operam



Intervento di Adeguamento sismico

EXO-2D -⊥ ed EXO-2D -// non-dissipativi

Esempi di intervento realizzati dopo il terremoto dell' Emilia 2012

Applicazioni recenti in Italia

Realizzazioni in corso

Nell'ultimo decennio in Italia sono state realizzate numerose applicazioni di sistemi esterni per il rinforzo globale di strutture esistenti per **l'adeguamento sismico di edifici scolastici e industriali.**



Intervento di Adeguamento mediante EXO-2D - L

Esempio di intervento in realizzazione: Liceo Statale Alessandro Manzoni, Caserta (CE), 2026

Progettista: Ing. Giuseppe Russo

Contenuti

- Introduzione
- Esoscheletri: classificazione e prerogative
- **Metodologia di progetto**
- Studi e ricerche
- Conclusioni

Metodologia di progetto

Contesto normativo

L'Eurocodice 8, Parte 3, è il riferimento normativo sulla valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici esistenti. Il codice fornisce linee guida per la valutazione della capacità strutturale degli edifici sottoposti ad azioni sismiche e delinea i principi per la progettazione di interventi di adeguamento efficaci.

7.2 Retrofit design procedure

- (1) The retrofit design procedure should include steps a) to c).
 - a) Conceptual design.
 - b) Analysis.
 - c) Verifications.
- (2) The conceptual design should cover a) to c).
 - a) Selection of techniques and/or materials, as well as of the type and configuration of the intervention.
 - b) Prior to the above selections, possibly a preliminary analysis of the existing (as-built) structure to inform the selection.
 - c) Preliminary estimation of dimensions of additional structural parts.
 - d) Preliminary estimation of the modified stiffness of the retrofitted [members](#).
- (3) The methods of analysis of the structure specified in 6.4 should be used, taking into account the modified characteristics of the structure.

Valutazione sismica dell'edificio esistente

Concezione strutturale sistema di rinforzo

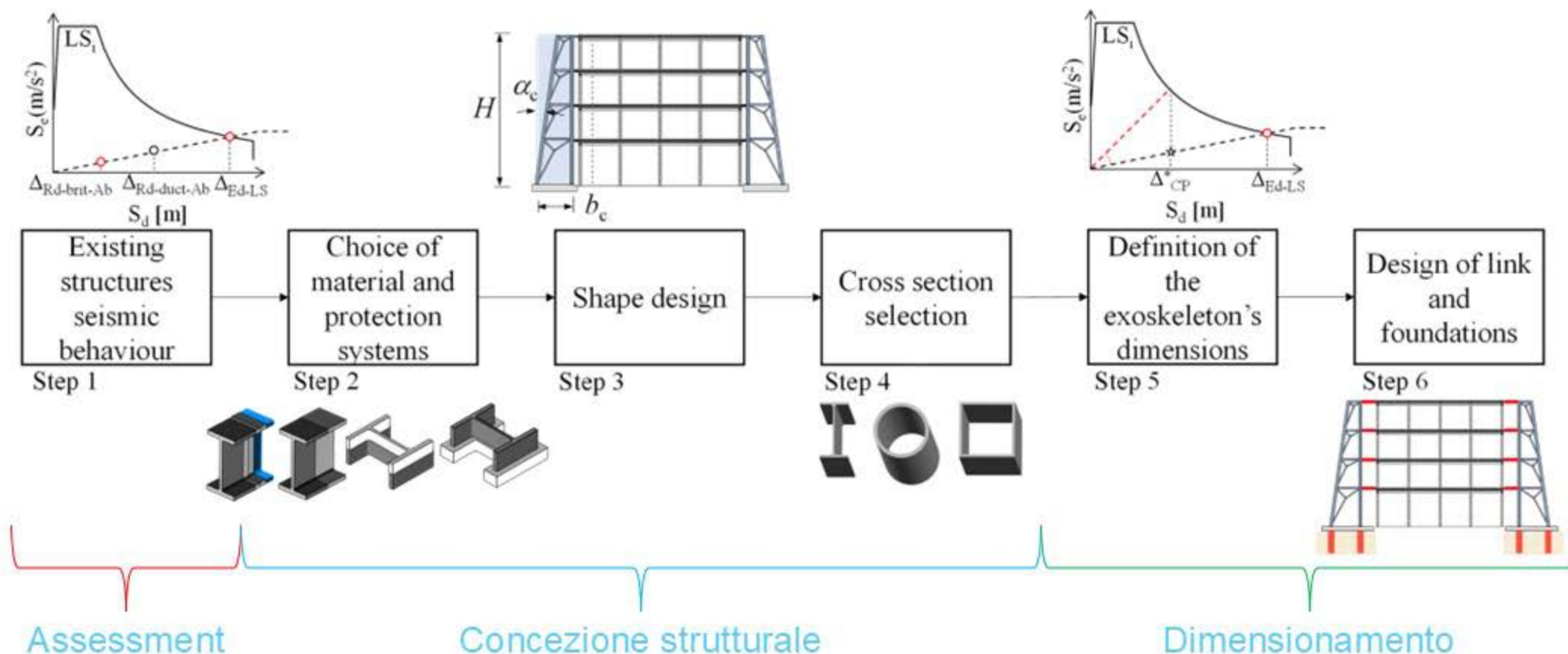
Dimensionamento del sistema di rinforzo

Verifica dell'efficacia dell'intervento

EN 1998-3 (2025)

Metodologia di progetto

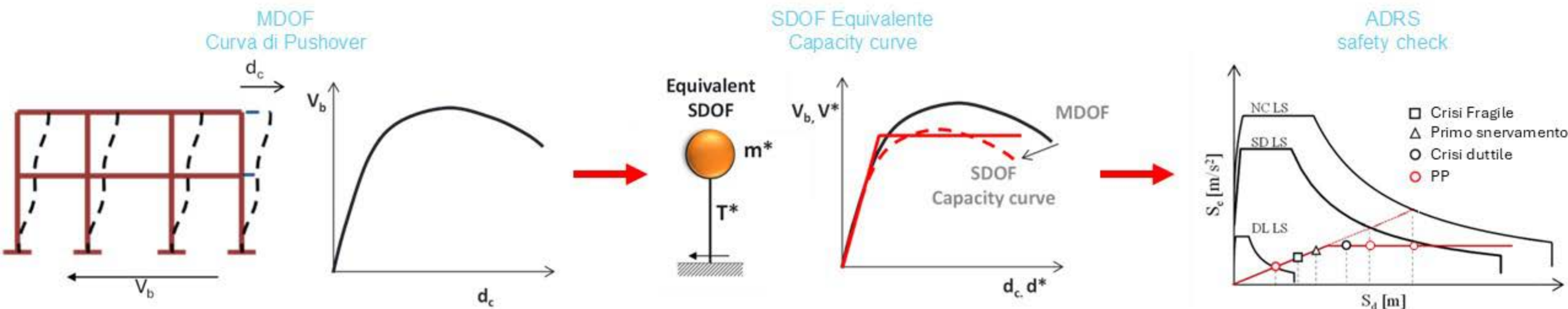
Sulla base delle linee guida del En1998-3:2025 è stata proposta una **metodologia di progetto step-by-step**.



Metodologia di progetto

Step 1

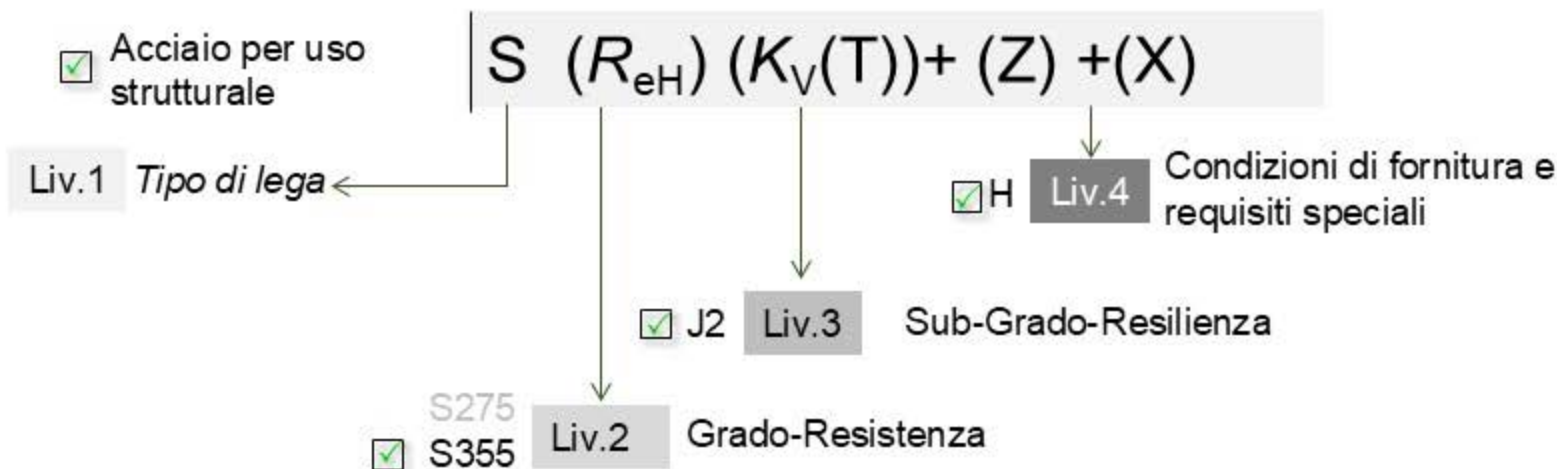
Il primo passo nella procedura di progettazione proposta prevede una valutazione della vulnerabilità sismica dell'edificio esistente attraverso un'analisi statica non lineare.



Metodologia di progetto

Step 2

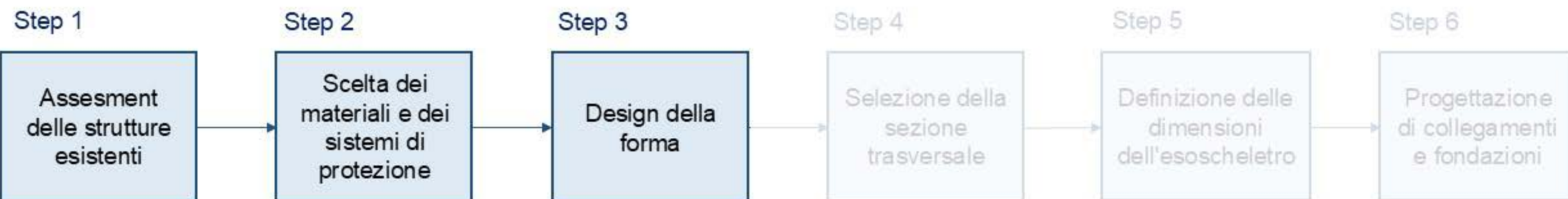
La necessità di contenere i costi e di utilizzare materiali facilmente reperibili raccomanda l'uso di acciai per impieghi strutturali. Se l'esoscheletro è direttamente esposto agli agenti atmosferici, è necessario progettare sistemi di protezione che garantiscano un'adeguata durata dell'intervento.



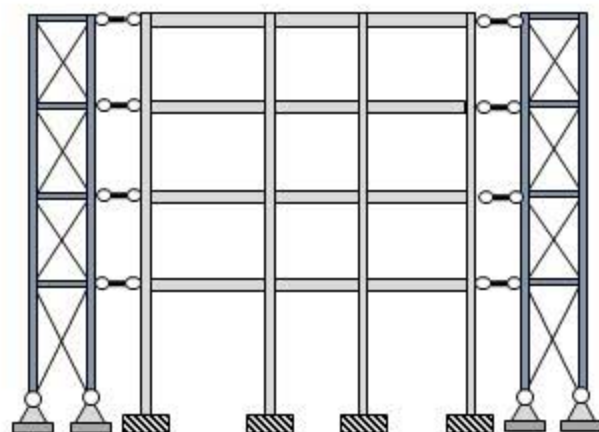
Metodologia di progetto

Step 3

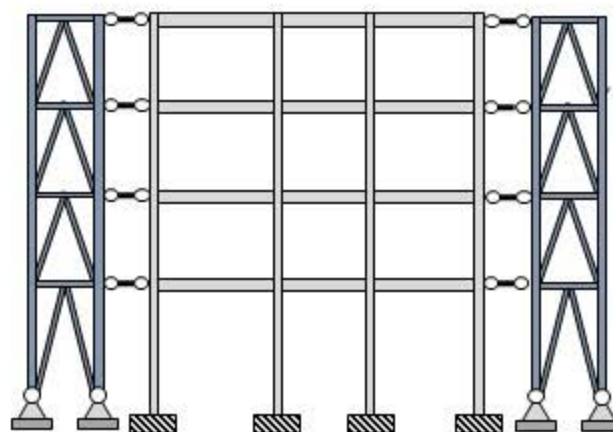
Il design della forma si riferisce al layout dei CBF scelta. Le disposizioni tipiche delle diagonali consistono in CBF a X, V o Y.



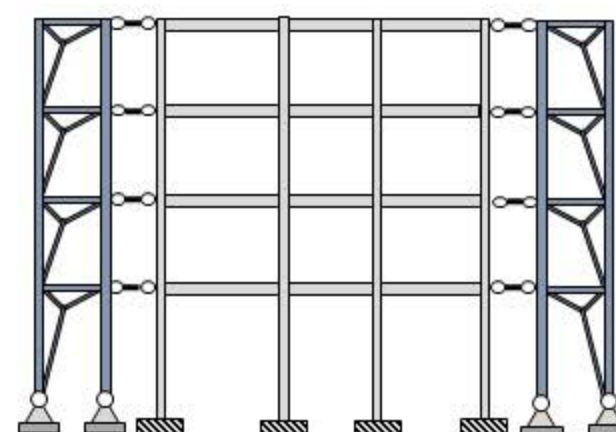
EXO-2D-CBF-X



EXO-2D-CBF-V



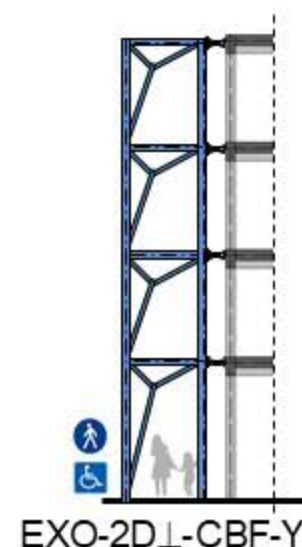
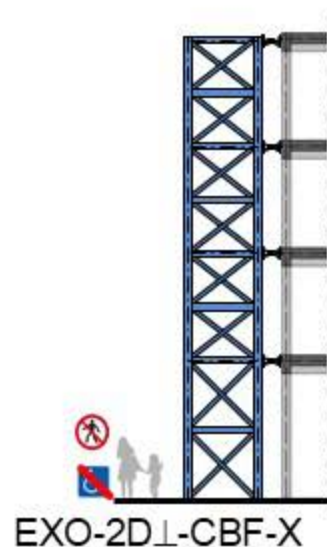
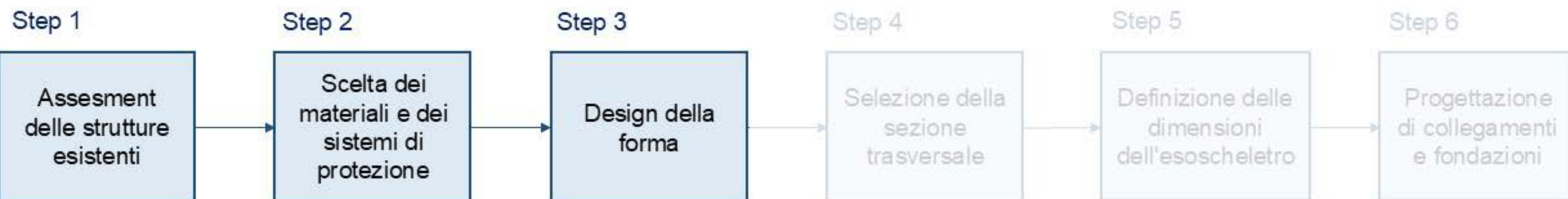
EXO-2D-CBF-Y



Metodologia di progetto

Step 3

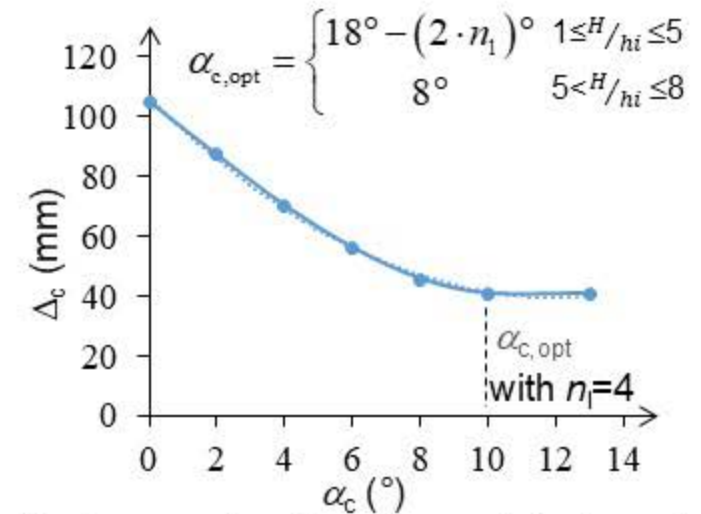
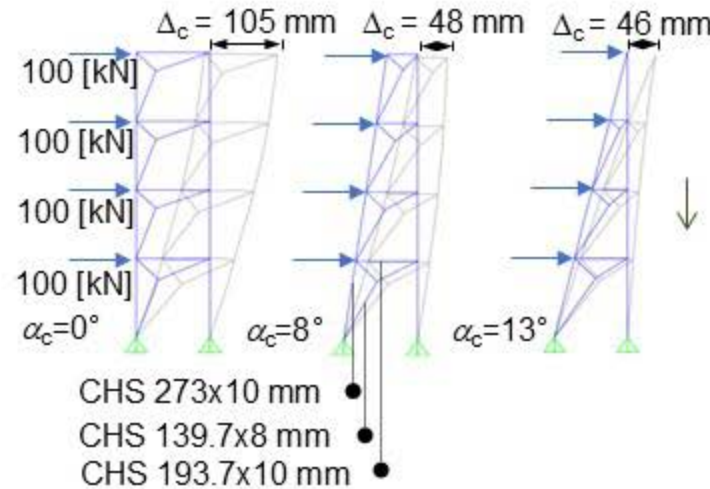
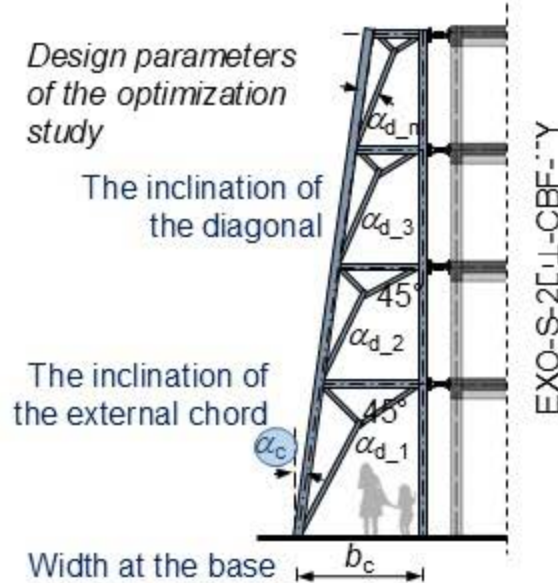
La configurazione X-CBF offre prestazioni migliori in termini di rigidezza e resistenza rispetto alle configurazioni ad Y a parità di costo. Tuttavia, questi ultimi sistemi offrono una maggiore accessibilità.



Metodologia di progetto

Step 3

In alternativa, le pareti con configurazione a Y rastremata presentano un **buon compromesso tra performance strutturali e di accessibilità laterale**.

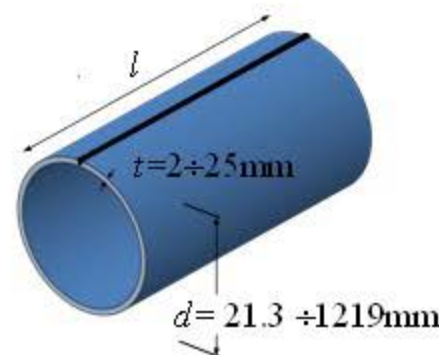
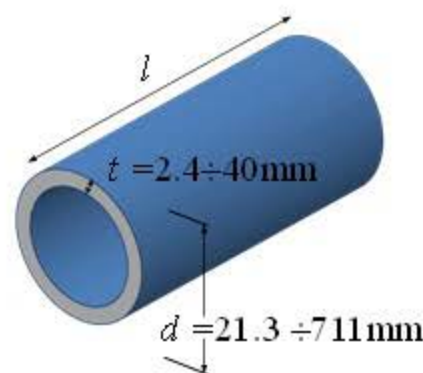
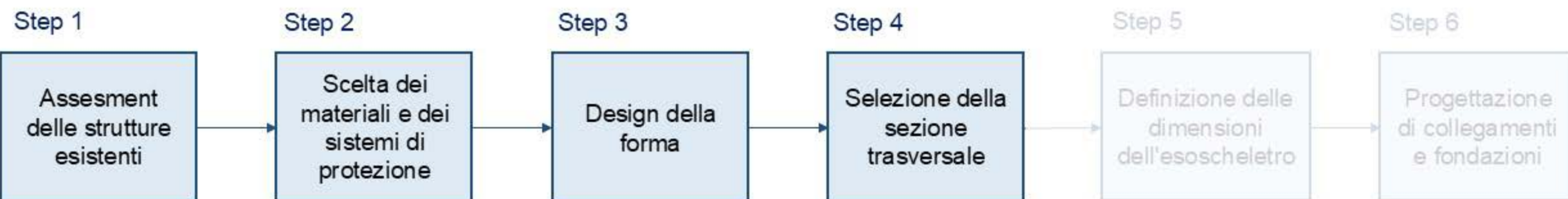


Ref: Di Lorenzo G., Tartaglia R., Prota A., **Landolfo R.** Design procedure for orthogonal steel exoskeleton structures for seismic strengthening (2023) Engineering Structures

Metodologia di progetto

Step 4

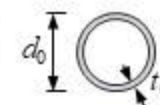
Il dimensionamento degli elementi in acciaio dipende dalle prerogative progettuali. Tuttavia, è possibile definire sezioni di primo tentativo basate sulle relazioni geometriche locali (rapporti di forma).



$$\begin{aligned} r_{dl_c} &= \frac{d_0}{l_c} \in \left[\frac{1}{25} \quad \frac{1}{10} \right] \\ r_{dl_d} &= \frac{d_0}{l_d} \in \left[\frac{1}{50} \quad \frac{1}{20} \right] \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} r_{dl_c} &= \frac{d_0}{l_c} \in \left[\frac{1}{25} \quad \frac{1}{10} \right] \\ r_{dl_d} &= \frac{d_0}{l_d} \in \left[\frac{1}{50} \quad \frac{1}{20} \right] \right\} \text{Rapporti di forma globali}$$



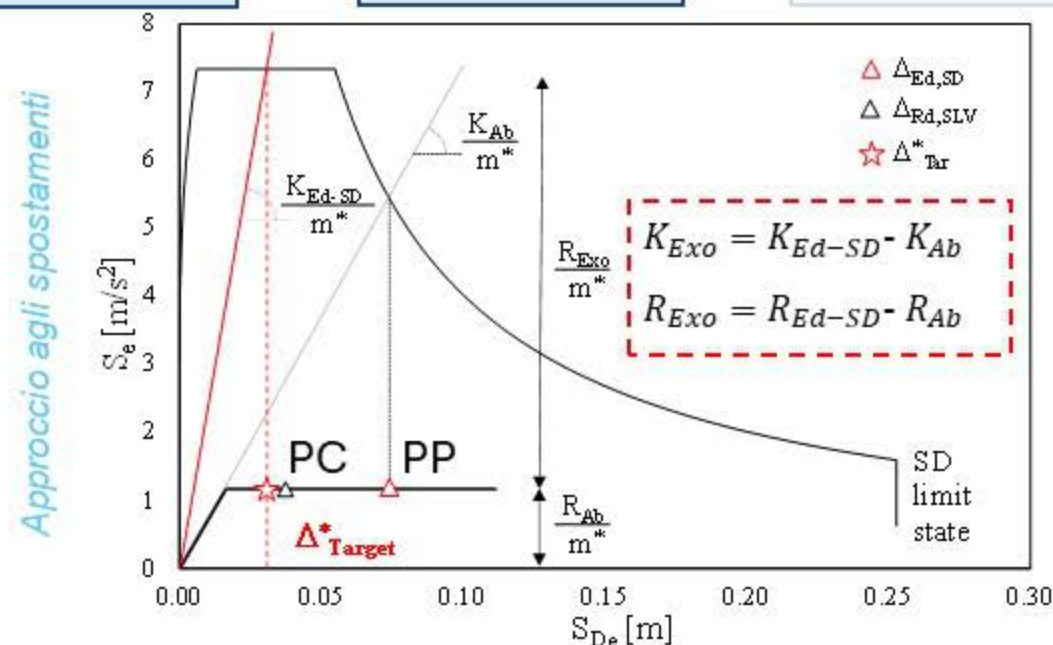
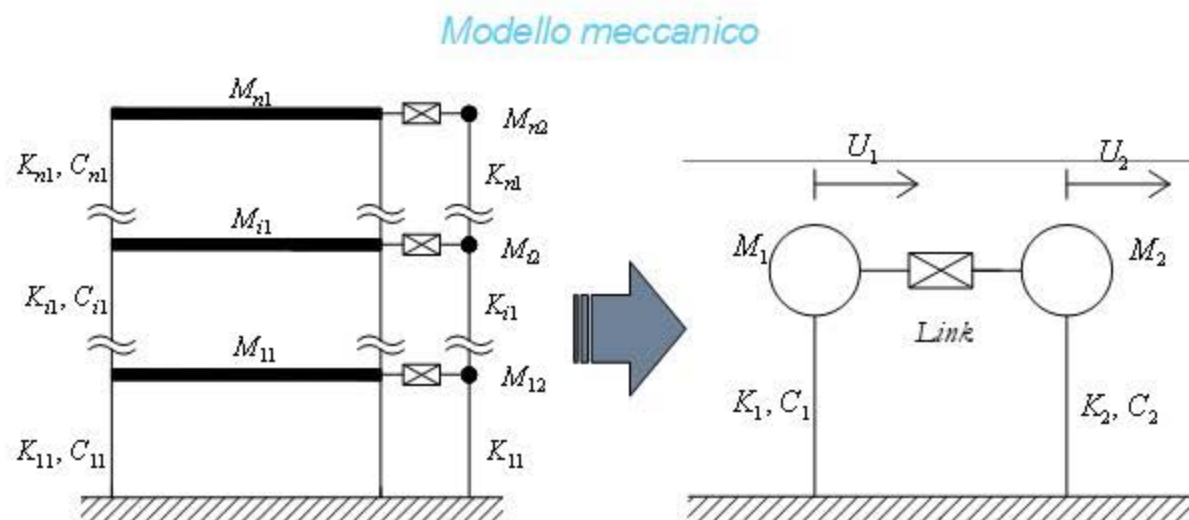
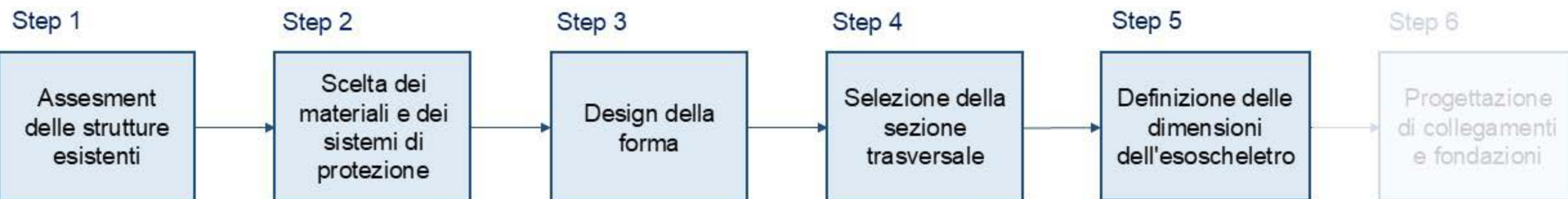
$$r_{td} = \frac{t_0}{d_0} \in \left[\frac{1}{50} \quad \frac{1}{30} \right] \quad \left. \vphantom{r_{td} = \frac{t_0}{d_0} \in \left[\frac{1}{50} \quad \frac{1}{30} \right]} \right\} \text{Rapporti di forma locali}$$



Metodologia di progetto

Step 5

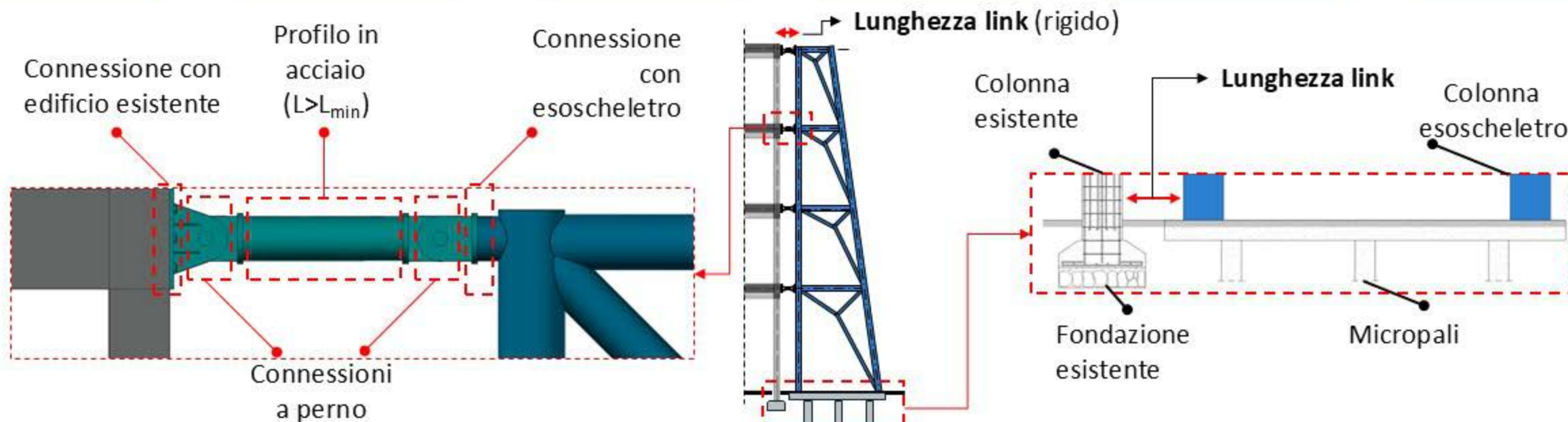
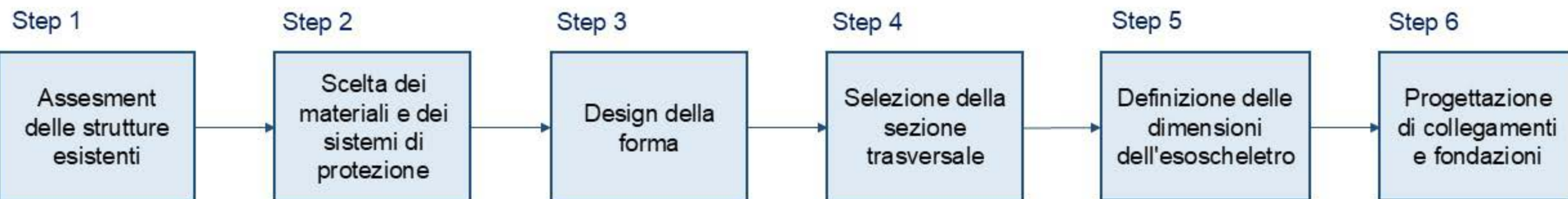
Per dimensionare il sistema è possibile adottare una procedura di progettazione iterativa basata su un approccio agli spostamenti.



Metodologia di progetto

Step 6

Nel caso specifico degli esoscheletri ortogonali, il dispositivo di connessione è progettato per trasferire una forza assiale, comprese le cerniere all'estremità per evitare qualsiasi flessione parassita.

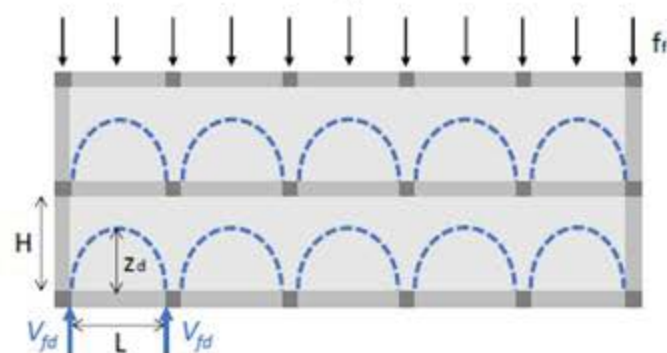


Metodologia di progetto

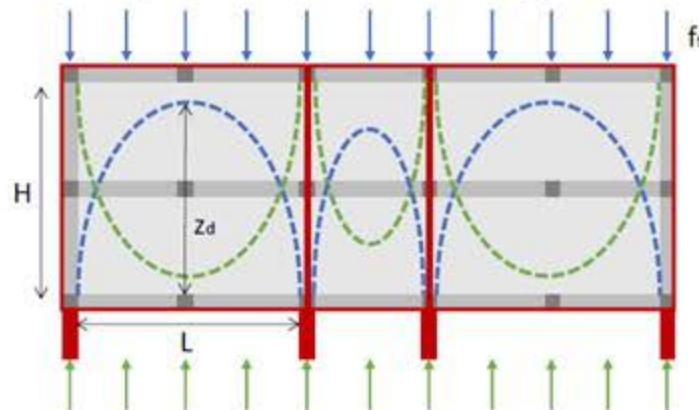
Osservazioni per gli impalcati

Riferimento: A. Marini, A. Belleri, C. Passoni, F. Feroldi, E. Giuriani. In-plane capacity of existing post-WWII beam-and-clay block floor systems. Bulletin of Earthquake Engineering.
<https://doi.org/10.1007/s10518-021-01301-y>

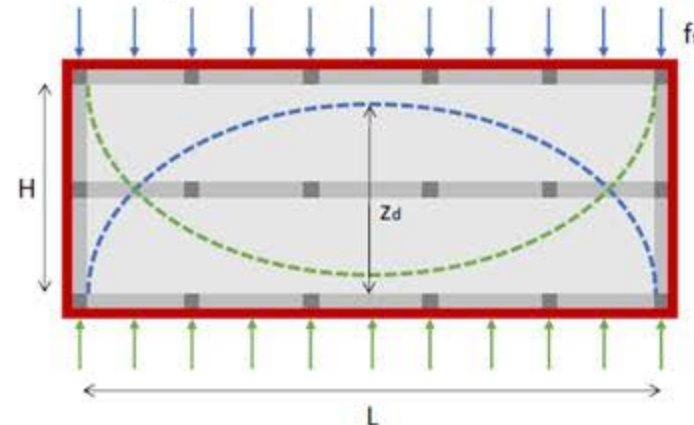
Ante-operam



Rinforzo con EXO-2D ortogonali



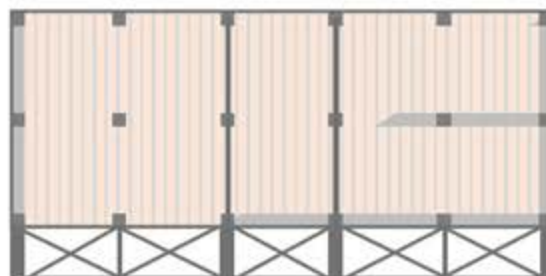
Rinforzo con EXO-2D paralleli



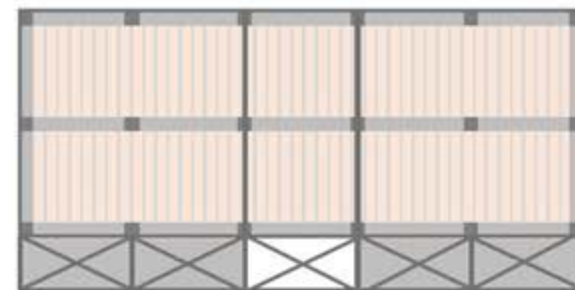
Possibili interventi di rinforzo



**Rinforzo "interno" al di sotto
del solaio esistente**



Rinforzo "esterno"

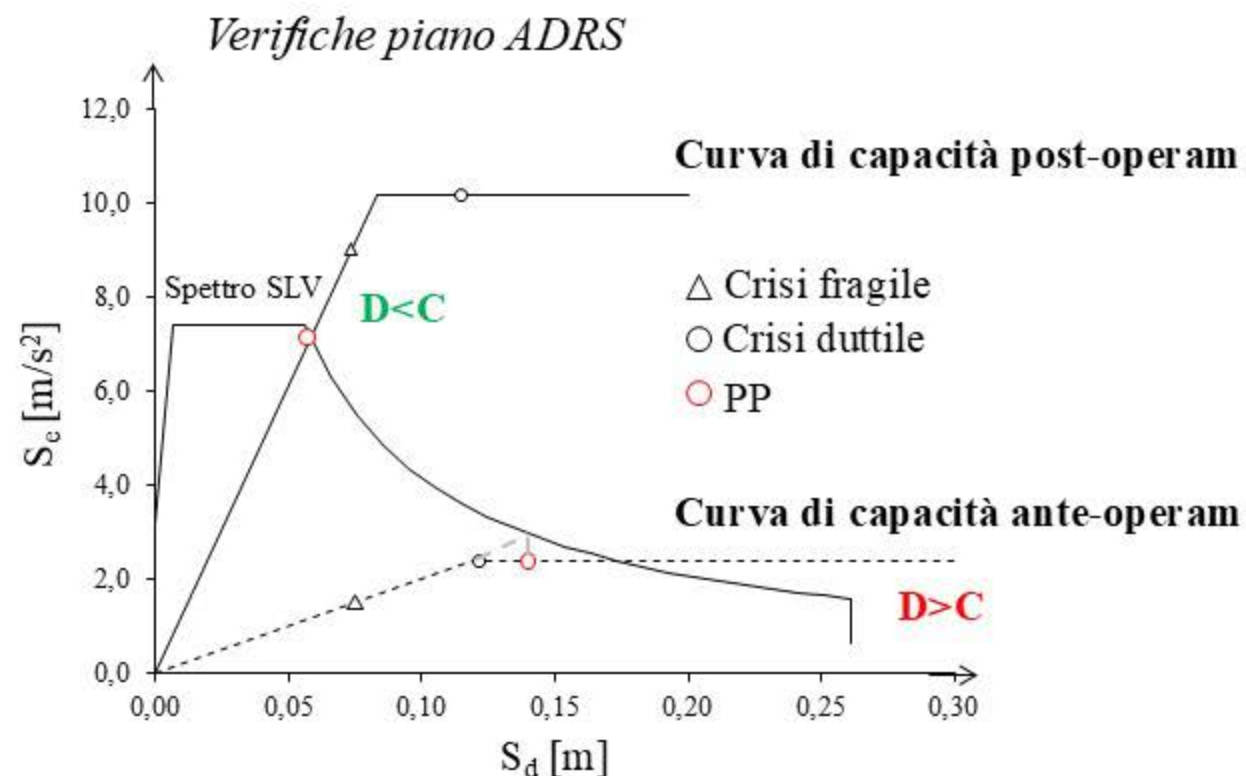


**Rinforzo "esterno" con
realizzazione balconi**

Metodologia di progetto

Check sicurezza struttura post-intervento

Modello numerico:
struttura esistente + Esoscheltro



Contenuti

- Introduzione
- Esoscheletri: classificazione e prerogative
- Metodologia di progetto
- **Studi e ricerche**
- Conclusioni

Studi e ricerche

Prodotti del WP5 – Volume di sintesi



d

3. Temi emergenti dall'applicazione ai casi studio

37

3.3. Esoscheletri in acciaio

Raffaele Landolfo

Gli edifici esistenti, realizzati prima degli anni '80, costituiscono una parte rilevante del patrimonio edilizio esistente, soprattutto in ambito europeo [96-98]. Questi edifici, avendo superato ampiamente la loro vita di servizio, sono caratterizzati da una elevata vulnerabilità connessa alla durabilità dei materiali a cui si aggiungono, nelle aree interessate dai terremoti, carenze derivanti dall'assenza di dettami sismici. Molteplici sono oggi le strategie e le tecniche di intervento che è possibile adottare per il miglioramento e l'adeguamento sismico delle costruzioni esistenti [39, 99].

Analizzando le carenze strutturali presenti nell'organismo ed i livelli di prestazioni attesi, le strategie di intervento possono essere mirate a incrementare la capacità (C) e/o a ridurre la domanda (D). Tali interventi possono essere implementati a livello globale e/o locale, facendo ricorso a diversi sistemi e tecnologie per il miglioramento e l'adeguamento sismico delle costruzioni esistenti.

Gli interventi globali prevedono l'aggiunta di sistemi sismoresistenti che possono essere applicati internamente e/o esternamente alla costruzione esistente. Nel caso in cui le aggiunte siano eseguite dall'interno si parla di endoscheletri, diversamente di esoscheletri. In entrambi i casi è possibile ottenere un forte aumento di rigidità e resistenza laterale, e se opportunamente progettato, tale intervento, consente di adeguare sismicamente manufatti esistenti caratterizzati da bassi livelli di sicurezza. Gli endoscheletri sono utilizzati qualora non si possa agire dall'esterno per ragioni di natura fisica/geometrica (ad es. edifici in aggregato), urbanistica (ad es. limitazioni su distanze e volumi), ed architettonica (ad es. edifici vincolati).

Gli esoscheletri possono essere definiti come sistemi esterni applicati in modo diffuso sul perimetro della struttura esistente e dotati di fondazioni proprie. Gli esoscheletri, essendo posizionati esternamente al manufatto da proteggere, hanno il loro punto di forza nella possibilità di evitare l'interruzione/utilizzo della costruzione esistente. Questo tipo di vantaggio è particolarmente rilevante in edifici strategici, ad uso residenziale e commerciale/industriale, per i quali l'in-

Download gratuito!



<https://www.reluis.it/>



Studi e ricerche

Progetto DPC-ReLUI5 WP5

Tematiche trattate

-Disamina e analisi critica di interventi

UR: UniBG
Responsabile: A. Marini

-Definizione metodologia di progetto

UR: UniNA
Responsabile: R. Landolfo

-Proposte di intervento strutturale su edifici esistenti in c.a.

UR: UniNA, Polito, UniBS
Responsabili: E. Nigro, G. Della Corte, G.A. Ferro, G. Metelli.

-Proposte di intervento strutturale su edifici esistenti in acciaio

UR: UniNA
Responsabile: R. Landolfo



Tipologie strutturali

Edifici esistenti multipiano in c.a.

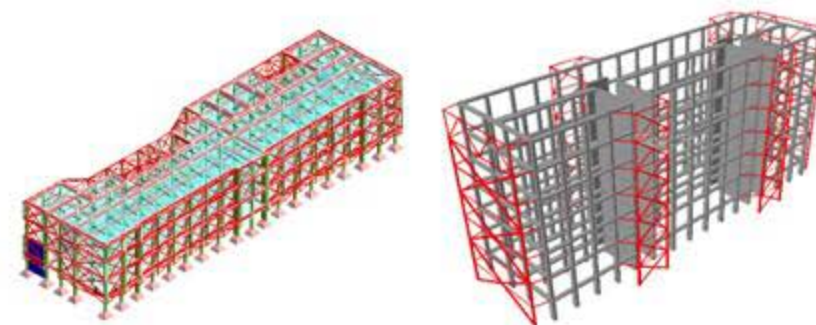


Edifici esistenti monopiano e multipiano in acciaio

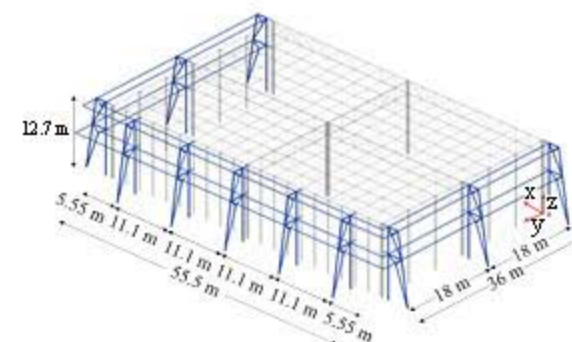


Tipologia esoscheletri in acciaio

Interventi con esoscheletri in acciaio paralleli non dissipativi

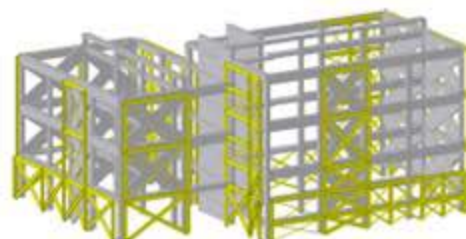


Interventi con esoscheletri in acciaio ortogonali non dissipativi

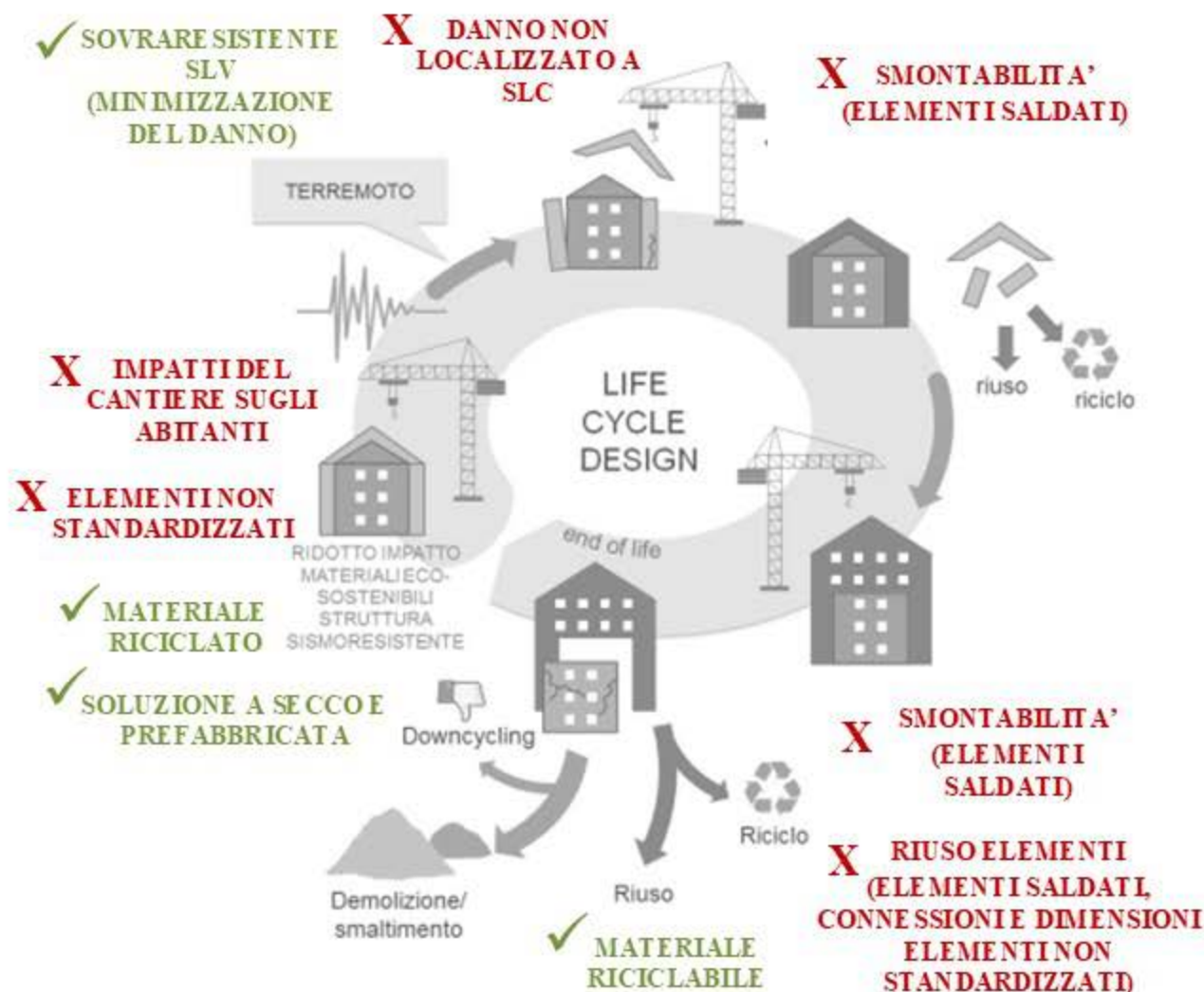


Studi e ricerche

Analisi critica di interventi di rinforzo mediante esoscheletri recentemente eseguiti



CASO RELUIS C.A.
«Edificio Toscolano»
(realizzato)



Studi e ricerche

Applicazioni a casi studio reali

Nell'ambito del progetto DPC-ReLuis WP5, sono stati sviluppati diversi casi studio per cui sono state sviluppate proposte di retrofit mediante esoscheletri in acciaio, con l'obiettivo di colmare il deficit di esperienza applicativa.

Caso studio

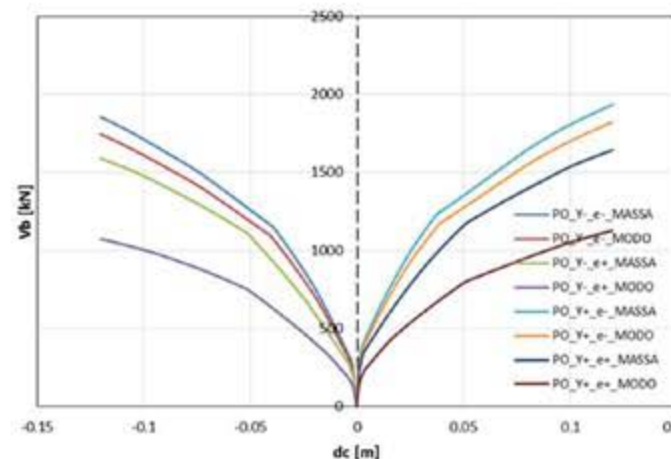
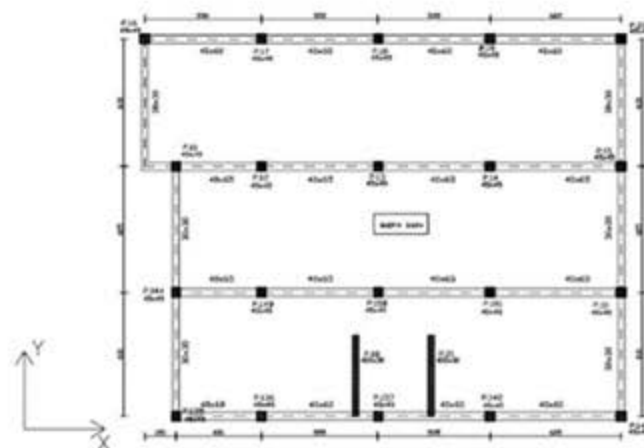
Edificio scolastico
in c.a.

Località

Loro Piceno (MC)

Periodo

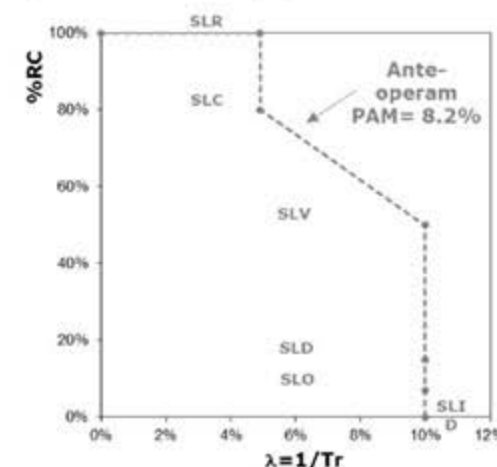
Anno di
costruzione:
Anni '60



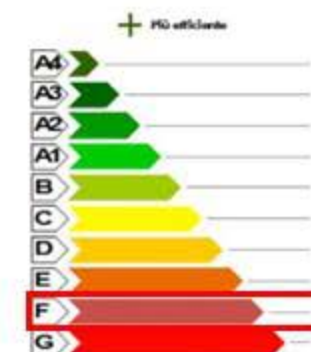
CLASSE DI RISCHIO SISMICO

IS-V = 14% → CLASSE F

PAM = 8.2% → CLASSE G



CLASSE ENERGETICA



Studi e ricerche

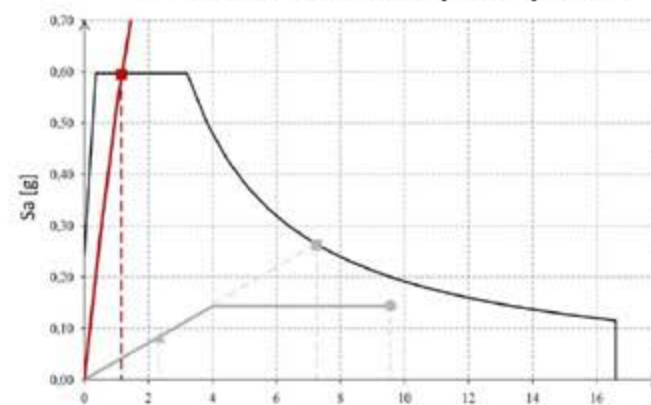
Applicazioni a casi studio reali

Retrofit strutturale **sismico** ed **energetico** mediante **EXO-2D-//**

Applicazione
metodologia
di progetto



Verifiche di sicurezza post-operam



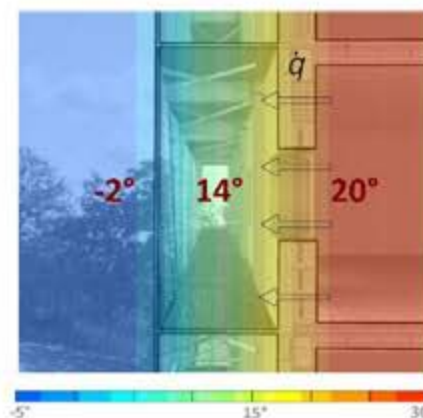
CLASSE DI RISCHIO SISMICO

IS-V = 100% → CLASSE A+

PAM = 0.48% → CLASSE A+



Retrofit energetico mediante sistema **Double Skin**



CLASSE ENERGETICA



Studi e ricerche

Applicazioni a casi studio reali

Valutazione della sicurezza ante-operam

Caso studio

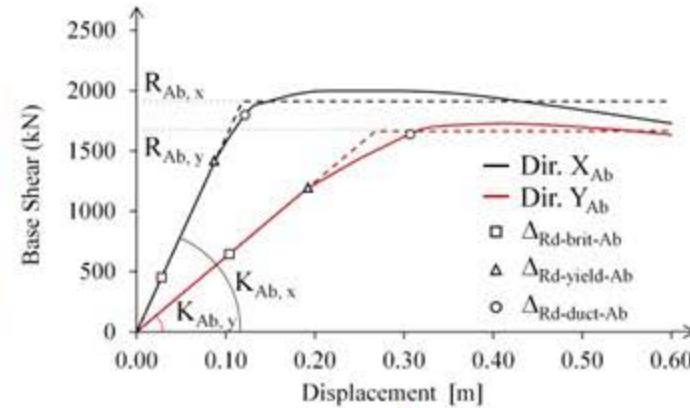
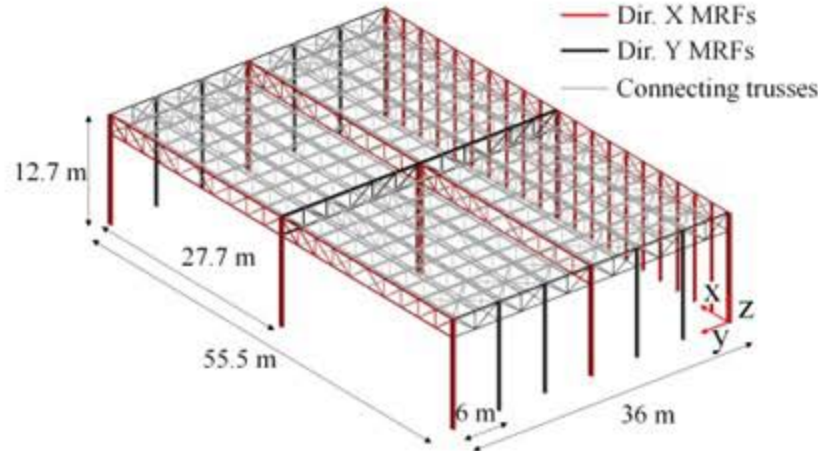
Edificio industriale
monopiano in
acciaio

Località

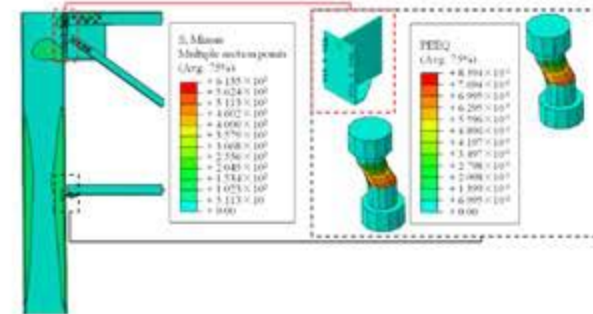
Nusco (AV)

Periodo

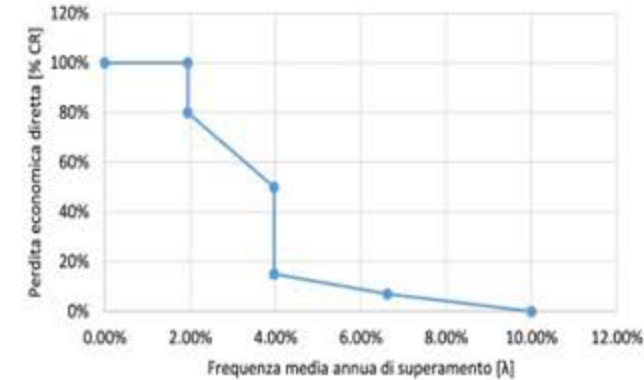
Anno di
costruzione:
Fine anni '80



Carenze globale e locali (crisi fragili)



PAM-Ante operam



CLASSE DI RISCHIO SISMICO

IS-V = 20% → CLASSE E

PAM = 4.1% → CLASSE E

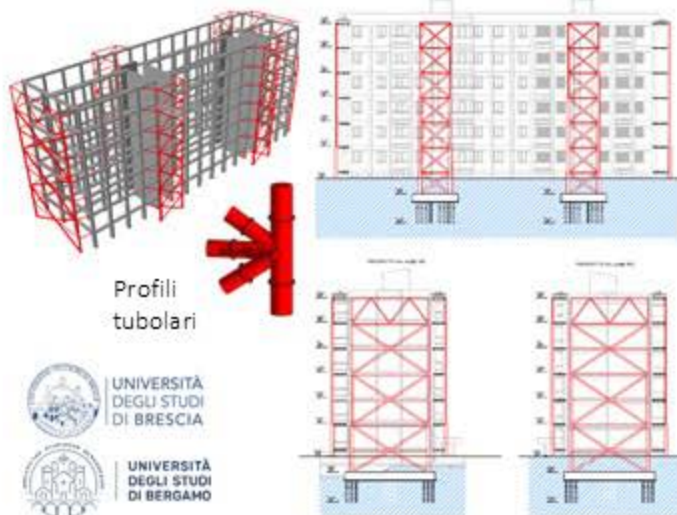


+7 classi

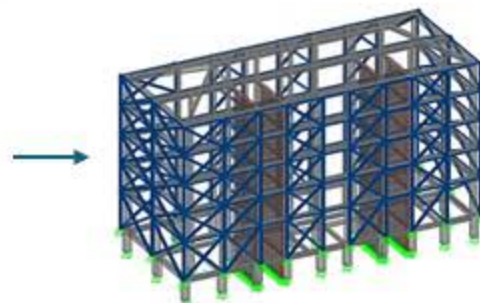
Studi e ricerche

Applicazioni a casi studio reali

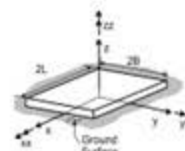
Edificio residenziale in c.a. – Brescia (BS)



Edificio residenziale in c.a.

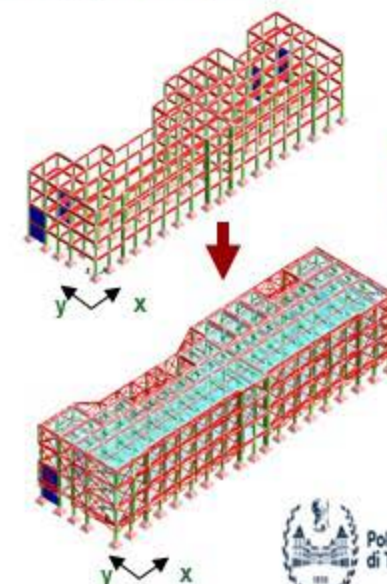


Focus interazione
suolo-struttura



SSI: Impedenze di Pais
& Kausel

Edificio scolastico in c.a. - Bordighera (IM)



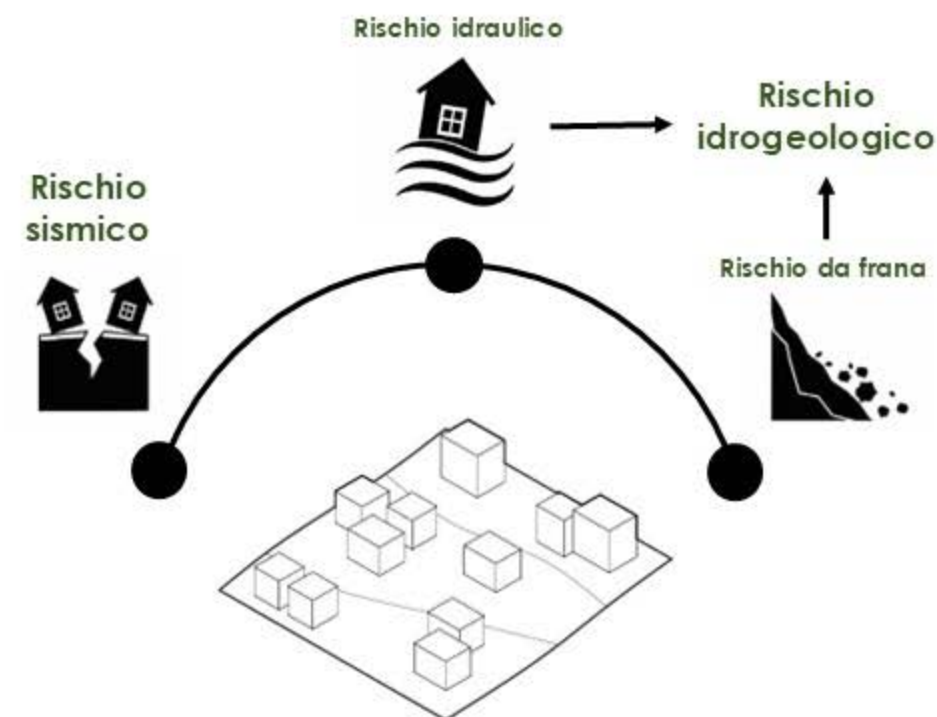
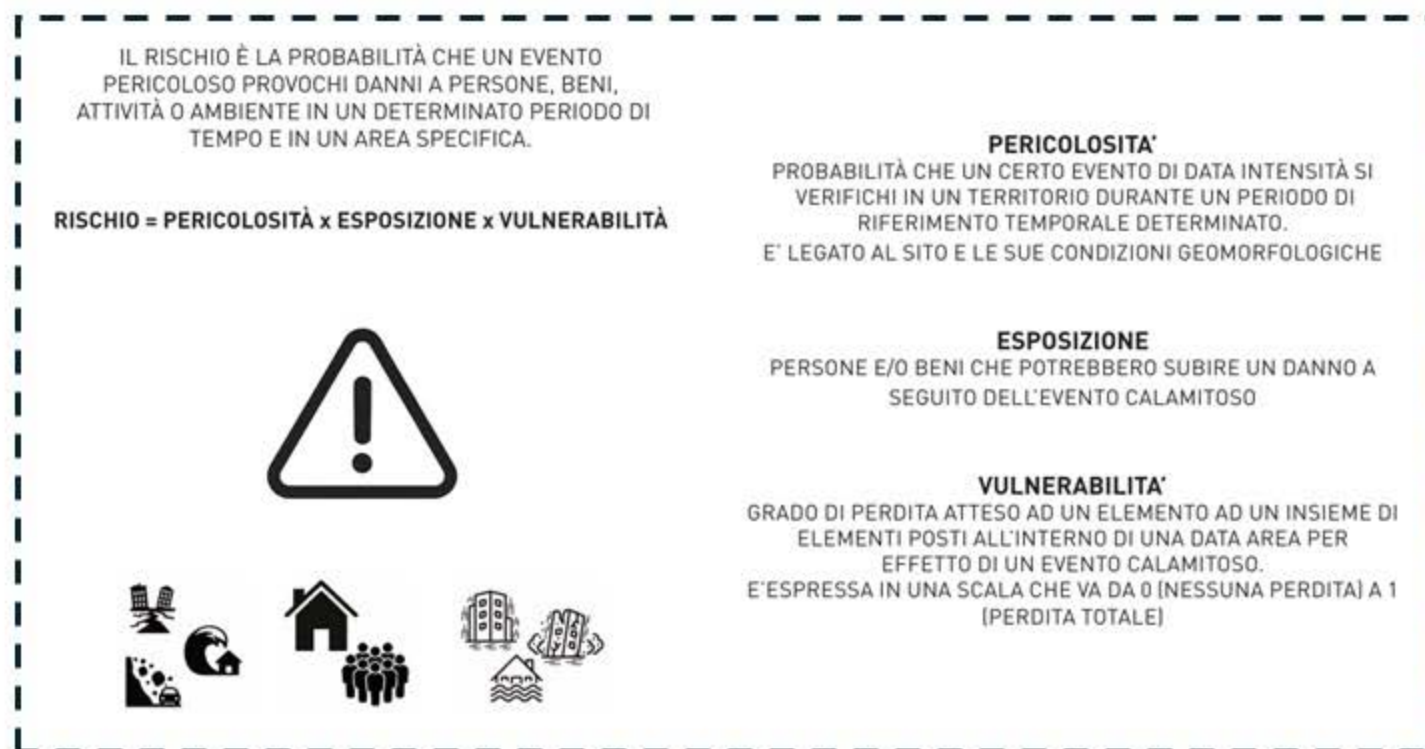
**Tutti i report sono
gratuitamente
consultabili!**



Attività in corso

Multirischio

Per **multirischio** si intende la condizione in cui due o più rischi naturali coesistono nello stesso territorio, interagendo tra loro e influenzando la pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, con effetti complessivi diversi (spesso maggiori) rispetto alla valutazione dei singoli rischi separatamente.



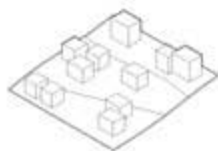
La gestione del Multirischio

Come si interviene sull' esistente?

La progettazione in aree esposte a più pericoli naturali richiede un **approccio integrato**, perché non tutti gli interventi che risultano efficaci nei confronti di un fenomeno si traducono automaticamente in un beneficio complessivo. È questo uno dei nodi centrali nella gestione del multirischio: un edificio può essere reso più sicuro rispetto all'inondazione, ma al prezzo di un aumento della vulnerabilità sismica, oppure viceversa. Ne deriva l'esigenza di valutare ogni scenario di retrofit non solo in relazione al singolo rischio specifico, ma alla prestazione complessiva dell'edificio.

RISCHIO IDROGEOLOGICO

CAPACITA' $\geq$ DOMANDA



INTERVENTO A Scala DI
QUARTIERE

INTERVENTI CHE MIRINO A
DIMINUIRE L'INCANALAMENTO
DI ACQUA/FANGO

CAPACITA' $\geq$ DOMANDA



INTERVENTO A Scala DEL
SINGOLO EDIFICIO

INTERVENTI LOCALI

RISCHIO SISMICO

CAPACITA' $\geq$ DOMANDA



INTERVENTO A Scala DEL
SINGOLO EDIFICIO

ADEGUAMENTO/
MIGLIORAMENTO
SISMICO

CAPACITA' $\geq$ DOMANDA



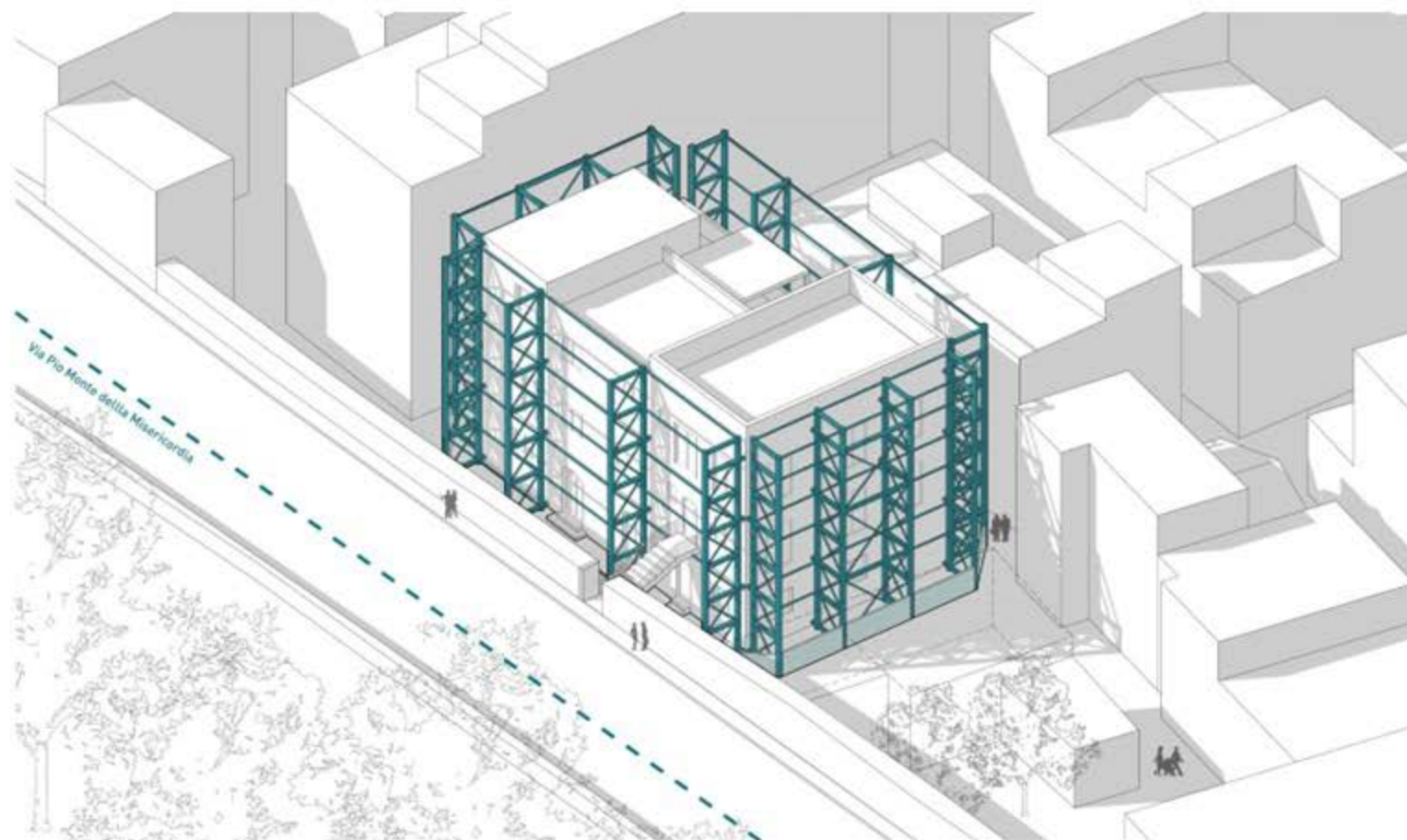
INTERVENTO A Scala DEL
SINGOLO EDIFICIO

AUMENTO DEL PERIODO DI
RIFERIMENTO; INCREMENTO
CAPACITÀ DISSIPATIVA

Attività in corso

Interventi di retrofit per scenari multi rischio

Proposta di intervento mediante esoscheletri in acciaio ortogonali



Studi e ricerche

Incidenza costi

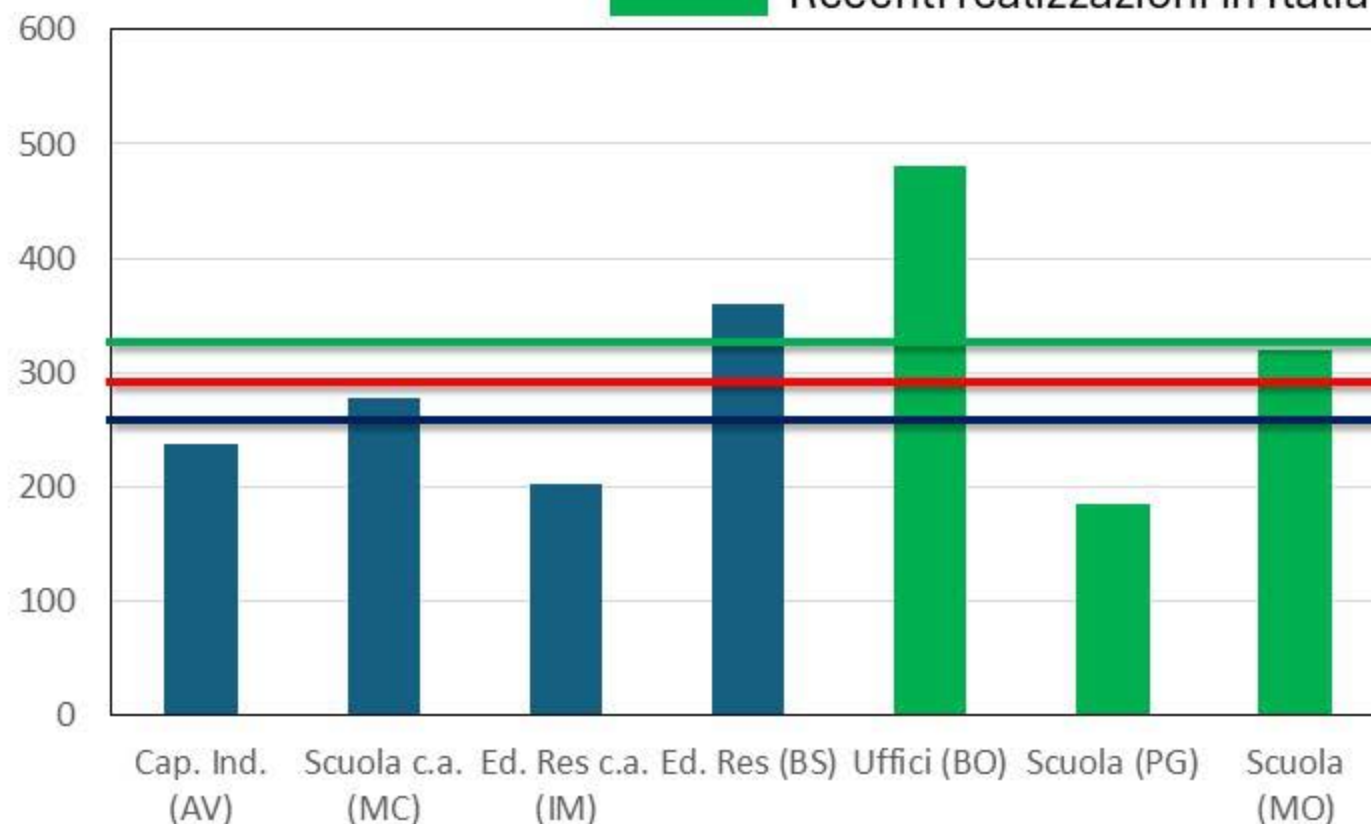


■ Casi studio ReLUIS
■ Recenti realizzazioni in Italia

Livelli di performance



Incidenza costi parte
strutturale a m²
[Euro/m²]



Conclusioni

- Il patrimonio edilizio esistente richiede **strategie integrate** di miglioramento **strutturale** ed **energetico**
- Gli **esoscheletri** esterni in acciaio rappresentano una **soluzione efficace e poco invasiva**, capace di coniugare sicurezza sismica e riqualificazione dell'involucro
- È stato proposto un **approccio metodologico** per la loro progettazione, utile a sistematizzare un ambito ancora in evoluzione
- I casi studio confermano la **fattibilità tecnica** e **l'efficacia dell'intervento**, richiamando l'importanza della sostenibilità economica per una più ampia applicazione
- Gli esoscheletri non sono solo un intervento di rinforzo, ma un'opportunità di trasformazione dell'edificio esistente in chiave **resiliente e sostenibile**

I

I

CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI



CNA
PPC
CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI
PAESAGGISTI
E CONSERVATORI

Fondazione
INARCASSA

indolfo/ 13 febbraio



CNA
PPC

CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI
PAESAGGISTI
E CONSERVATORI

OTTAVA EDIZIONE DELLA GIORNATA NAZIONALE DELLA PREVENZIONE SISMICA - EVENTI FORMATIVI SULLA PREVENZIONE SISMICA -

Grazie per l'attenzione

Prof. Ing. Raffaele Landolfo

Contatti:

landolfo@unina.it

<https://www.linkedin.com/in/raffaelelandolfo/>



Dipartimento Casa Italia
Presidenza del Consiglio dei Ministri

CON IL PATROCINIO DI:

ISI
Ingegneria Sismica Italiana



ENEA

Consiglio Superiore
dei Lavori Pubblici

