

# SICUREZZA DEL COSTRUITO CON SOLUZIONI PER IL RINFORZO, IL CONSOLIDAMENTO E LA PROTEZIONE SISMICA DI STRUTTURE, CON SISTEMI INNOVATIVI E SOSTENIBILI.

## ESEMPI PRATICI E REALI



Venerdì 18 Ottobre 2024 - Ore 14:00 – 19:00



Grand Hotel Vanvitelli, San Marco Evangelista (CE)

## Patologie edilizie, meccanismi di degrado e quadro normativo delle strutture esistenti in calcestruzzo armato



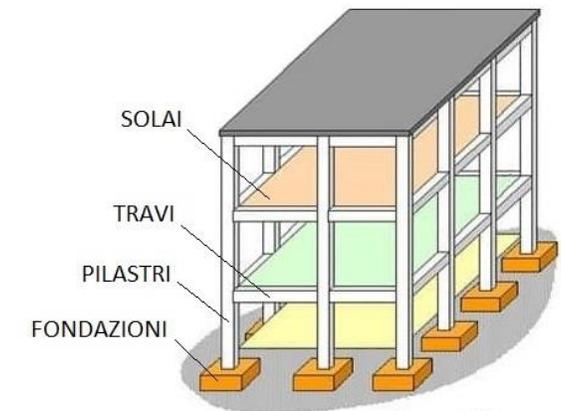
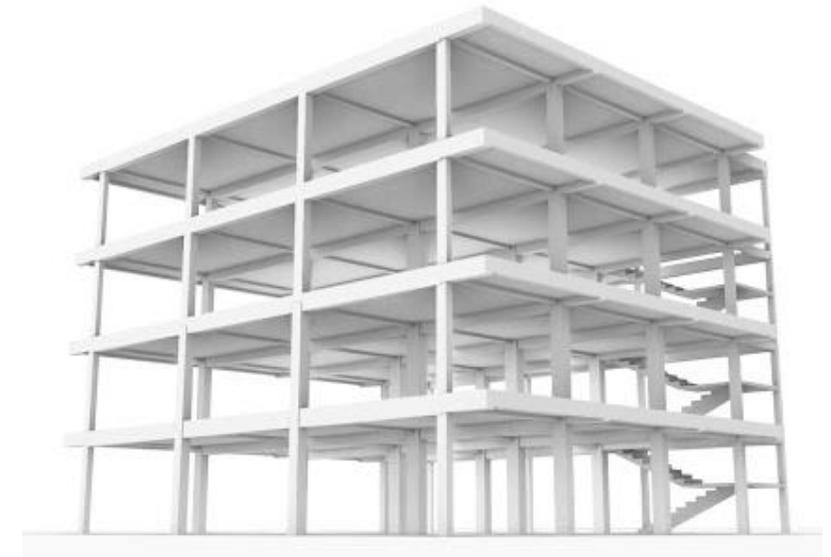
Prof. Ing. Antonio Formisano

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



## Outline

- 1 Introduzione: Le strutture in c.a.
- 2 Conoscenza delle strutture esistenti
- 3 Il quadro normativo: le figure professionali coinvolte e i compiti
- 4 Problematiche strutturali
- 5 Problematiche relative alla durabilità
- 6 Sistemi di rinforzo strutturale



## 1 Introduzione: Le strutture in c.a.

Gli edifici in c.a. iniziano a diffondersi nel panorama costruttivo italiano agli inizi del XX secolo.

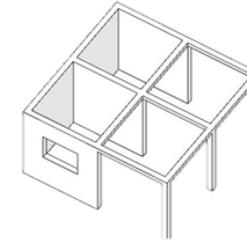
Edifici in muratura con solai e piattabande in c.a.



Edificio misto con muratura perimetrale e pilastri interni in c.a.



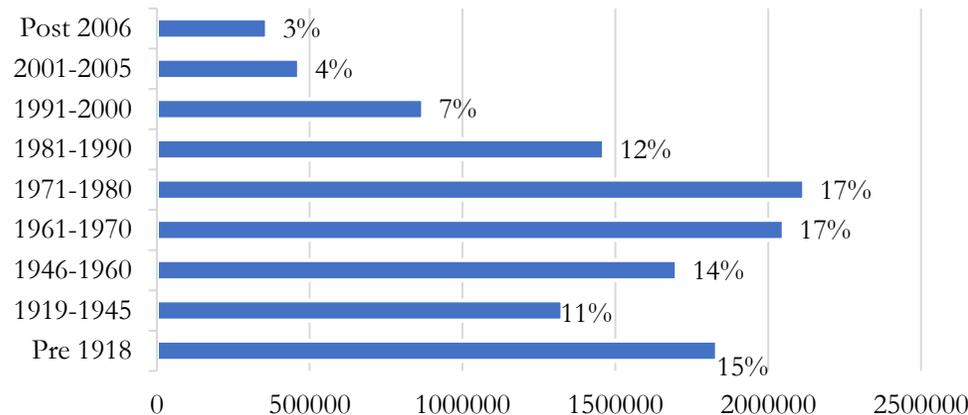
Telai in c.a. inseriti all'interno della muratura



Edifici intelaiati con tamponature leggere



Edifici residenziali per epoca di costruzione



Gran parte degli edifici in c.a. sono stati progettati per soli carichi verticali

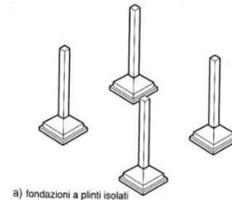
**Gravity Load Design (GDL)**

- L'impianto della carpenteria era determinato dal percorso di trasmissione dei carichi verticali
- La resistenza e la rigidezza dei telai trasversali non erano adeguate nei confronti delle azioni orizzontali confidando solo nell'effetto irrigidente delle tamponature e delle travi emergenti perimetrali

## 1 Introduzione: Le strutture in c.a. e gli elementi tipici degli edifici degli anni '50 - '70

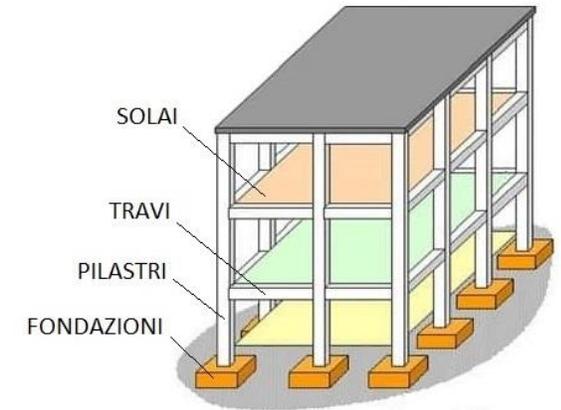
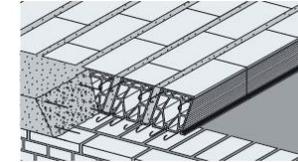
### FONDAZIONI

**Plinti isolati** diretti o su pali con poche travi di collegamento in corrispondenza delle tamponature perimetrali e della gabbia scale



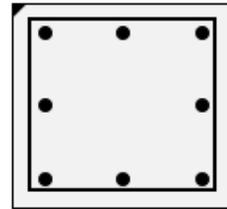
### SOLAI

Latero-cementizi  
Prefabbricati (tipo SAP)



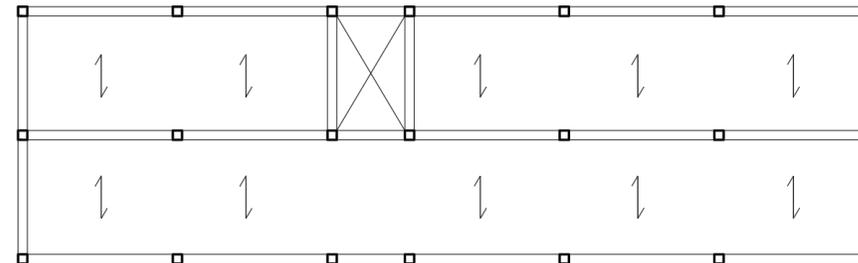
### PILASTRI

- Sezione minima 30x30 cm con riseghe di 10 cm o più a ciascun piano
- Staffatura fuori calcolo e di modesta entità: barre  $\varnothing 6/8$  con passo costante di 20-25 cm
- Assenza di staffe nei nodi



### SCHEMA DI CARPENTERIA

Frequente impiego di telai monodirezionali



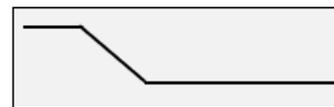
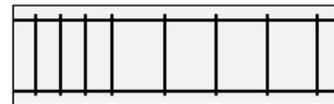
### ARMATURE

Fino agli anni '60 erano impiegate barre lisce



### TRAVI

- Emergenti: per luci ordinarie (4-6 m) sezioni 20x60 cm, 30x50 cm, 30x60 cm
- Frequenti **travi a spessore interne**
- **Armatura a taglio** espressamente calcolata: **staffe e ferri sagomati**



## 2 Conoscenza delle strutture esistenti

[D.M. 17 Gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»](#)

[Circolare n. 7 del 21 Gennaio 2019 - Istruzioni per l'applicazione dell' «Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni»](#)

### Capitolo 8 «Costruzioni esistenti»:

- Oggetto (§8.1 – C8.1)
- Criteri generali (§8.2 – C8.2)
- Valutazione della sicurezza (§8.3 – C8.3)
- Classificazione degli interventi (§8.4 – C8.4)
- Definizione del modello di riferimento per le analisi (§8.5 – C8.5)
- Materiali (§8.6 – C8.6)
- Progettazione degli interventi in presenza di azioni sismiche (§8.7 – C8.7)

## 2 Conoscenza delle strutture esistenti

### Valutazione della sicurezza

Procedimento quantitativo volto a determinare l'entità delle azioni che la struttura è in grado di sostenere con il livello di sicurezza minimo richiesto dalla normativa

I risultati del procedimento possono essere:

- L'uso della costruzione può continuare senza interventi
- L'uso deve essere modificato (declassamento, cambio destinazione d'uso, etc.)
- È necessario prevedere interventi per aumentare la sicurezza strutturale

Nei casi in cui è richiesta la valutazione di sicurezza (es. esecuzione di interventi strutturali di cui al §8.4), questa è eseguita in rapporto alla sicurezza richiesta per edifici nuovi.



$$\zeta_E - \zeta_{v,i}$$

### FATTORE $\zeta_E$

Rapporto tra la massima **azione sismica** sopportabile dalla struttura e la massima azione sismica che si userebbe nel progetto di una nuova costruzione sul medesimo suolo e con le medesime caratteristiche

Parametro di confronto:  $a_g S$

### FATTORE $\zeta_{v,i}$

Rapporto tra il valore massimo di **sovraccarico verticale variabile** sopportabile dalla parte i-esima della costruzione e il valore del sovraccarico verticale variabile che si userebbe nel progetto di una nuova costruzione

Parametro di confronto:  $Q_k$

## 2 Conoscenza delle strutture esistenti

### Definizione del modello di riferimento per le analisi

L'adeguata conoscenza del manufatto è fondamentale per la comprensione del suo comportamento strutturale e l'attendibilità dei risultati è strettamente legata al **livello di conoscenza**.

- Analisi storico-critica
- Rilievo geometrico-strutturale
  - Indagini limitate
  - Indagini estese
  - Indagini esaustive
- Caratterizzazione meccanica dei materiali
  - Prove limitate
  - Prove estese
  - Prove esaustive
- Livelli di conoscenza e fattori di confidenza
- Azioni

### ANALISI STORICO-CRITICA

Ricostruzione del **processo di realizzazione e delle successive modifiche** o eventi che hanno interessato il manufatto:

- Epoca di costruzione
- Tecniche costruttive e norme tecniche dell'epoca
- Forma originaria e successive modifiche
- Deformazioni, dissesti, quadri fessurativi
- Interventi di consolidamento pregressi
- Patologie e carenze costruttive di edifici simili della stessa epoca di costruzione

RELAZIONI O ELABORATI DI  
PROGETTO + SUCCESSIVE  
MODIFICHE

CERTIFICATI DI  
COLLAUDO  
RILIEVI ESISTENTI

## 2 Conoscenza delle strutture esistenti

### Definizione del modello di riferimento per le analisi

#### LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA

Esistono 3 livelli di conoscenza (LC), a cui corrispondono fattori di confidenza (FC) per la riduzione dei valori dei parametri meccanici:

Livello di approfondimento crescente di conoscenza

	Rilievo geometrico	Dettagli costruttivi	Caratterizzazione meccanica dei materiali	FC
LC1	Completo	<i>Indagini limitate</i>	<i>Prove limitate</i>	<i>1,35</i>
LC2	Completo	<i>Indagini estese</i>	<i>Prove estese</i>	<i>1,2</i>
LC3	Completo e accurato	<i>Indagini esaustive</i>	<i>Prove esaustive</i>	<i>1</i>

## 2 Conoscenza delle strutture esistenti

### Definizione del modello di riferimento per le analisi

### LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA – CALCESTRUZZO ARMATO

Livelli di conoscenza degli edifici in c.a. in funzione dell'informazione disponibile e metodi di analisi ammessi

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

**2** Conoscenza delle strutture esistentiDefinizione del modello di riferimento per le analisi**LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA – CALCESTRUZZO ARMATO**

Tabella C8.5.V – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prova per edifici di c.a.

Livello di Indagini e Prove	Rilievo(dei dettagli costruttivi) <sup>(a)</sup>	Prove (sui materiali) <sup>(b)(c)(d)</sup>
	Per ogni elemento “primario” (trave, pilastro)	
<i>limitato</i>	La quantità e disposizione dell’armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m <sup>2</sup> di piano dell’edificio, 1 campione di armatura per piano dell’edificio
<i>esteso</i>	La quantità e disposizione dell’armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m <sup>2</sup> di piano dell’edificio, 2 campioni di armatura per piano dell’edificio
<i>esaustivo</i>	La quantità e disposizione dell’armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m <sup>2</sup> di piano dell’edificio, 3 campioni di armatura per piano dell’edificio

## 2 Conoscenza delle strutture esistenti

### Definizione del modello di riferimento per le analisi

#### AZIONI

I valori delle azioni e le loro combinazioni, sia per la valutazione della sicurezza sia per il progetto degli interventi, sono quelle definite per le nuove costruzioni.

Si possono utilizzare coefficienti parziali modificati assegnando a  $Y_G$  valori esplicitamente motivati.

#### MURATURA

Fattore di struttura per analisi lineare con fattore q:

$$q = 2,0 \alpha_u / \alpha_1 \quad \text{Pietra/mattoni pieni}$$

$$q = 1,75 \alpha_u / \alpha_1 \quad \text{Semipieni e forati}$$

Ridotti del 25% per edifici non regolari in elevazione

#### CALCESTRUZZO ARMATO

Fattore di struttura q:

$$1,5 < q < 3$$

**2** Conoscenza delle strutture esistenti**FASE CONOSCENZA***Capitolo 8 NTC2018*

- Analisi storico-critica
- Rilievo
- Caratterizzazione meccanica dei materiali

+

**ANALISI DELLE  
PROBLEMATICHE DELLA  
TIPOLOGIA STRUTTURALE**

- Carenze costruttive tipiche
- Degrado strutturale
- Durabilità

**CARENZE RICORRENTI**

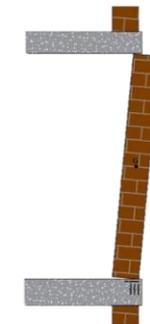
- Insufficiente armatura trasversale nelle travi e soprattutto nei pilastri
- Errato posizionamento delle armature
- Ancoraggio insufficiente e sovrapposizione non corretta delle armature longitudinali
- Eccentricità nei nodi trave-pilastro
- Scarsa cura delle riprese di getto del calcestruzzo nei pilastri
- Rigidezza dei pilastri significativamente inferiore a quella delle travi
- Assenza di confinamento idoneo nei nodi trave-pilastro

**FENOMENI DI COLLASSO FREQUENTI**

Rottura a taglio o a pressoflessione degli elementi principali



Lesioni e rotture dei nodi



Ribaltamento tamponature

## 2 Conoscenza delle strutture esistenti

### Progettazione degli interventi

Modalità di verifica dei principali interventi da applicare agli edifici esistenti in funzione della tipologia costruttiva

### CALCESTRUZZO ARMATO

Gli elementi resistenti ad azioni sismiche possono avere meccanismi duttili o fragili

#### MECCANISMI DUTTILI

Si controlla che la domanda non superi la capacità in termini di deformazione o resistenza

Calcolo della capacità = proprietà dei materiali esistenti divise per i fattori di confidenza FC

#### MECCANISMI FRAGILI

Si controlla che la domanda non superi la capacità in termini di resistenza

Calcolo della capacità = resistenze divise per coefficienti parziali di sicurezza e fattori di confidenza FC

## 2 Conoscenza delle strutture esistenti

### Le tipologie di intervento

Per gli edifici esistenti è possibile distinguere **3 tipologie di interventi**:

- ❑ Interventi finalizzati al ripristino della sicurezza o interventi locali
- ❑ Interventi di miglioramento sismico volti all'aumento della sicurezza
- ❑ Interventi per l'adeguamento a nuove esigenze di carichi e sollecitazioni

## 2 Conoscenza delle strutture esistenti

### Le tipologie di intervento

#### Interventi di riparazione o interventi locali

Gli interventi di questo tipo riguardano 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.

**Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati**, documentando le carenze strutturali riscontrate e dimostrando che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, **non vengano prodotte sostanziali modifiche al comportamento** delle altre parti e **della struttura nel suo insieme** e che gli interventi non comportino una riduzione dei livelli di sicurezza preesistenti.

## 2 Conoscenza delle strutture esistenti

### Le tipologie di intervento

#### Interventi 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, per le costruzioni di **classe III ad uso scolastico e di classe IV il valore di  $\zeta_E$** , a seguito degli interventi di miglioramento, **deve essere comunque non minore di 0,6**.
- Per le rimanenti costruzioni di **classe III** e per quelle di **classe II il valore di  $\zeta_E$** , sempre a seguito degli interventi di miglioramento, **deve essere incrementato di un valore comunque non minore di 0,1**.

$$\text{Livello di sicurezza } \zeta_E = \frac{\text{massima accelerazione sopportabile (C)}}{\text{PGA nuova costruzione (D)}}$$

## 2 Conoscenza delle strutture esistenti

### Le tipologie di intervento

#### Interventi di adeguamento

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

- 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.
- d) **Effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un sistema strutturale diverso dal precedente;**
- e) **Apportare modifiche di classe d'uso che conducano a costruzioni di classe III ad uso scolastico o di classe IV.**

**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  $\zeta_E \geq 0,80$ .**

Una variazione dell'altezza dell'edificio per la realizzazione di cordoli sommitali o a variazioni della copertura che non comportino incrementi di superficie abitabile non sono considerati interventi di ampliamento e, quindi, non richiedono l'adeguamento sismico.

### 3 Il quadro normativo: le figure professionali coinvolte e i compiti

I **capitoli 9, 10 e 11** delle NTC 2018 coprono i ruoli e le responsabilità dei progettisti, direttori dei lavori, collaudatori e imprese esecutrici, specificando i controlli da eseguire sui materiali, le modalità di esecuzione delle opere e i collaudi necessari per garantire la sicurezza e la conformità delle strutture in calcestruzzo armato.

#### Capitolo 9 - Collaudo statico

Il **collaudo statico** è trattato nel Cap. 9 in cui si specificano le modalità e i criteri per il collaudo delle strutture, e vengono fornite indicazioni precise su:

- **Prove di carico statico:** definisce le modalità per eseguire le prove necessarie a verificare la capacità portante delle strutture in c.a.
- **Documentazione tecnica:** descrive i requisiti per la documentazione che deve essere fornita al collaudatore, inclusi i progetti, le certificazioni dei materiali e i rapporti sui controlli in corso d'opera.
- **Certificato di collaudo:** chiarisce come deve essere emesso il certificato che attesta la sicurezza e la conformità della struttura.

#### Capitolo 10 – Progettazione e Direzione Lavori

In particolare, il capitolo definisce:

- **Progettazione delle strutture in calcestruzzo armato:** criteri di progettazione, dimensionamento e dettagli costruttivi delle strutture.
- **Materiali:** requisiti per calcestruzzo, acciaio per armature e altri componenti utilizzati nelle strutture in c.a.
- **Esecuzione delle opere:** le modalità di esecuzione delle opere, inclusi i controlli da effettuare durante la costruzione (ad esempio, il getto del calcestruzzo e la posa delle armature).
- **Controlli e verifiche:** indicazioni sui controlli che devono essere eseguiti dal direttore dei lavori durante l'esecuzione delle opere (come la qualità dei materiali e le prove di accettazione).

#### Capitolo 11 – Direzione dei lavori

Questo capitolo si concentra sulle modalità di esecuzione delle opere strutturali. Fornisce indicazioni su:

- **Controllo dell'esecuzione:** compiti e responsabilità del direttore dei lavori nel verificare che l'opera sia realizzata in conformità al progetto.
- **Materiali e processi costruttivi:** obblighi relativi al controllo dei materiali e alla corretta esecuzione delle opere strutturali, con particolare riferimento al rispetto delle specifiche tecniche.

### 3 Il quadro normativo: le figure professionali coinvolte e i compiti

#### Il progettista

Capitolo 10 - NTC2018 e Circolare

I compiti del progettista sono:

- **Definizione azioni:** sviluppare il progetto strutturale nel rispetto delle norme tecniche vigenti (ad es. NTC 2018 in Italia) e delle normative sismiche, considerando carichi statici e dinamici.
- **Dimensionamento:** calcolare gli elementi strutturali in c.a. (fondazioni, pilastri, travi, solai, ecc.) per garantire la necessaria resistenza e la sicurezza.
- **Scelta dei materiali:** indicare i materiali da utilizzare (calcestruzzo, acciaio per armature) e le specifiche tecniche richieste.
- **Redazione degli elaborati tecnici:** produrre i disegni tecnici, il computo metrico, il capitolato d'appalto e i dettagli costruttivi.
- **Collaborazione con altri tecnici:** interazione con progettisti impiantistici, architetti e geologi per assicurare l'organicità del progetto.
- **Conformità normativa:** garantire che il progetto rispetti tutte le normative edilizie, ambientali e di sicurezza.

I **progetti esecutivi** riguardanti le strutture devono possedere chiarezza espositiva e di completezza nei contenuti e devono inoltre definire compiutamente l'intervento da realizzare.

Il progetto deve comprendere i seguenti elaborati:

- Relazione di calcolo strutturale, comprensiva di una descrizione generale dell'opera e dei criteri generali di analisi e verifica;
- Relazione sui materiali;
- Relazione geotecnica e sulle fondazioni;
- Piano di manutenzione della parte strutturale dell'opera;
- Elaborati grafici di insieme e particolari costruttivi;
- Relazione sui risultati sperimentali delle prove sui materiali (strutture esistenti).

Particolare cura andrà posta nello sviluppare le relazioni di calcolo, con riferimento alle analisi svolte con l'ausilio di codici di calcolo automatico, sia ai fini di facilitare l'interpretazione e la verifica dei calcoli da parte di soggetti diversi dal redattore del documento, sia per esprimere un giudizio di accettabilità dei risultati.

Il progettista resta comunque responsabile dell'intera progettazione strutturale.

### 3 Il quadro normativo: le figure professionali coinvolte e i compiti

#### Il direttore dei lavori

*Capitolo 11 - NTC2018 e Circolare*

Il **direttore dei lavori** è il tecnico responsabile della supervisione delle opere in cantiere e della loro conformità rispetto al progetto. Le sue responsabilità principali sono:

- ✓ **Sorveglianza del cantiere:** monitorare le fasi di esecuzione e verificare che le opere siano realizzate conformemente al progetto e alle specifiche tecniche.
- ✓ **Controllo dei materiali:** verificare che i materiali utilizzati (calcestruzzo, acciaio, ecc.) siano conformi alle specifiche di progetto.
- ✓ **Verifica delle opere:** controllare la corretta esecuzione dei getti di calcestruzzo e della messa in opera delle armature, garantendo la qualità e la sicurezza.
- ✓ **Gestione delle varianti:** approvare eventuali modifiche o varianti al progetto durante l'esecuzione delle opere, informando il committente.
- ✓ **Contabilità dei lavori:** tenere aggiornato il registro di contabilità, che include le misurazioni e i pagamenti per le imprese esecutrici.
- ✓ **Sicurezza in cantiere:** collaborare con il coordinatore della sicurezza per garantire il rispetto delle norme di sicurezza sul lavoro.

### 3 Il quadro normativo: le figure professionali coinvolte e i compiti

#### Il collaudo

Capitolo 9 - NTC2018 e Circolare

Il collaudo statico, inteso come procedura disciplinata dalle vigenti leggi di settore, è finalizzato alla valutazione delle prestazioni delle opere e delle componenti strutturali comprese nel progetto ed eventuali varianti depositati presso gli organi di controllo competenti.

- ✓ In caso di esito positivo, la procedura si conclude con l'emissione del **certificato di collaudo**.
- ✓ Il collaudo statico, tranne casi particolari, va eseguito **in corso d'opera**.
- ✓ **Le opere non possono essere poste in esercizio prima dell'esecuzione del collaudo statico.**
- ✓ L'**ispezione dell'opera** verrà eseguita alla presenza del **Direttore dei lavori** e del **Costruttore**, confrontando in contraddittorio il progetto depositato in cantiere con quanto realizzato in opera.

### 3 Il quadro normativo: le figure professionali coinvolte e i compiti

#### Il collaudatore

*Capitolo 9 - NTC2018 e Circolare*

Il Collaudatore controllerà altresì che siano state messe in atto le prescrizioni progettuali e siano stati eseguiti i controlli sperimentali. Quando la costruzione è eseguita in procedura di garanzia di qualità, il Collaudatore deve prendere conoscenza dei contenuti dei documenti di controllo qualità e del registro delle non-conformità.

**a) esame dei certificati delle prove sui materiali**, articolato:

- ✓ nell'accertamento del numero dei prelievi effettuati e della sua conformità alle prescrizioni contenute nel Capitolo 11 delle NTC;
- ✓ nel controllo che i risultati ottenuti delle prove siano compatibili con i criteri di accettazione fissati nel citato Capitolo 11;

**b) esame dei certificati relativi ai controlli in stabilimento e nel ciclo produttivo, previsti al Capitolo 11;**

**c) controllo dei verbali e dei risultati delle eventuali prove di carico fatte eseguire dal Direttore dei lavori.**

### 3 Il quadro normativo: le figure professionali coinvolte e i compiti

#### Il collaudatore

*Capitolo 9 - NTC2018 e Circolare*

Il Collaudatore, nell'ambito delle sue responsabilità, dovrà inoltre esaminare:

- 1) il progetto dell'opera, l'impostazione generale della progettazione nei suoi aspetti strutturali e geotecnici, gli schemi di calcolo e le azioni considerate;
- 2) le indagini eseguite nelle fasi di progettazione e costruzione come prescritte nella norma;
- 3) la relazione a strutture ultimate del Direttore dei lavori.

Infine, nell'ambito della propria discrezionalità, il Collaudatore potrà richiedere:

- 1) di effettuare tutti quegli accertamenti, studi, indagini, sperimentazioni e ricerche utili per accertarsi della sicurezza, della durabilità e della collaudabilità dell'opera, quali in particolare:
  - ✓ prove di carico;
  - ✓ prove sui materiali messi in opera, anche mediante metodi non distruttivi;
  - ✓ monitoraggio programmato di grandezze significative del comportamento dell'opera da proseguire, eventualmente, anche dopo il collaudo della stessa.

### 3 Il quadro normativo: le figure professionali coinvolte e i compiti

#### L'impresa esecutrice

L'**impresa esecutrice** è incaricata della realizzazione materiale della struttura in c.a. e ha il compito di seguire le direttive tecniche fornite dal progettista e dal direttore dei lavori. Le responsabilità dell'impresa esecutrice comprendono:

- **Esecuzione delle opere:** realizzare le opere in c.a. secondo il progetto esecutivo e le indicazioni del direttore dei lavori.
- **Organizzazione del cantiere:** garantire l'organizzazione e la gestione logistica del cantiere, inclusa la sicurezza e la protezione dell'ambiente.
- **Posa in opera dei materiali:** assicurarsi che le armature siano correttamente posizionate e che il calcestruzzo venga gettato e compattato in modo adeguato.
- **Conformità dei lavori:** garantire la qualità delle lavorazioni e la conformità ai tempi e ai costi previsti.
- **Interazione con altre ditte:** coordinare l'eventuale intervento di subappaltatori o fornitori di prodotti specializzati (come additivi per calcestruzzo, sistemi di isolamento, ecc.).

### 3 Il quadro normativo: le figure professionali coinvolte e i compiti

#### Le imprese fornitrici

Le **imprese fornitrici** sono responsabili della fornitura dei materiali, come calcestruzzo, acciaio e altri prodotti, necessari alla costruzione. I loro compiti includono:

- **Fornitura dei materiali conformi:** assicurare che i materiali forniti rispettino le specifiche tecniche del progetto e le normative vigenti.
- **Certificazioni:** fornire certificati di conformità e prove di laboratorio per garantire la qualità dei materiali.
- **Assistenza tecnica:** offrire supporto tecnico per l'uso corretto dei materiali, in particolare per prodotti innovativi o specifici come additivi, calcestruzzi speciali o acciai ad alta resistenza.

## 4 Problematiche strutturali

### MECCANISMI GLOBALI

Interessano la struttura nel suo complesso e inficiano la resistenza di tutta la struttura, pur non coinvolgendo necessariamente tutti gli elementi.

- **Meccanismi duttili** = Trave debole - Pilastro forte
- **Meccanismi fragili** = Trave forte - Pilastro debole

#### Principali cause meccanismi fragili

- Eccessive variazioni di rigidità e resistenza in elevazione
- Irregolarità in pianta
- Presenza di elementi strutturali rigidi in posizione eccentrica
- Assenza di telai nelle due direzioni principali

**TIPOLOGIE DI COLLASSO NEGLI ELEMENTI STRUTTURALI  
IN C.A.**

### MECCANISMI LOCALI

Dipendono dal singolo elemento e possono non inficiare il comportamento globale se interessano solo una porzione degli elementi strutturali

- **Meccanismi duttili** = tipicamente flessionali
- **Meccanismi fragili** = tipicamente a taglio

#### Principali cause

- Eccessivo interasse tra le staffe
- Ancoraggio insufficiente delle barre longitudinali
- Presenza di barre di armatura lisce
- Calcestruzzi scadenti
- Assenza o insufficienza di armatura trasversale nel nodo

**INFLUENZA DI ELEMENTI NON STRUTTURALI:  
TAMPONATURE**

4

## Problematiche strutturali

## PILASTRI

## Compressione



Eccessivo sforzo assiale che comporta il superamento della resistenza a compressione dei pilastri più sollecitati

Si manifesta inizialmente con lesioni verticali e poi con lo spanciamento del pilastro per la rottura del calcestruzzo

## Pressoflessione



Crisi flessionale dovuta al basso grado di confinamento in presenza di momento flettente.

Comporta l'instabilizzazione delle barre in compressione, lo sfilamento delle barre in trazione e lo schiacciamento del calcestruzzo compresso non confinato

## Taglio



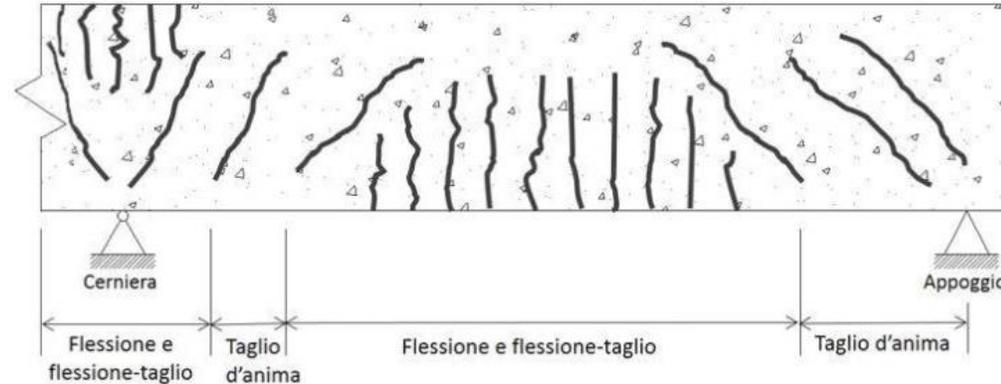
Dovuto alla staffatura esigua, è il meccanismo più diffuso negli elementi tozzi.

Si manifesta con le classiche lesioni a X.

## 4 Problematiche strutturali

## TRAVI

## Flessione



Lesioni ortogonali alla linea d'asse in corrispondenza delle zone tese della trave.

Sono dovute alla carenza di armatura in zona tesa e individuano un collasso di tipo duttile.

## Taglio



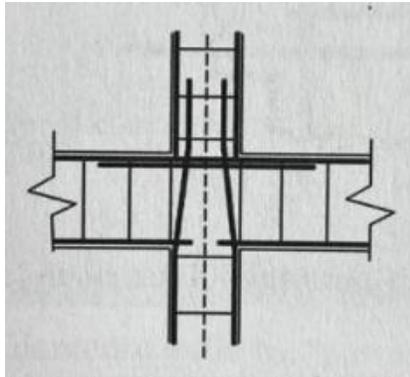
Lesioni a 45° rispetto all'asse longitudinale in corrispondenza delle sezioni di appoggio.

Sono dovute alla carenza di armatura trasversale e individuano un collasso di tipo fragile.

## 4 Problematiche strutturali

## NODI

## Interruzione armature longitudinali inferiori delle travi



- Inversione del momento flettente sulla trave in corrispondenza dei nodi determinato dalle azioni orizzontali del sisma;
- Momento positivo può mettere in crisi la scarsa aderenza tra armatura e cls nel nodo data dalla lunghezza minima di ancoraggio;
- **Sfilamento dell'armatura inferiore della trave (pull-out).**

## Assenza o insufficienza di staffe



Rottura fragile del nodo ortogonalmente alle isostatiche di trazione.

Instabilizzazione delle barre longitudinali in assenza o scarsa presenza di staffe, che non riescono a ridurre la lunghezza libera di inflessione delle barre.

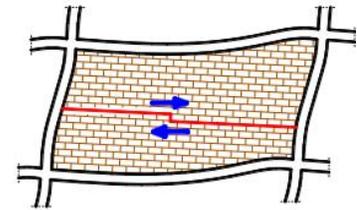


## 4 Problematiche strutturali

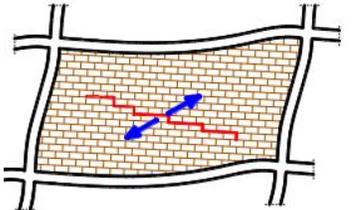
## TAMPONATURE

Le crisi degli edifici in c.a. possono avvenire anche per gli elementi non strutturali, come le tamponature.

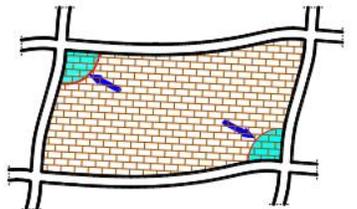
## NEL PIANO



- **Scorrimento orizzontale** nella zona centrale della tamponatura dovuto alle tensioni tangenziali



- **Trazione diagonale** nella zona centrale della tamponatura

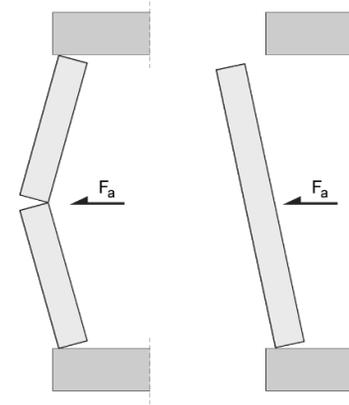


- **Schiacciamento** in prossimità degli spigoli dove è applicata direttamente la pressione di contatto

- **Instabilità del puntone compresso** al quale può essere assimilato il pannello caricato da forza orizzontale

## FUORI DAL PIANO

- **Flessione verticale**
- **Ribaltamento**



## Cause:

- Paramenti non connessi trasversalmente
- Scarsa qualità della tessitura
- Degrado o modifiche localizzate
- Assenza di collegamento alla struttura principale in c.a.



## 4 Problematiche strutturali

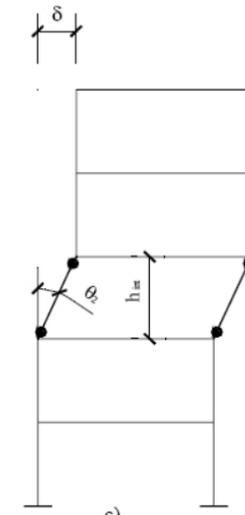
## PIANO SOFFICE

Meccanismo tipico degli edifici in cui vi è un livello con rigidezza nettamente diversa rispetto agli altri ad esempio per la mancanza di tamponature.



Il meccanismo si attiva per:

- Collasso per flessione nei pilastri
- Collasso per schiacciamento dei pilastri
- Collasso per taglio nei pilastri



## 5 Problematiche relative alla durabilità

### Le cause

#### Meccaniche

Abrasiono, erosione, urto, vibrazione, esplosione, sisma

#### Fisiche

Cicli gelo - disgelo, ritiro e fessurazioni

#### Chimiche

Reazione alcali - aggregati, attacco acido, solfati, solfuri

#### Biologiche

Fouling

#### Corrosione

Carbonatazione, cloruri, correnti vaganti



Il **deterioramento precoce** delle strutture in c.a. è spesso associato a **errori di realizzazione o di posa in opera**:

- Calcestruzzi con resistenza non adeguata a resistere all'aggressione ambientale
- Dettagli geometrici della struttura che portano a ristagni d'acqua
- Spessore di copriferro insufficiente
- Disposizione inadatta di barre di armatura che non consentono una buona costipazione del calcestruzzo
- Presenza di spigoli vivi
- Scorretta compattazione e stagionatura

## 5 Problematiche relative alla durabilità - CALCESTRUZZO

Diminuzione di resistenza meccanica del calcestruzzo dovuto a un **degrado chimico**, causato dal contatto con:

### ACQUE RICCHE DI IONI SOLFATO

- Ioni solfato + idrossido di calcio → gesso

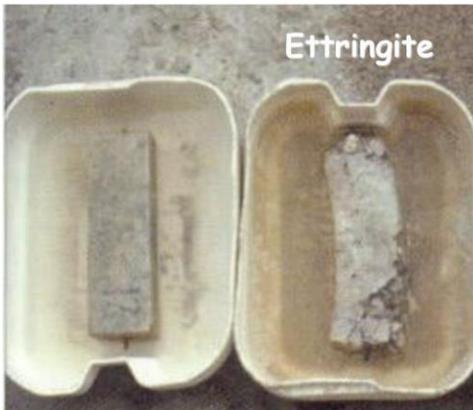


**Perdita di resistenza meccanica del cls**

- Gesso + alluminati → composti espansivi (ettringite)



**Fessurazione e  
disgregazione del cls**



### ACQUE DILAVANTI

- Flusso d'acqua continua sulla superficie scioglie lentamente i composti a base di calcio



Vuoti e microporosità negli elementi



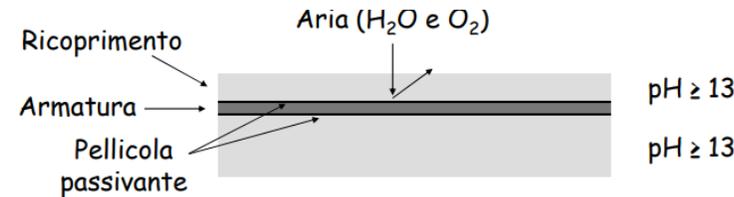
Riduzione di resistenza meccanica e incremento permeabilità



**Accelera la  
manifestazione di altri  
fenomeni di degrado**

## 5 Problematiche relative alla durabilità - ARMATURE

Le **armature presenti negli elementi di calcestruzzo** sono caratterizzate da condizioni di passività, in cui l'acciaio è ricoperto da un **film protettivo**, che si sviluppa nelle fasi iniziali di idratazione del cemento.

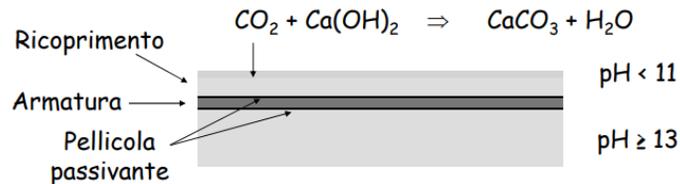


La **pellicola passivante** impedisce il contatto tra aria umida e armature e quindi **impedisce la corrosione**.

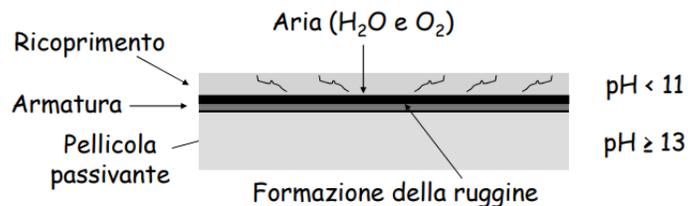
La **perdita di protezione** può avvenire per **3** motivi:

### CARBONATAZIONE

- L'anidride carbonica dell'aria reagisce con la calce riducendo il pH del calcestruzzo.



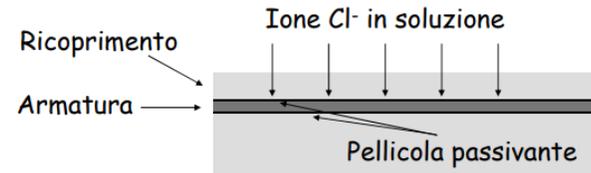
- Il fenomeno dissolve l'intero film protettivo innescando la corrosione.



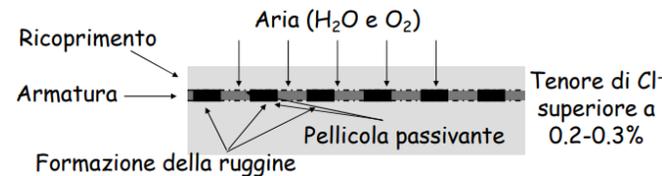
La velocità del fenomeno dipende dal rapporto A/C e dallo spessore del ricoprimento.

### CLORURI

- L'acqua penetra nel cls portando lo ione cloruro Cl<sup>-</sup>.



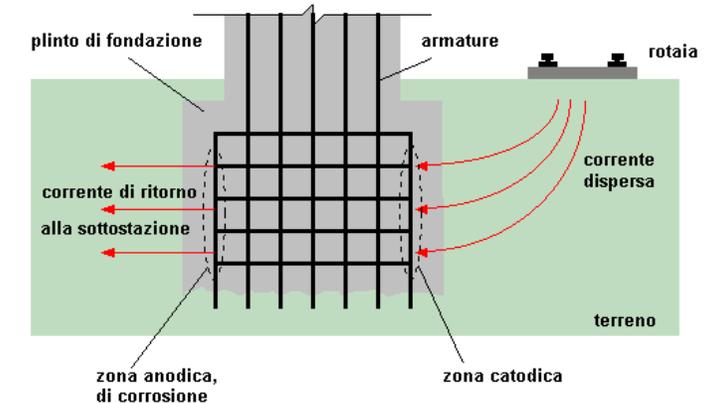
Fenomeno localizzato inizia a dissolvere il film protettivo quando il tenore di cloruri supera lo 0.2-0.3%.



La velocità del fenomeno dipende dal rapporto A/C, dallo spessore del ricoprimento, dalla compattazione del cls e dal tipo di cemento.

### CORRENTI ELETTRICHE

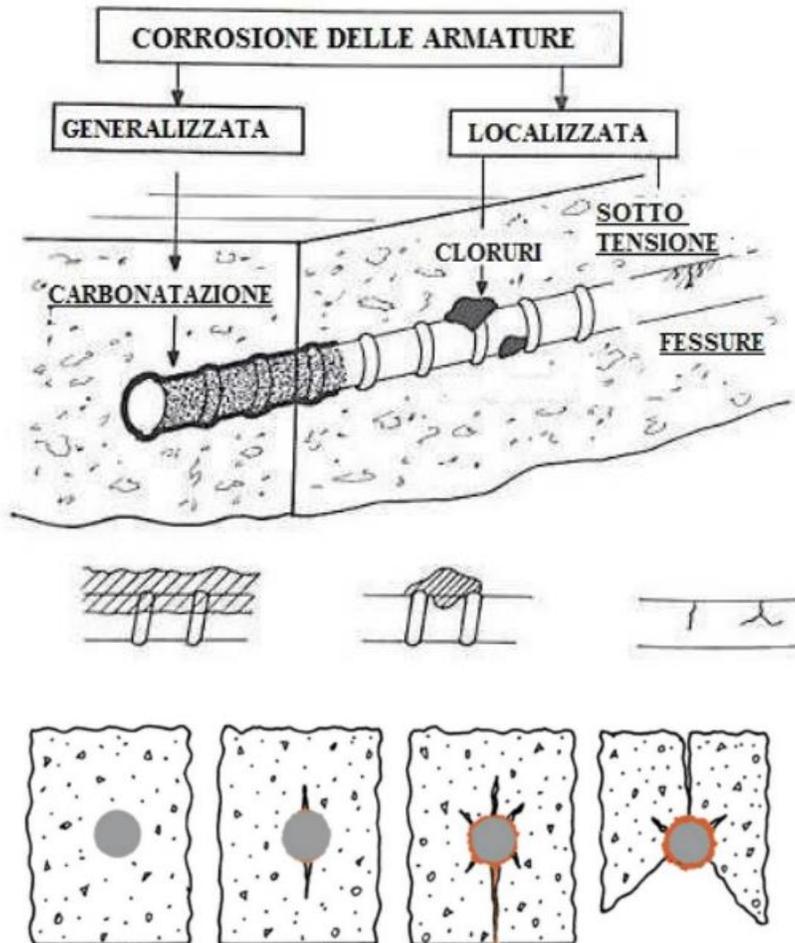
L'interferenza elettrica provoca la corrosione delle armature nelle zone, dette *anodiche*, in cui la corrente dispersa fluisce dalle armature verso il cls.



Sono esposti al fenomeno le strutture situate in prossimità di linee di trazione elettrificate o di impianti di protezione catodica come le gallerie, i ponti o i viadotti ferroviari.

5

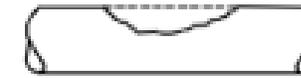
## Problematiche relative alla durabilità – GLI EFFETTI DELLA CORROSIONE



- **Riduzione della sezione dei ferri**



Riduzione di resistenza



- **Fessurazione del calcestruzzo**

I prodotti della corrosione occupano un volume da 2 a 6 volte superiore di quello del ferro da cui provengono.

- Tensioni superficiali di trazione generano **fessure longitudinali parallele alle barre di armatura**.
- Le fessure aumentano progressivamente fino all'**espulsione totale del ricoprimento**.
- La riduzione dell'effetto protettivo del ricoprimento causa **un aumento della velocità di corrosione**.



## 6 Sistemi di rinforzo strutturale

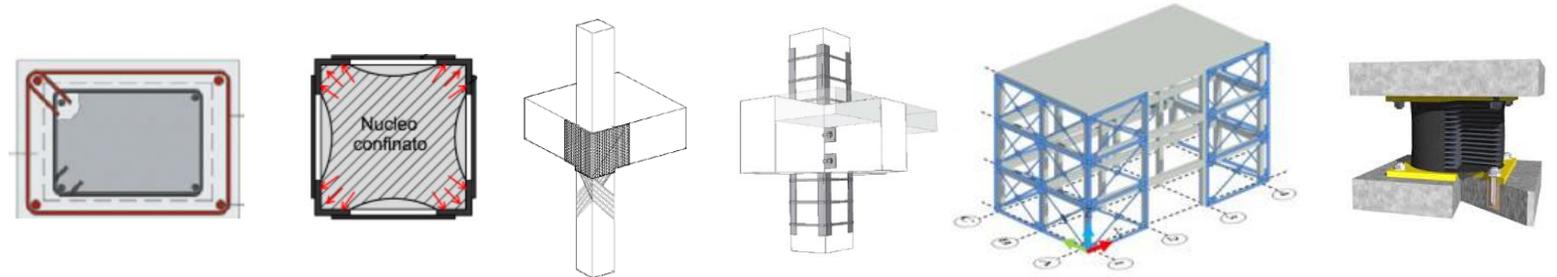
### Sistemi di retrofit strutturale

#### Interventi locali:

- Incamiciatura in c.a. o in acciaio (Calastrellature)
- Rinforzi con sistemi FRP (Fibro-rinforzati a matrice polimerica)
- Rinforzi con malte fibro-rinforzate (FRCM)
- Metodo CAM (Cucitura Attiva dei Manufatti)

#### Interventi globali:

- Riduzione delle irregolarità dell'edificio
- Introduzioni di nuovi elementi strutturali
- Riduzione della domanda



### Sistemi di retrofit energetico

- Isolamento termico delle superfici opache
- Sostituzione infissi
- Installazione di sistemi di schermatura solare
- Sostituzione impianti di riscaldamento/raffrescamento
- Passaggio a fonti energetiche rinnovabili

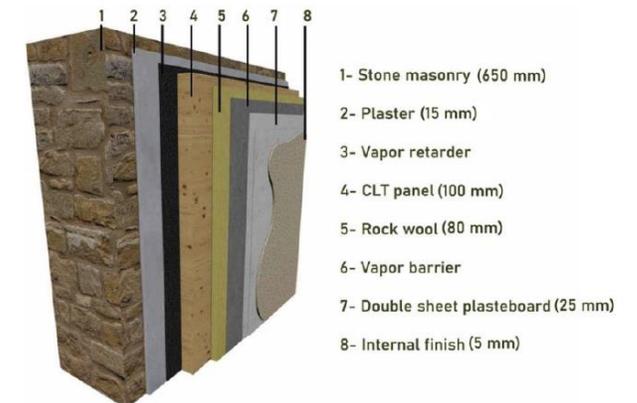
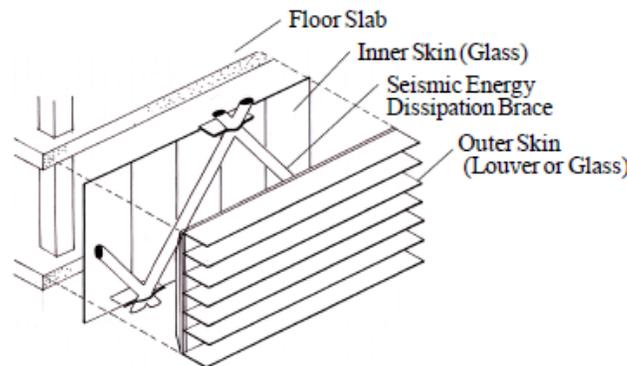
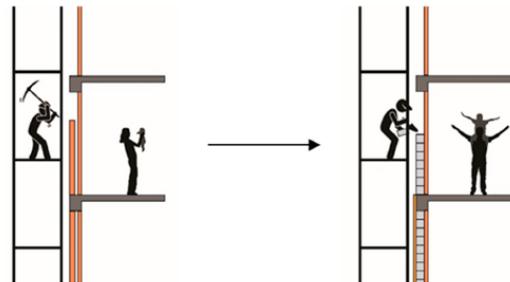


## 6 Sistemi di rinforzo strutturale

### Sistemi di retrofit integrato

**Obiettivo: Riduzione del rischio sismico e incremento dell'efficienza energetica**

- Cappotto sismico con lastre in c.a. e pannelli termoisolanti
- Cappotto sismico con malte fibrorinforzate e pannelli termoisolanti
- Cappotto sismico con telai metallici modulari
- Blocchi in calcestruzzo aerato autoclavato (A.A.C. – Autoclaved Aerated Concrete)
- Pannelli in legno lamellare incrociati (C.L.T. – Cross Laminated Timber)
- Esoscheletri in c.a. o in acciaio con sistemi di coibentazione termica
- Facciate ventilate con controventi dissipativi



## 6 Sistemi di rinforzo strutturale

### I sistemi a cappotto metallici

#### Cosa sono

Si tratta di sistemi integrati che rappresentano una **soluzione innovativa, leggera e poco invasiva** per la riqualificazione sismo – energetica del patrimonio edilizio esistente.

Essi sono, infatti, applicati **esternamente** alla struttura e permettono con un **singolo intervento** di migliorare sia le **performance sismiche** che quelle **energetiche** del fabbricato.

Il sistema è inoltre contraddistinto da una notevole rapidità in fase di montaggio, consentendo di ridurre i tempi e i costi di cantiere.

#### Come sono realizzati

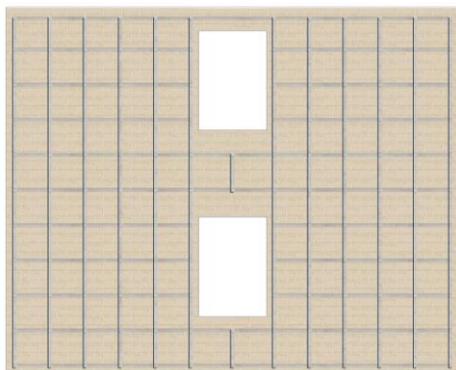
Generalmente essi sono formati da un telaio di base con elementi metallici **cold formed o estrusi** (realizzati in acciaio o in lega di alluminio) costituito da profili verticali e orizzontali disposti ad interasse variabile e connessi alla struttura di base (murature o telai in c.a.).

Gli spazi che si creano tra i profili vengono poi riempiti con **pannelli termo - isolanti**.

### Schema d'applicazione

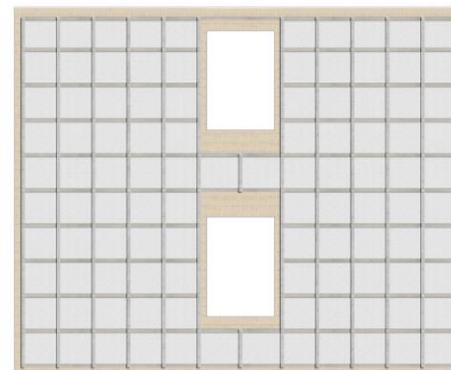
#### Fase 1

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 Sistemi di rinforzo strutturale

### I sistemi a cappotto metallici

#### 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.  
Il cappotto non è collegato in fondazione.

##### **Intervento Globale** - §8.4.3 delle NTC2018

In questo caso, l'intervento è esteso a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.

A meno di specifiche situazioni, a seguito degli interventi di miglioramento, il **coefficiente  $\zeta_E$  deve essere incrementato di un valore comunque non minore di 0,1.**



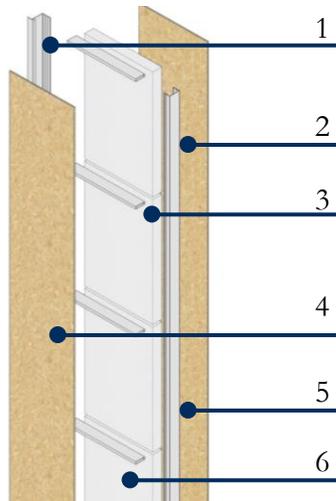
Il sistema è collegato in fondazione e permette di ottenere un miglioramento/adequamento sismico della struttura.



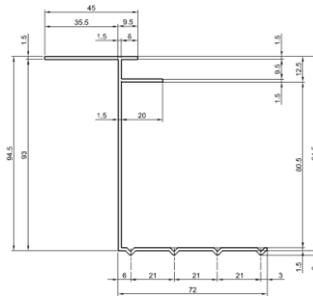
## 6 Sistemi di rinforzo strutturale

### I sistemi a cappotto – Soluzioni in lega di alluminio

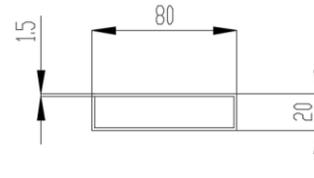
#### MIL15 (intervento locale)



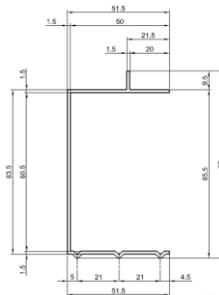
Montante: Profilo A



Traverso: Profilo Scatolare



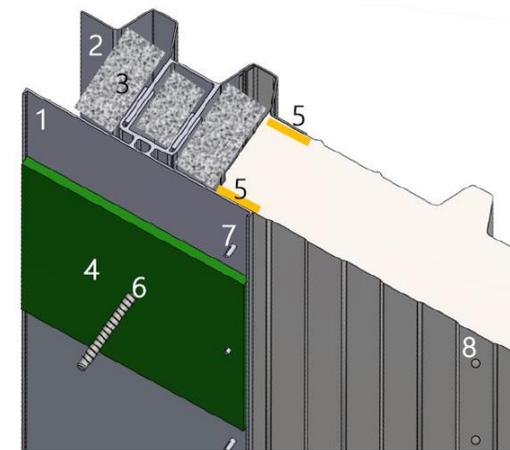
Montante: Profilo B



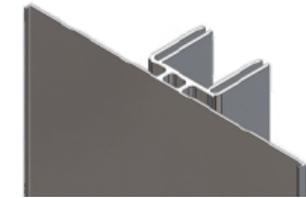
#### Legenda

- 1 – Montante: Profilo A
- 2 – Montante: Profilo B
- 3 – Traverso: Scatolare
- 4 – Pannello OSB interno
- 5 – Pannello OSB esterno
- 6 – Schiuma poliuretanic

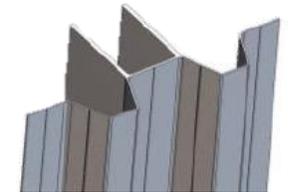
#### MIL15.s (intervento globale)



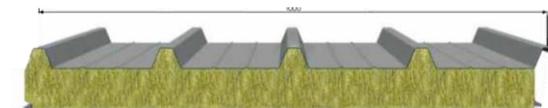
Profilo di base



Profilo di chiusura



Pannello sandwich



**Azienda** TM Group S.r.l.

**Materiali** Profili estrusi in lega di alluminio e pannelli OSB

**Scopo** Miglioramento delle performance sismiche ed energetiche

#### Legenda

- 1 – Profilo di base
- 2 – Profilo di chiusura
- 3 – Isolante termico
- 4 – Distanziale taglio termico
- 5 – Nastro EPDM
- 6 – 7 – 8 – Accessori di fissaggio

## 6 Sistemi di rinforzo strutturale

### I sistemi a cappotto – Applicazioni

MIL15: Applicazione su edificio in c.a. – Intervento Globale

#### Localizzazione del sito



Campania

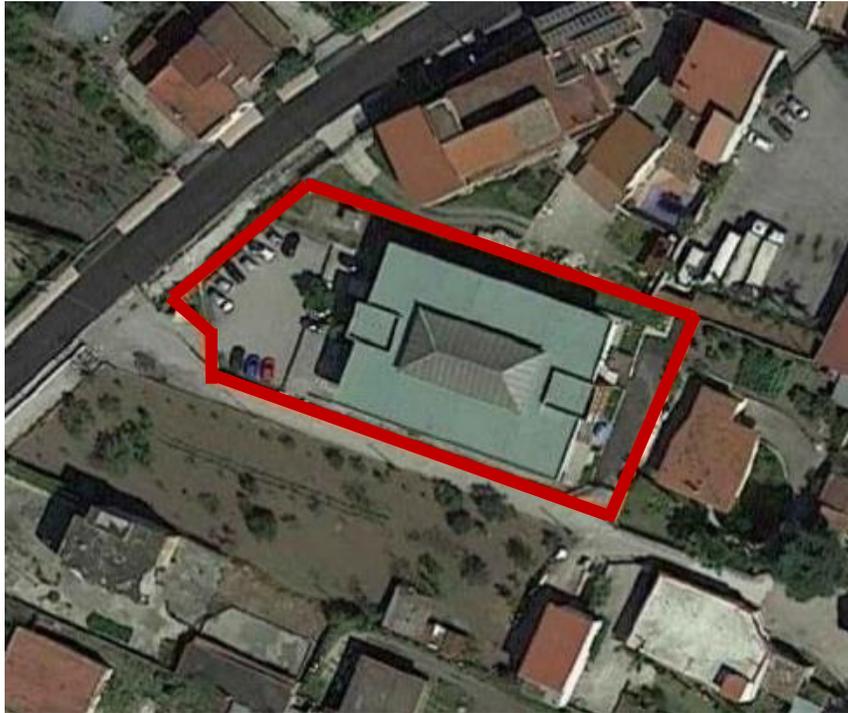


Provincia di Napoli



Somma Vesuviana

Vista dall'alto del sito, Google Earth



#### La struttura

##### **Destinazione d'uso**

Edificio scolastico articolato su 2 livelli fuori terra.

##### **Strutture in elevazione**

Struttura intelaiata in c.a. con tamponature in blocchi di laterizio

##### **Strutture orizzontali**

Solai latero - cementizi

##### **Fondazioni**

Fondazioni di tipo diretto con plinti isolati in c.a.



Vista esterna della struttura



Vista atrio interno



## 6 Sistemi di rinforzo strutturale

### I sistemi a cappotto – Applicazioni

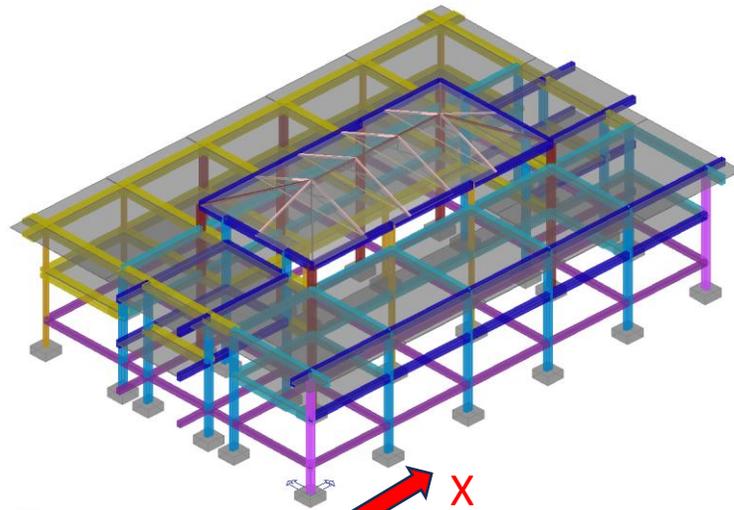


MIL15: Applicazione su edificio in c.a. – Intervento Globale

#### Pre - intervento

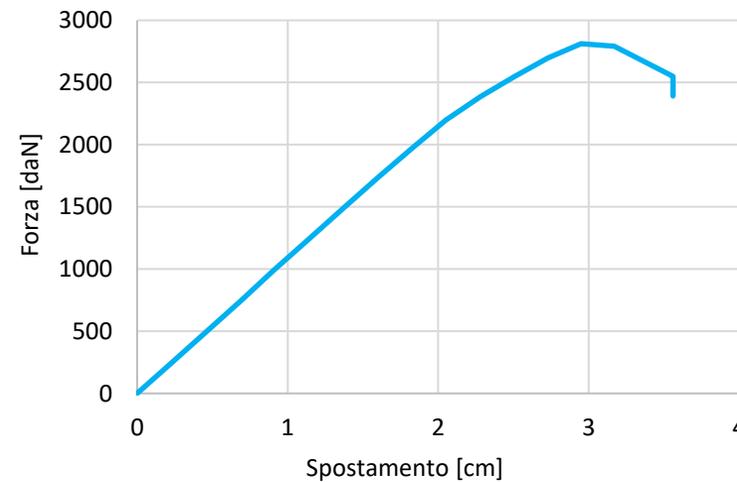
1. Valutazione del comportamento della struttura allo Stato di Fatto

2. Risultati Analisi allo Stato di Fatto - SLV



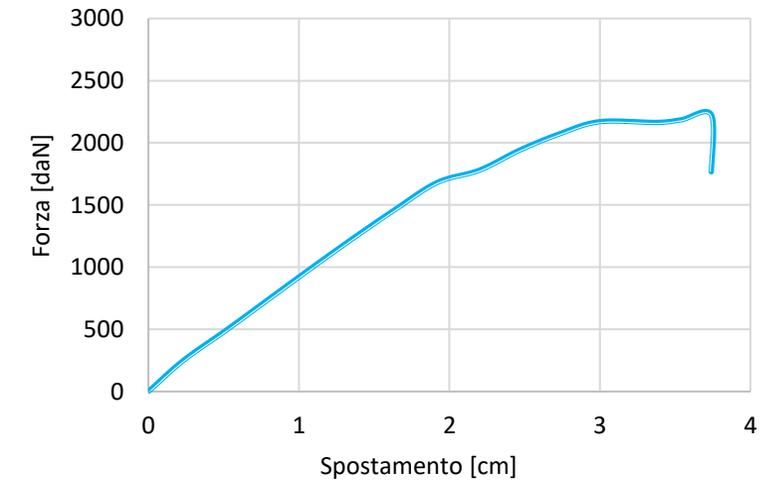
Vista tridimensionale del caso studio

Direzione X - Curva Pushover



$$\zeta_E = 0,397$$

Direzione Y- Curva Pushover



$$\zeta_E = 0,314$$

## 6 Sistemi di rinforzo strutturale

### I sistemi a cappotto – Applicazioni

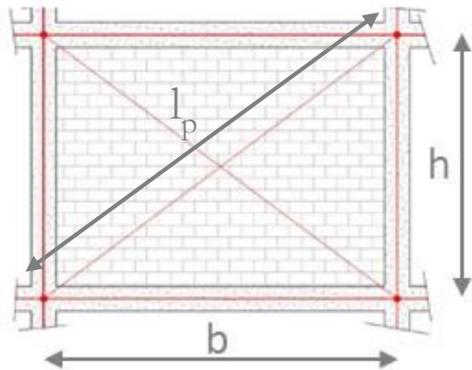


MIL15: Applicazione su edificio in c.a. – Intervento Globale

#### 3. Dimensionamento del sistema

##### Step 1

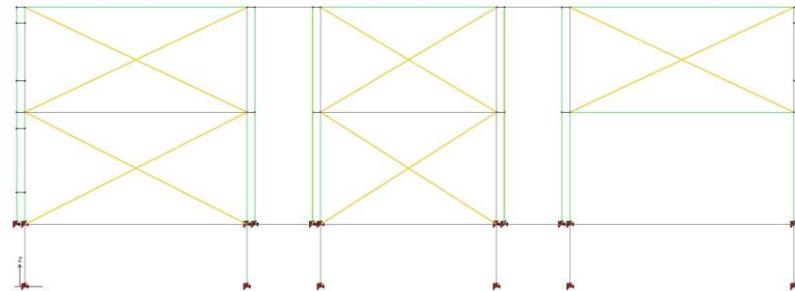
Il cappotto composto dal pannello sandwich come sistema sismo – resistente si schematizza con una coppia di diagonali equivalenti.



##### Step 2

Calcolo della rigidezza delle diagonali considerando l'inverso della somma delle deformabilità del sistema, valutata secondo l'equazione (1) e determinata attraverso le indicazioni dell'EC3 per le lamiere grecate dei pannelli sandwich e della CNR-DT 206 R1/2018 per i pannelli OSB:

$$K = 1/S_{def.} \quad (1)$$



Modellazione Diagonali Equivalenti

##### Step 3

Nota la rigidezza equivalente, è possibile con l'equazione (2) derivare l'area e, quindi, le dimensioni di ogni diagonale.

$$K = E_p \cdot A_p / l_p \cdot \cos^2 \alpha \quad (2)$$

Dove:

- $E_p = E_s$  è il modulo elastico del materiale.
- $l_p$  = lunghezza equivalente, uguale a  $b/\cos\alpha$
- $\alpha = \arctg h/b$

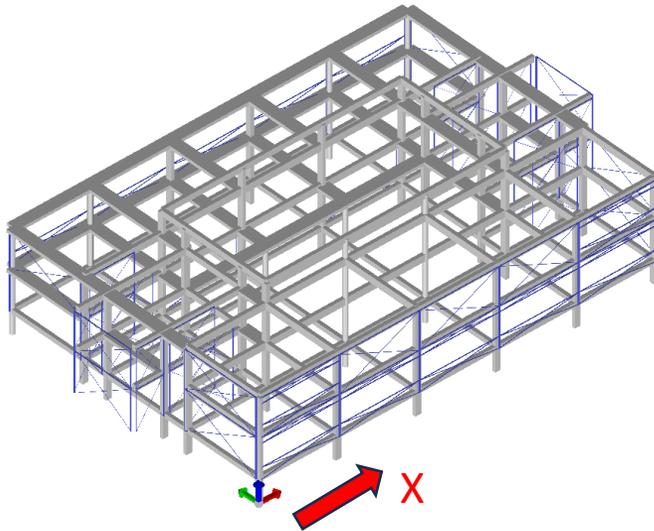
## 6 Sistemi di rinforzo strutturale

### I sistemi a cappotto – Applicazioni



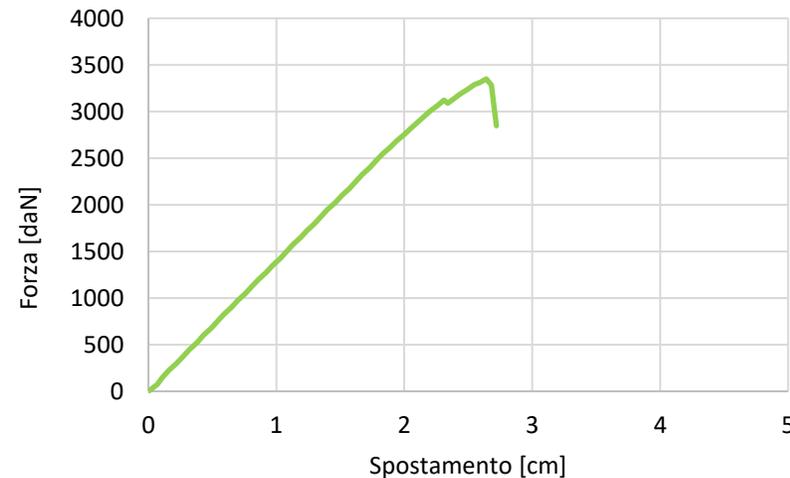
### MIL15: Applicazione su edificio in c.a. – Intervento Globale

#### 3. Modellazione SDP e risultati



Vista tridimensionale del caso studio con diagonali equivalenti (**Pannelli OSB**)

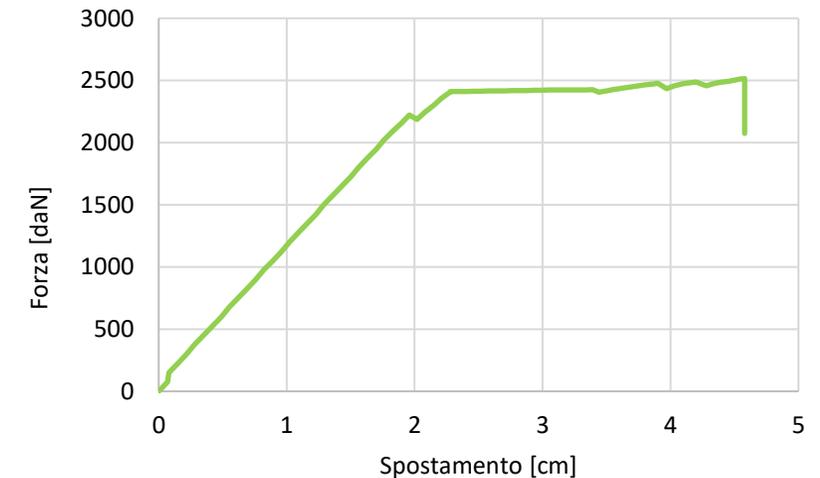
Direzione X - Curva Pushover



$$\zeta_E = 0,415$$

$$\zeta_E = 0,397 \text{ (prima intervento)}$$

Direzione Y- Curva Pushover



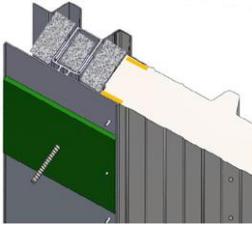
$$\zeta_E = 0,371$$

$$\zeta_E = 0,314 \text{ (prima intervento)}$$

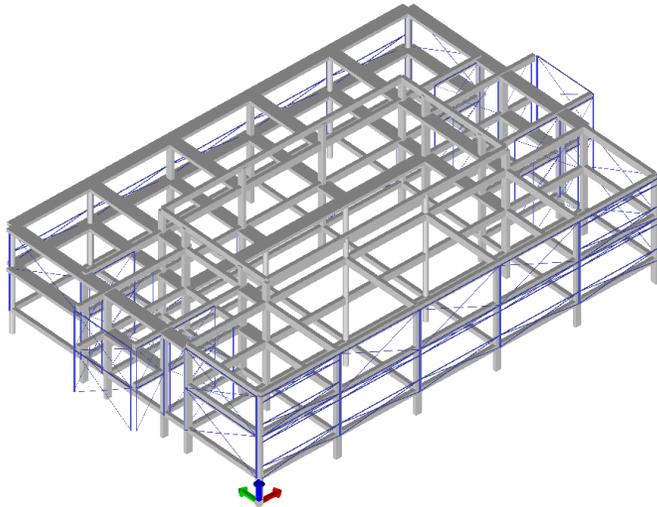
## 6 Sistemi di rinforzo strutturale

### I sistemi a cappotto – Applicazioni

#### MIL15.s: Applicazione su edificio in c.a. – Intervento Globale

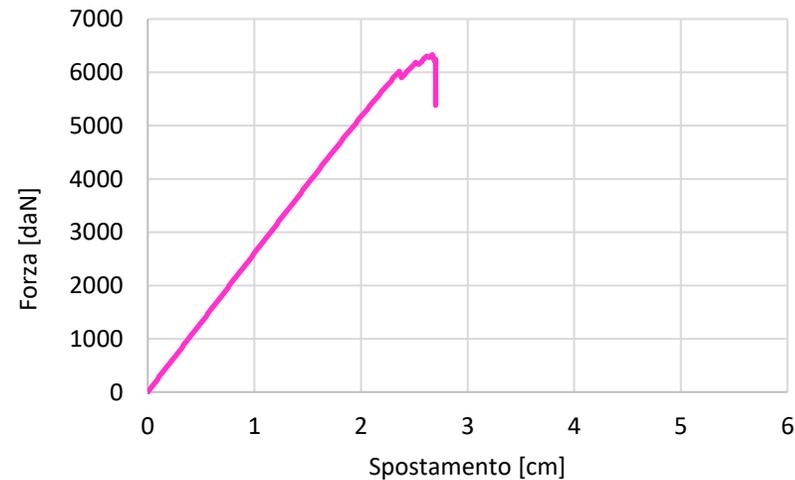


#### 3. Modellazione SDP e risultati



Vista tridimensionale del caso studio con diagonali equivalenti (**Pannello sandwich**)

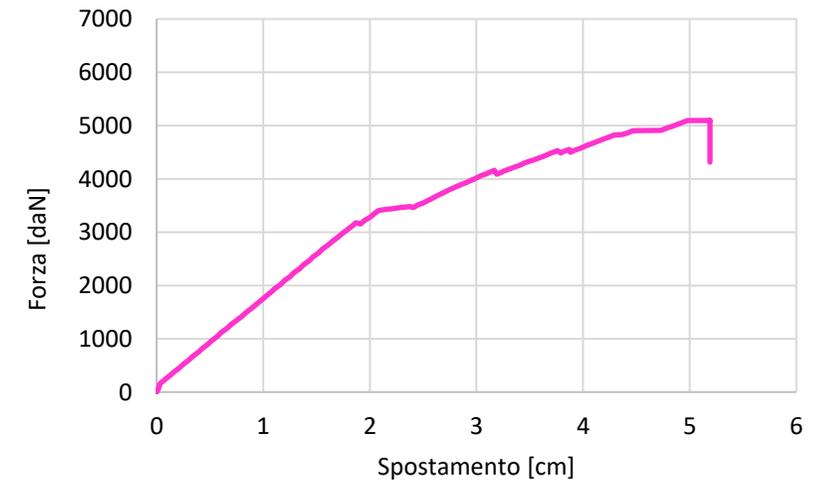
Direzione X - Curva Pushover



$$\zeta_E = 0,766$$

$$\zeta_E = 0,397 \text{ (prima intervento)}$$

Direzione Y- Curva Pushover



$$\zeta_E = 0,472$$

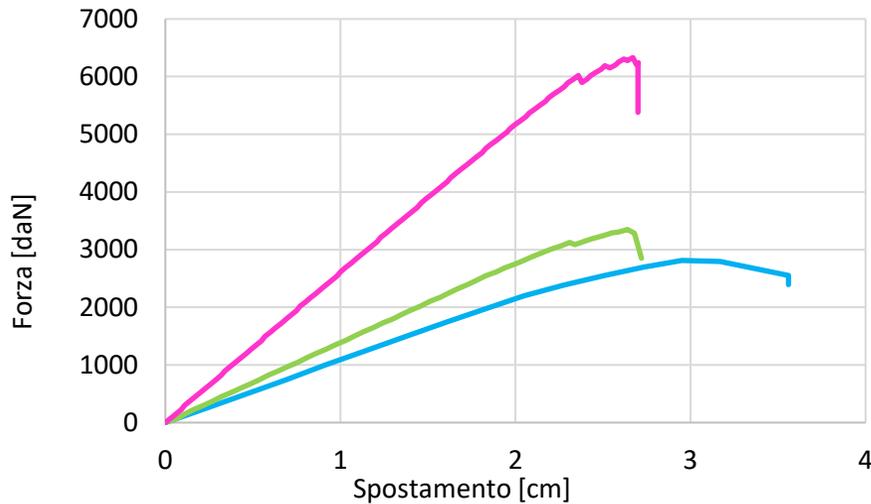
$$\zeta_E = 0,314 \text{ (prima intervento)}$$

## 6 Sistemi di rinforzo strutturale

### I sistemi a cappotto – Applicazioni

#### Confronto risultati

##### Direzione X



Variazioni % Fmax		
	SDF	MIL15
MIL 15	19.1%	-
MIL 15.s	125.1%	89.0%

Variazioni % du		
	SDF	MIL15
MIL 15	-23.6%	-
MIL 15.s	-24.2%	-1%

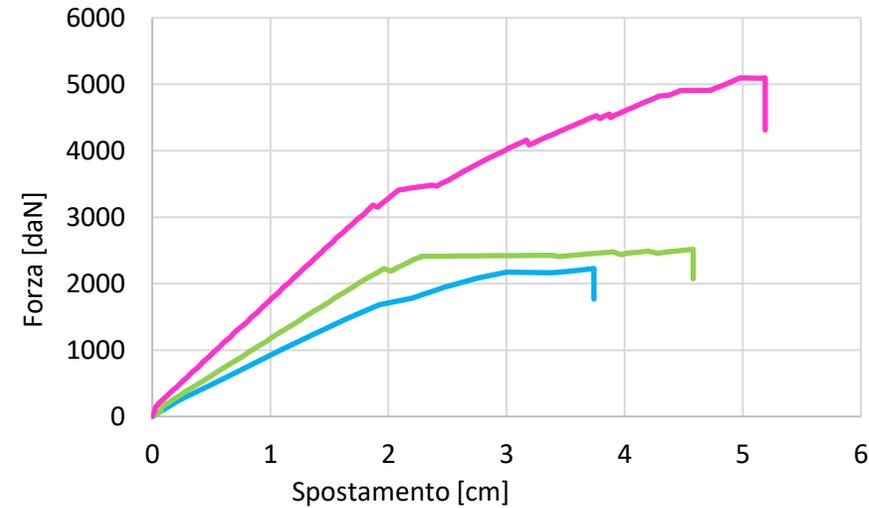
#### Legenda

- SDF
- MIL 15
- MIL 15.s

DIREZIONE X				
Tipo	Fmax [daN]	du [cm]	ζE	
SDF	2812.3	3.56	0.397	
MIL 15	3349.7	2.7	0.415	
MIL 15.s	6330.7	2.7	0.766	

Incremento ζE		
	SDF	MIL15
MIL 15	5%	-
MIL 15.s	93%	85%

##### Direzione Y



Variazioni % Fmax		
	SDF	MIL15
MIL 15	12.9%	-
MIL 15.s	128.8%	102.5%

Variazioni % du		
	SDF	MIL15
MIL 15	22.5%	-
MIL 15.s	38.8%	13%

#### Legenda

- SDF
- MIL 15
- MIL 15.s

DIREZIONE Y				
Tipo	Fmax [daN]	du [cm]	ζE	
SDF	2227.1	3.74	0.314	
MIL 15	2515.4	4.6	0.371	
MIL 15.s	5094.9	5.19	0.472	

Incremento ζE		
	SDF	MIL15
MIL 15	18%	-
MIL 15.s	50%	27%

## 6 Sistemi di rinforzo strutturale

### Sistema FRCM con fibre di canapa – Sperimentazioni

#### Intonaco rinforzato con rete in fibra di canapa

##### Materiali

- Muretto



Mattoni pieni

- Intonaco

Intonaco eco-compatibile di pura calce naturale NHL 3,5 (EN 459-1)

Intonaco sismo-resistente

- Rete di rinforzo



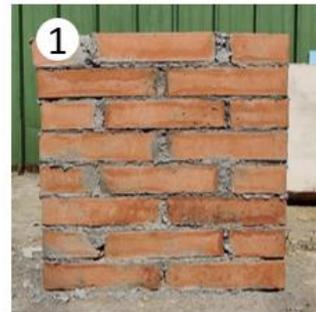
- D = 2,2 mm



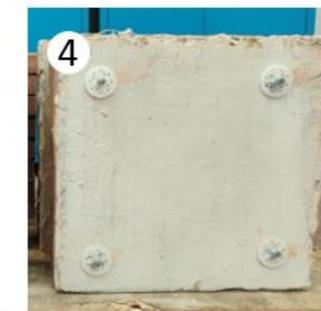
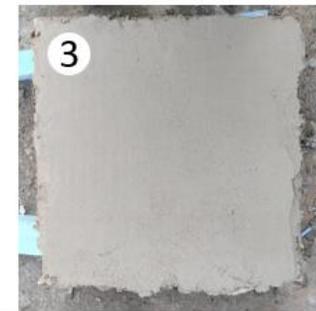
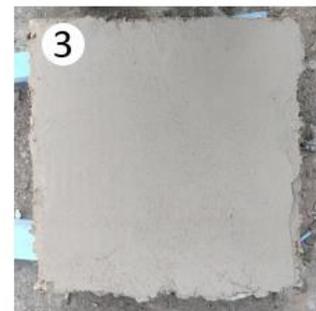
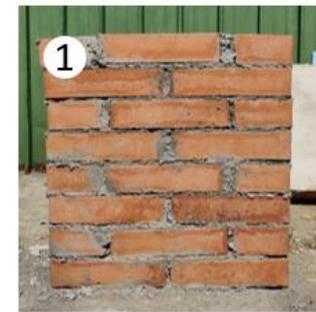
Malta

##### Preparazione provini

- Provino di controllo (Control\_01)



- Provino rinforzato (Reinf\_01)



FASE 1 – muretto 50x50 cm

FASE 2 – rete in fibra di canapa maglia 20x20 mm

FASE 3 – intonaco

FASE 4 – ancoranti meccanici

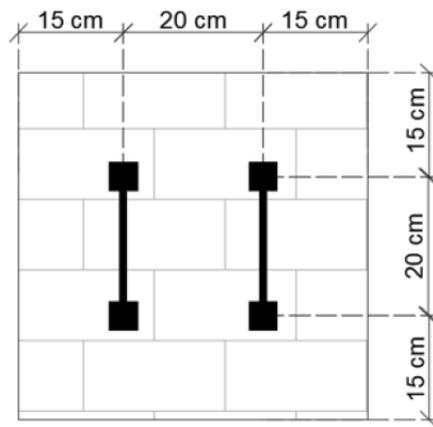
## 6 Sistemi di rinforzo strutturale

Sistema FRCCM con fibre di canapa – Sperimentazioni

## Intonaco rinforzato con rete in fibra di canapa

## Prova di compressione

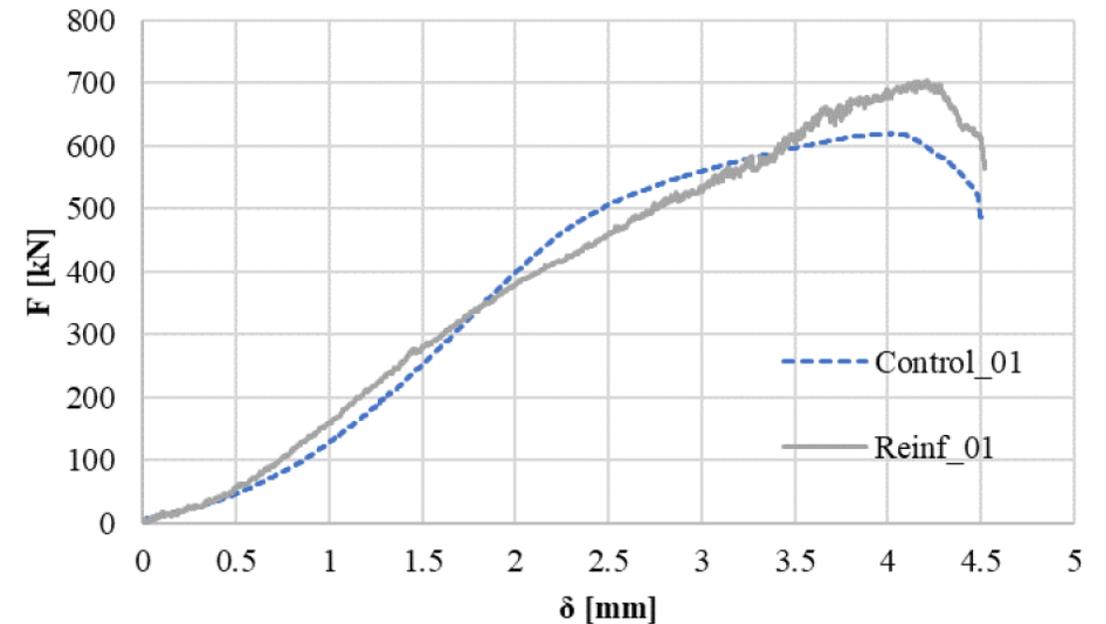
## • Estensimetri



## • Esecuzione test



## • Risultati



→ La rete in fibra di canapa consente di ottenere un **incremento di resistenza** di circa il **15%** rispetto al muretto non rinforzato

→ La rete in fibra di canapa consente di ottenere un **incremento di rigidità iniziale** di circa il **20%** rispetto al muretto non rinforzato

## 6 Sistemi di rinforzo strutturale

### Sistema FRCCM con fibre di canapa – Sperimentazioni

#### Intonaco rinforzato con rete in fibra di canapa

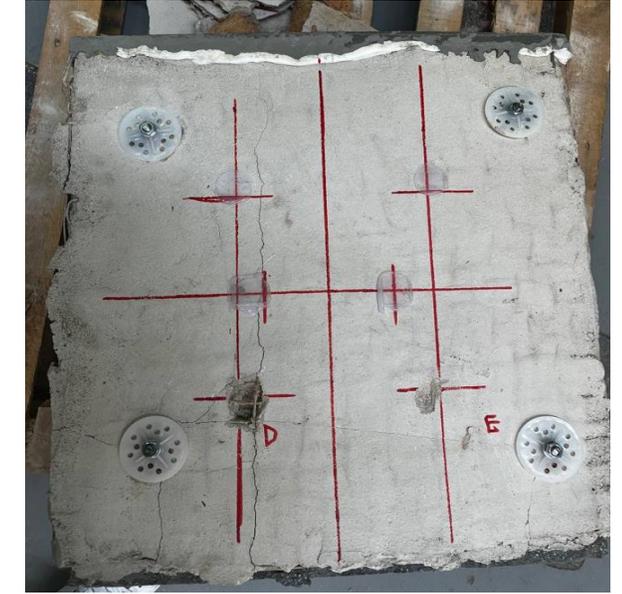
#### Prova di compressione – modalità di collasso

- Provino di controllo (Control\_01)



→ Il provino non rinforzato alla fine del test ha mostrato numerose lesioni verticali e la quasi totale espulsione degli strati di intonaco sulle due facce.

- Provino rinforzato (Reinf\_01)



→ Il provino rinforzato alla fine del test ha mostrato un quadro fessurativo capillare senza significative lesioni. La rete in canapa ha evitato l'espulsione dell'intonaco, confermando l'efficacia del rinforzo.

GRAZIE PER LA  
CORTESE ATTENZIONE