



**SOFT.LAB**  
SOFTWARE PER L'EDILIZIA

# MODELLAZIONE DI UNA STRUTTURA ESISTENTE IN CEMENTO ARMATO CON PROGETTO E VERIFICA DEGLI INTERVENTI DI RINFORZO

---

Ing. Davide Serpico

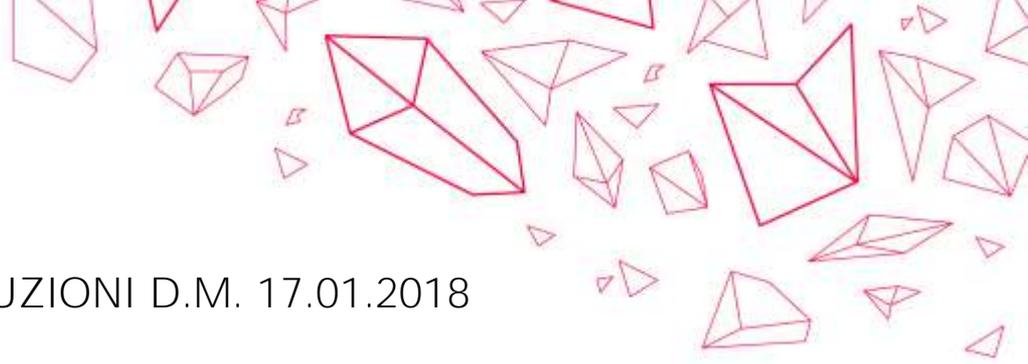
# Modellazione di una struttura esistente in c.a. destinata a civile abitazione, con progetto e verifica degli interventi di rinforzo

## INTRODUZIONE AGLI INTERVENTI DI ADEGUAMENTO SISMICO

- Elementi normativi;
- Concetti generali;
- Modello di riferimento per le analisi
- Interventi su strutture in cemento armato;

## CASO APPLICATIVO: MIGLIORAMENTO SISMICO DI UN EDIFICIO ESISTENTE IN C.A.

- **Descrizione dell'edificio**
- Modellazione dei dettagli strutturali con IperSpace BIM
- Analisi delle proprietà dinamiche
- Intervento di miglioramento sismico
- Definizione della classe sismica ante e post operam con SismoCheck



# NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI D.M. 17.01.2018

## Circolare 21 gennaio 2019

### **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



DEFINIZIONI

**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



IMPOSTAZIONI ANALISI

**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



METODO DI ANALISI E TIPI  
DI INTERVENTO

## RIFERIMENTI NORMATIVI

### 8.4.1. RIPARAZIONE O INTERVENTO LOCALE

Gli interventi di questo tipo riguarderanno singole parti e/o elementi della struttura. Essi non debbono cambiare significativamente il comportamento globale della costruzione e sono volti a conseguire una o più delle seguenti finalità:

- ripristinare, rispetto alla configurazione precedente al danno, le caratteristiche iniziali di elementi o parti danneggiate;
- migliorare le caratteristiche di resistenza e/o di duttilità di elementi o parti, anche non danneggiati;
- impedire meccanismi di collasso locale;
- modificare un elemento o una porzione limitata della struttura.

$IR_{post\ intervento} > IR_{stato\ di\ fatto}$

Il progetto  
ze struttu  
vengano  
non comp

### 8.4.2. INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO

La valutazione della sicurezza e il progetto di intervento dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.

Per la combinazione sismica delle azioni, il valore di  $\zeta_E$  può essere minore dell'unità. A meno di specifiche situazioni relative ai beni culturali

### 8.4.3. INTERVENTO DI ADEGUAMENTO

L'intervento di adeguamento della costruzione è obbligatorio quando si intenda:

- di  $\zeta_E$ , sempre
- Nel caso di i  
almeno  $\zeta_E = 1$ .
- a) sopraelevare la costruzione;
  - b) ampliare la costruzione mediante opere ad essa strutturalmente connesse e tali da alterarne significativamente la risposta;
  - c) apportare variazioni di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali verticali in fondazione superiori al 10%, valutati secondo la combinazione caratteristica di cui alla equazione 2.5.2 del § 2.5.3, includendo i soli carichi gravitazionali. Resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione;
  - d) effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un sistema strutturale diverso dal precedente; nel caso degli edifici, effettuare interventi strutturali che trasformano il sistema strutturale mediante l'impiego di nuovi elementi verticali portanti su cui grava almeno il 50% dei carichi gravitazionali complessivi riferiti ai singoli piani;
  - e) apportare modifiche di classe d'uso che conducano a costruzioni di classe III ad uso scolastico o di classe IV.

In ogni caso, il progetto dovrà essere riferito all'intera costruzione e dovrà riportare le verifiche dell'intera struttura post-intervento, secondo le indicazioni del presente capitolo.

Nei casi a), b) e d), per la verifica della struttura, si deve avere  $\zeta_E \geq 1,0$ . Nei casi c) ed e) si può assumere  $\zeta_E \geq 0,80$ .

$IR_{post\ intervento} \geq 1$

## IMPOSTAZIONE DEL MODELLO PER LE ANALISI

### ➤ Analisi storico critica

Ricostruire il processo di realizzazione e le successive modificazioni subite nel tempo dalla costruzione;

### ➤ Rilievo

Il rilievo geometrico-strutturale dovrà essere riferito alla geometria complessiva, sia della costruzione, sia degli elementi costruttivi comprendendo i rapporti con le strutture in aderenza; Il rilievo deve individuare l'organismo resistente della costruzione, tenendo anche presenti qualità e stato di conservazione.

### ➤ Caratterizzazione meccanica dei materiali

Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, ci si baserà sulla documentazione già disponibile.

**Tabella C8.5.IV** – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza, per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio

Livello di conoscenza	Geometrie (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC (*)
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione; in alternativa rilievo completo ex-novo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>indagini limitate</i> in situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>prove limitate</i> in situ	Analisi lineare statica o dinamica	1,35
LC2		Elaborati progettuali incompleti con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini estese</i> in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali, con <i>prove limitate</i> in situ; in alternativa da <i>prove estese</i> in situ	Tutti	1,20
LC3		Elaborati progettuali completi con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini esaustive</i> in situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto, con <i>prove estese</i> in situ; in alternativa da <i>prove esaustive</i> in situ	Tutti	1,00

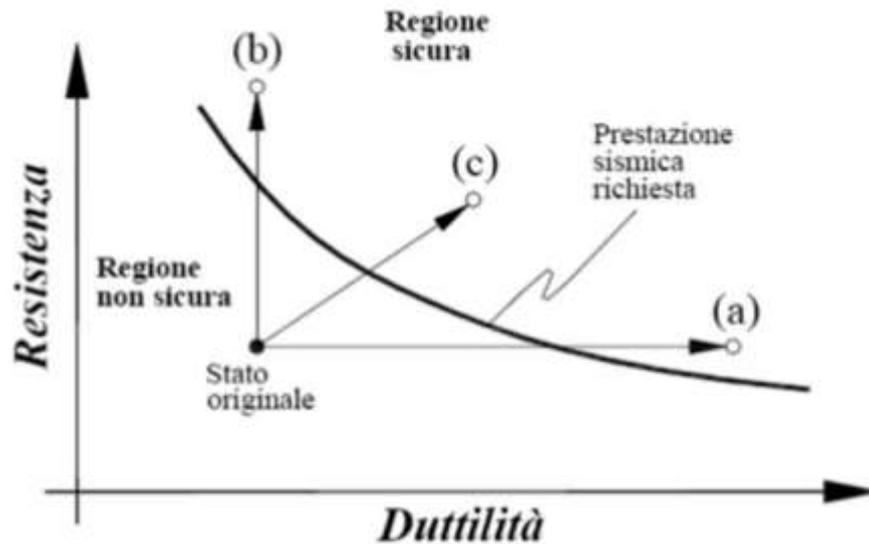
### ➤ Livelli di conoscenza

Ai fini della scelta del tipo di conoscenza: LC1, LC2,

### ➤ Valutazione delle

## SCelta DELL'INTERVENTO

Resistenza inelastica – Duttività capace



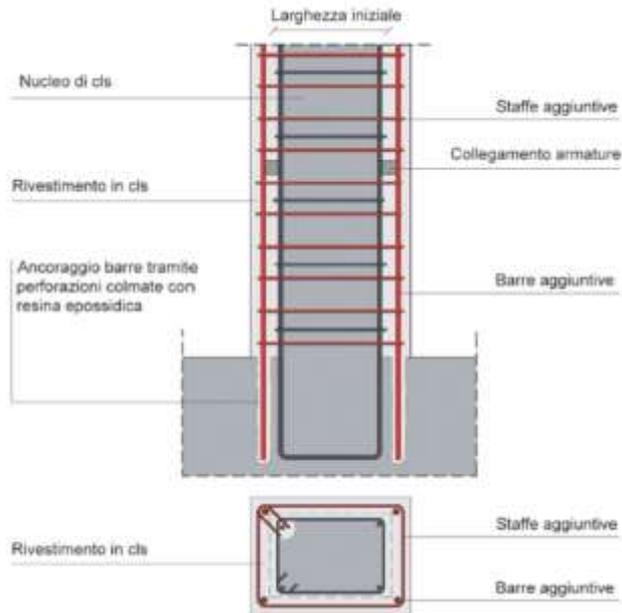
Modalità di incremento della capacità sismica di una struttura esistente (Sugano 1996)

- L'edificio esistente è rappresentato in funzione di soli due parametri;
- La curva rappresenta la condizione di stato limite in cui capacità e domanda si eguagliano;
- L'obiettivo è avvicinare il punto alla curva e in base a come si sposta possiamo parlare di interventi di adeguamento o miglioramento sismico.

## TIPI DI INTERVENTO

TECNICA	EFFETTI LOCALI	EFFETTI GLOBALI	COSTO	DISTURBO
CAMICIE in C.A.	Incremento di rigidezza e resistenza ed eventualmente duttilità	Modifica la risposta sismica. Se applicate a pilastri sposta la richiesta plastica verso le travi	Basso per elemento	Medio
CAMICIE in ACCIAIO	Incremento di duttilità e resistenza a taglio. Incrementa la rigidezza in caso di forte azione composita	Incremento della capacità deformativa globale	Medio	Basso
FASCIATURA PARZIALE IN FRP	Sensibile incremento di duttilità.	Incremento di capacità deformativa	Alto	Basso
FASCIATURA COMPLETA FRP	Notevole incremento di duttilità e resistenza a taglio, piccolo incremento di rigidezza.	Distribuzione delle rigidezze invariata, sensibili effetti sulla distribuzione delle resistenze	Alto	Basso
PARETI IN C.A.	Incremento delle sollecitazioni nelle immediate vicinanze	Riduzione della domanda di deformazione in tutti gli altri elementi	Medio	Alto
CONTROVENTI IN ACCIAIO	Protezione nei confronti del collasso di elementi fragili in c.a.	Incremento di duttilità globale a capacità dissipativa	Medio alto	Medio basso

## INCAMICIATURA IN C.A.



$$\tilde{V}_R = 0.9V_R$$

- capacità in termini di resistenza a flessione:

$$\tilde{M}_y = 0.9M_y$$

- capacità in termini di deformabilità allo snervamento:

$$\tilde{\theta}_y = 0.9\theta_y$$

- capacità in termini di deformabilità ultima:

$$\tilde{\theta}_u = \theta_u$$

### Efficacia dell'intervento:

- Aumento della capacità portante verticale;
- Aumento della resistenza a flessione e taglio;
- Aumento della capacità deformativa.

- Comporta un incremento in termini di resistenza e rigidezza;
- Può essere applicata sia per danneggiamenti che come tecnica di rinforzo;
- Intervento efficace nel contrastare la rottura per schiacciamento di elementi sottoposti a sollecitazioni di compressione o pressoflessione

[C8.7.4.1]

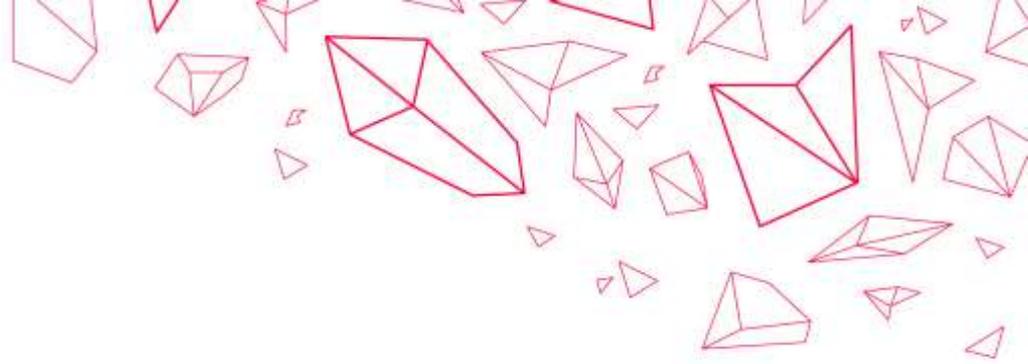
### Resistenze dell'acciaio delle strutture esistenti:

- la resistenza è ottenuta come media tra le prove eseguite in sito, divisa per FC in relazione al Livello di Conoscenza
- In termini di resistenza a flessione da usare per la sollecitazione di taglio agente su elementi fragili, la resistenza è ottenuta come media tra le prove eseguite in sito moltiplicata per FC

[C8.7.4.2]

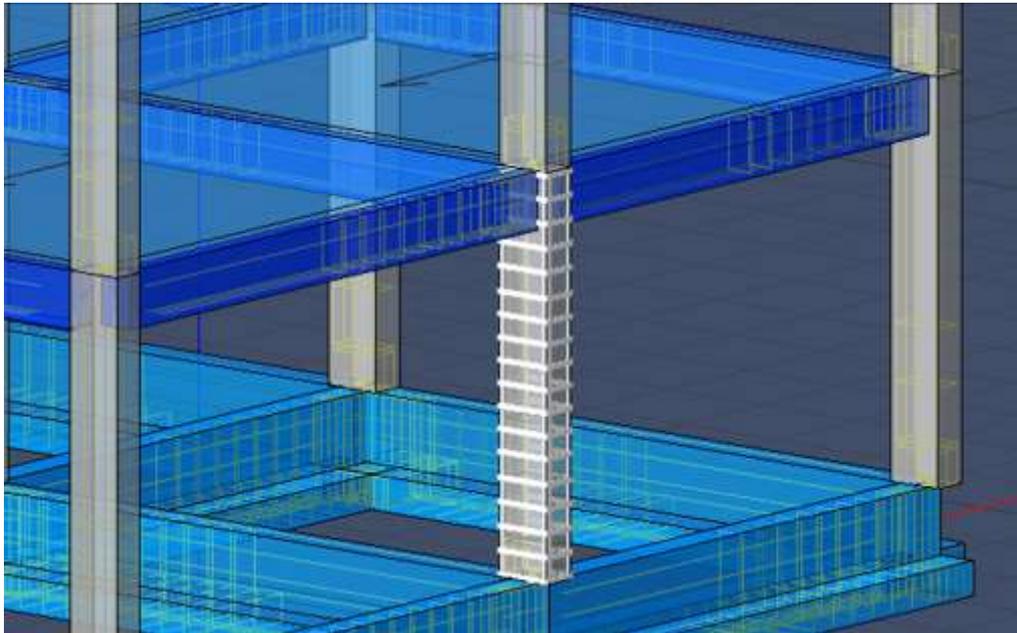
[C8.7.4.3]

[C8.7.4.4]



## INCAMICIATURA IN ACCIAIO

Le camice in acciaio rappresentano una delle tecniche tradizionali maggiormente utilizzate, costituite da quattro profili angolari sui quali sono saldate delle piastre in acciaio, nel caso di rinforzo continuo, oppure della bande poste ad un interasse adeguato;



### **Efficacia dell'intervento:**

- Aumento della capacità di resistenza a taglio;
- Aumento della capacità deformativa;
- Aumento di duttilità (confinamento).

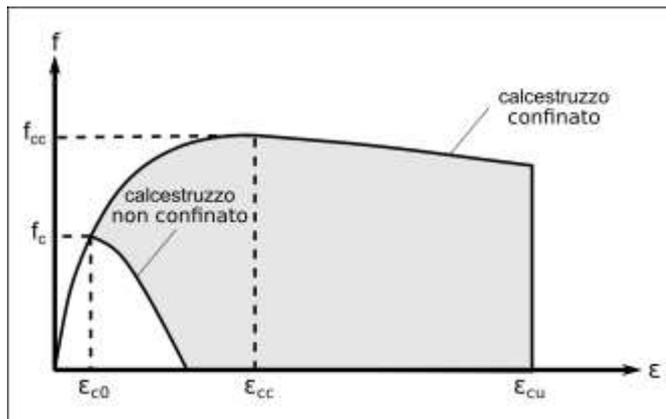
## INCAMICIATURA IN ACCIAIO: ANGOLARI E CALASTRELLI

- Aumento della resistenza a taglio: Il contributo può essere considerato aggiuntivo alla resistenza preesistente purché la camicia rimanga interamente in campo elastico. Tale condizione è necessaria affinché essa limiti l'ampiezza delle fessure dell'elemento preesistente. La tensione nella camicia è limitata al 50% del valore di snervamento:

$$V_j = 0.5 \frac{2t_j}{s} b f_{yw} 0.9d \cot \theta \quad [\text{C8.7.4.5}]$$

$d$ ,  $t_j$ ,  $b$  e  $s$  sono rispettivamente l'altezza utile della sezione trasversale dell'elemento, lo spessore, la larghezza e interasse delle bande.

- Azione di confinamento:



Legame tensione-deformazione cls confinato

Si valuta, come per le staffe, con riferimento alla percentuale geometrica di armatura presente in ciascuna delle direzioni trasversali

$$f_{cc} = f_c \left[ 1 + 3,7 \left( \frac{0,5 \alpha_n \alpha_s \rho_s f_y}{f_c} \right)^{0,86} \right] \quad [\text{C8.7.4.6}]$$

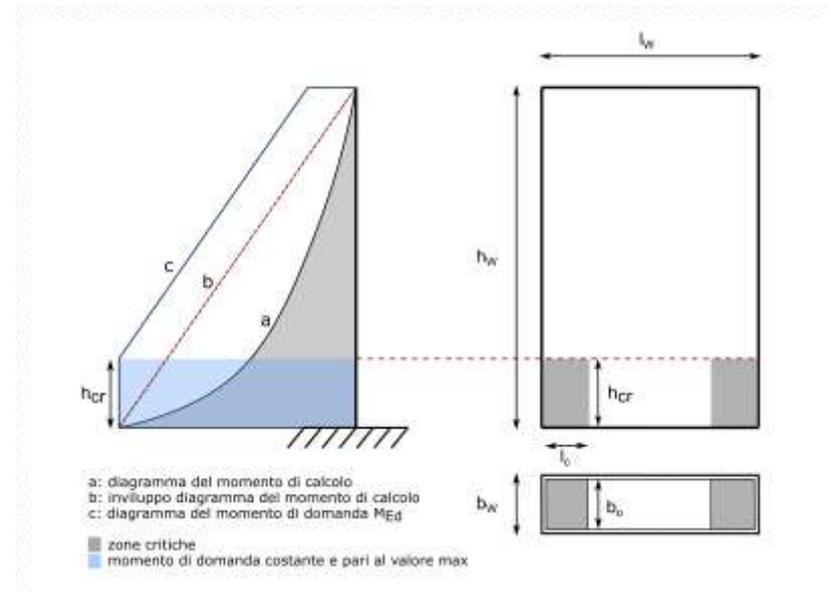
$$\rho_s = 2 A_s (b+h) / (b h s)$$

$$\varepsilon_{cu} = 0,0035 + 0,5 \frac{0,5 \alpha_n \alpha_s \rho_s f_y}{f_{cc}} \quad [\text{C8.7.4.8}]$$

## PARETI IN C.A.

### Efficacia dell'intervento:

- Effetti globali: Riduzione della domanda di deformazione in tutti gli altri elementi
- Effetti locali: Incremento delle sollecitazioni nelle immediate vicinanze



- La presenza di pareti riduce il periodo e quindi si incrementano le accelerazioni, non sempre tale intervento risulta benefico per le strutture esistenti.

## FASCIATURA COMPLETA CON FRP



### Fiber Reinforced Polymers

Proprietà:

- Anisotropia
- Alta resistenza
- Elasticità fino a rottura

Riferimenti normativi:

- REV 2013 – CNR-DT 200 R1/2013
- Fib Bulletin n° 90 (2019)

### C8.7.4.2.3 Placcatura e fasciatura in materiali compositi

L'uso di idonei materiali compositi (o altri materiali resistenti a trazione) nel rinforzo sismico di elementi di c.a. è finalizzato a conseguire i seguenti obiettivi:

#### **Efficacia dell'intervento:**

- aumento della resistenza a taglio di pilastri, travi, nodi trave-pilastro e pareti mediante applicazione di fasce con le fibre disposte secondo la direzione delle staffe;
- aumento della resistenza nelle parti terminali di travi e pilastri mediante applicazione di fasce con le fibre disposte secondo la direzione delle barre longitudinali ed opportunamente ancorate, purché si garantisca l'efficacia dell'ancoraggio nel tempo
- un aumento della duttilità degli elementi monodimensionali, per effetto dell'azione di confinamento passivo esercitata dalle fasce con le fibre disposte secondo la direzione delle staffe.

Ai fini delle verifiche di sicurezza degli elementi rafforzati con materiali compositi si possono adottare documenti di comprovata validità.

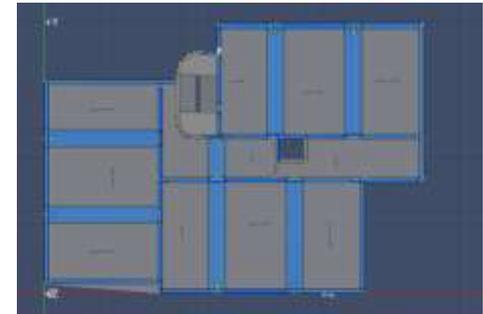


## RIEPILOGO

Modellazione di una struttura esistente in c.a. destinata a civile abitazione, con progetto e verifica degli interventi di rinforzo

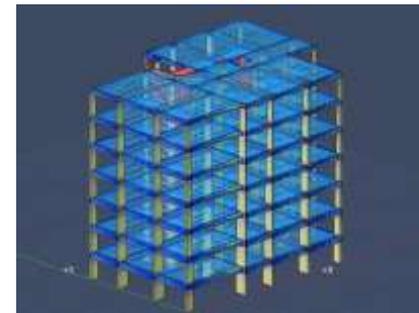
## INTRODUZIONE AGLI INTERVENTI DI ADEGUAMENTO SISMICO

- Elementi normativi;
- Concetti generali;
- Modello di riferimento per le analisi
- Interventi su strutture in cemento armato;

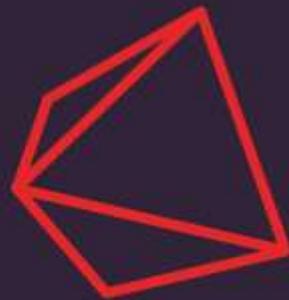


## CASO APPLICATIVO: MIGLIORAMENTO SISMICO DI UN EDIFICIO ESISTENTE IN C.A.

- **Descrizione dell'edificio**
- Modellazione dei dettagli strutturali con IperSpace BIM
- Analisi delle proprietà dinamiche
- Intervento di miglioramento sismico
- Definizione della classe sismica ante e post operam con SismoCheck







# SOFT.LAB

SOFTWARE PER L'EDILIZIA

---

[info@soft.lab.it](mailto:info@soft.lab.it)

+39.0824.874.392

---



[www.soft.lab.it](http://www.soft.lab.it)