



Con il
patrocinio del
Comune di
Sant'Agnello



Corso di Formazione

Impiego dell'acciaio nelle strutture esistenti, retrofit sismico e problemi di durabilità



Mercoledì 29 Gennaio 2025



Villa Crawford - Via Nuovo Rione Cappuccini 2, S.Agnello (NA)

Vulnerabilità e Retrofit sismico con sistemi in carpenteria metallica di edifici esistenti in muratura e in c.a.



Prof. Ing. Antonio Formisano

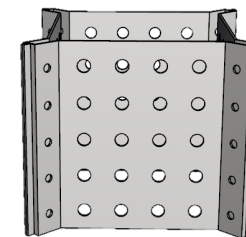


Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura - Università degli Studi di Napoli "Federico II"

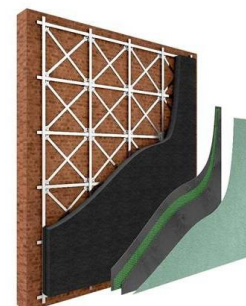
Indice

- 1 Introduzione
- 2 Comportamento e vulnerabilità degli edifici in muratura in zona sismica
- 3 Danneggiamento sismico e degrado delle strutture in c.a.
- 4 Retrofit sismico: principali soluzioni
- 5 Esempi applicativi
 - 5.1 **Caso 1:** Rinforzo locale di colonne in c.a.
 - 5.2 **Caso 2:** Intervento globale mediante esoscheletri leggeri metallici su un edificio scolastico in c.a.
 - 5.3 **Caso 3:** Intervento globale mediante un esoscheletro leggero in lega di alluminio su un aggregato edilizio in muratura

Intervento
locale



Intervento
globale



Resisto 5.9

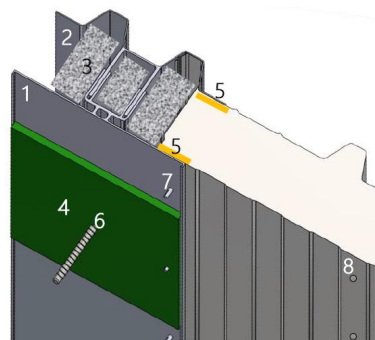


DuoSystem



MIL15

Intervento
globale



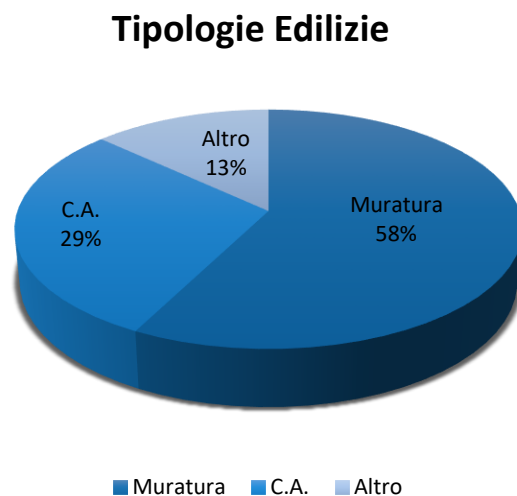
MIL15.s

Le tipologie strutturali

Secondo il 15° Censimento ISTAT della popolazione e delle abitazioni (2011), le tipologie costruttive che caratterizzano il patrimonio edilizio esistente sono 3:

- **Muratura portante;**
- **Calcestruzzo armato;**
- **Altri materiali (Acciaio, legno).**

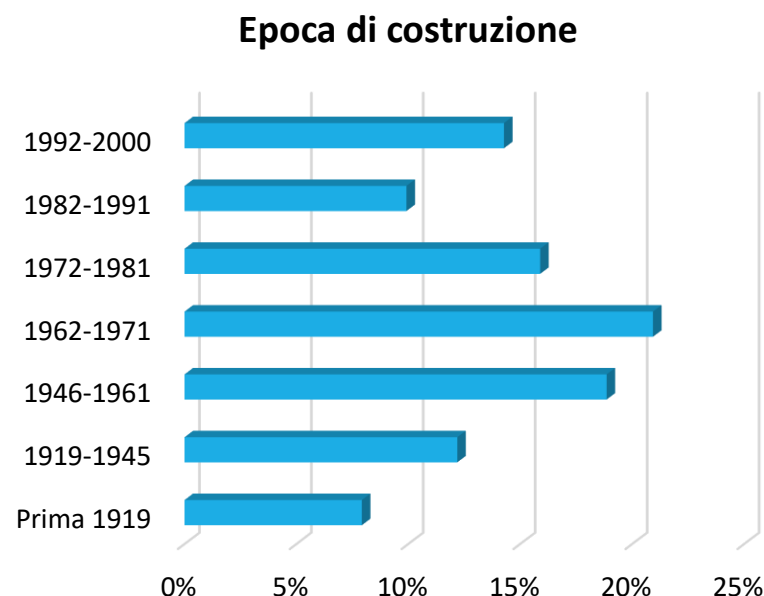
Fonte: ISTAT, 2011



L'età del patrimonio edilizio esistente

Gran parte degli edifici esistenti sia in muratura che in c.a. è stata realizzata prima degli anni '80 del XX secolo e dunque senza alcun criterio di progettazione antisismico.

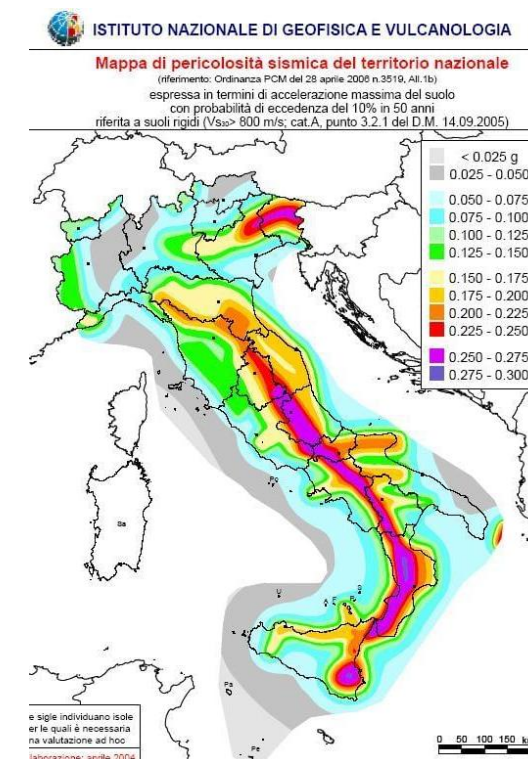
Fonte: ISTAT, 2011



Per questo motivo, questi edifici non sono in grado di sopportare azioni sismiche ed oggi si trovano in condizioni di avanzato degrado.



Inoltre, una larga percentuale degli edifici esistenti si trova nelle zone a sismicità più elevata (Abruzzo, Marche e in generale l'intera dorsale appenninica).



Problemi di natura energetica

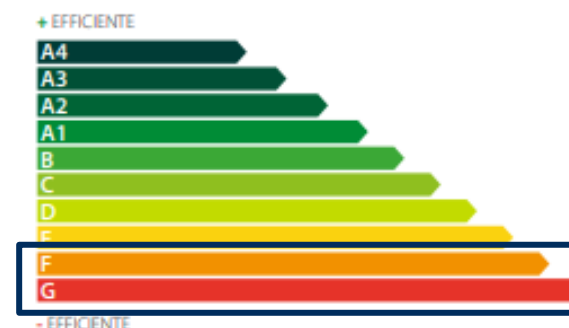
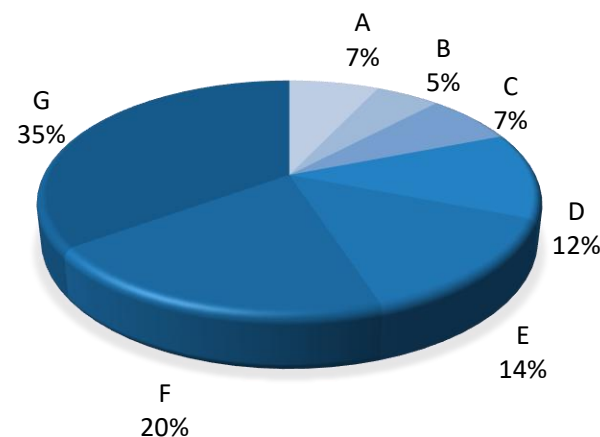
Oltre agli inevitabili danni dovuti all'assenza di una progettazione antisismica, tali strutture presentano anche problemi di **natura energetica**, presentando notevoli fenomeni di **dispersioni termiche**.



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

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

Efficienza energetica del patrimonio edilizio italiano
ENEA

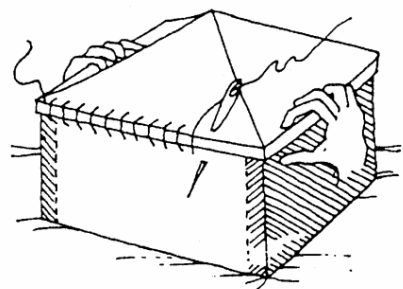


È dunque necessario applicare una **strategia di intervento integrata** in grado di coniugare sia gli aspetti sismici, spesso trascurati, che quelli energetici al fine di **migliorare** il comportamento sismico ed energetico del patrimonio edilizio esistente.

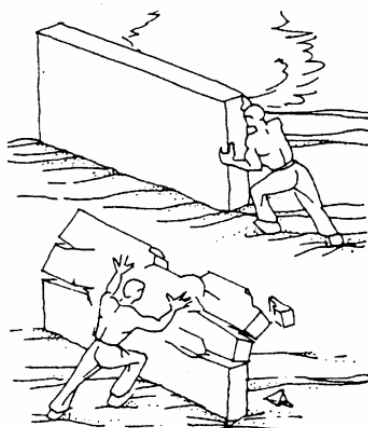
Il comportamento di una struttura in muratura

Affinché una struttura in muratura possa resistere all'azione sismica, è necessario che sia stata concepita con un **COMPORTAMENTO SCATOLARE**, in modo da sollecitare le pareti nel proprio piano e da conferire opportuna stabilità e robustezza all'insieme.

Un edificio in muratura è quindi una struttura complessa in cui tutti gli elementi cooperano nel resistere ai carichi applicati.



La resistenza delle pareti a forze agenti nel loro piano è molto più grande rispetto alla resistenza alle forze ad essi ortogonali.

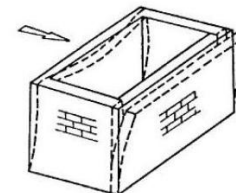
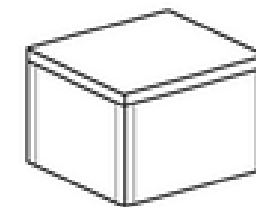
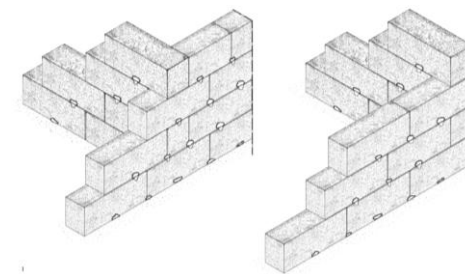


Come si ottiene il comportamento scatolare

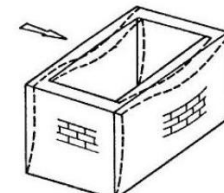
1. Ammorsamenti

Devono essere realizzati ammorsamenti non solo tra le pareti verticali adiacenti, ma anche tra paramenti murari e orizzontamenti, realizzando opportuni cordoli di piano.

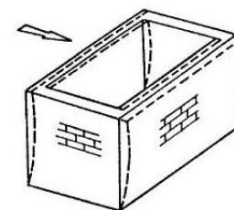
In questo modo, si trasmettono i carichi verticali dai solai alle murature portanti.



a) con solaio deformabile e senza cordolo



b) con cordolo e con solaio deformabile



c) con cordolo e con solaio rigido

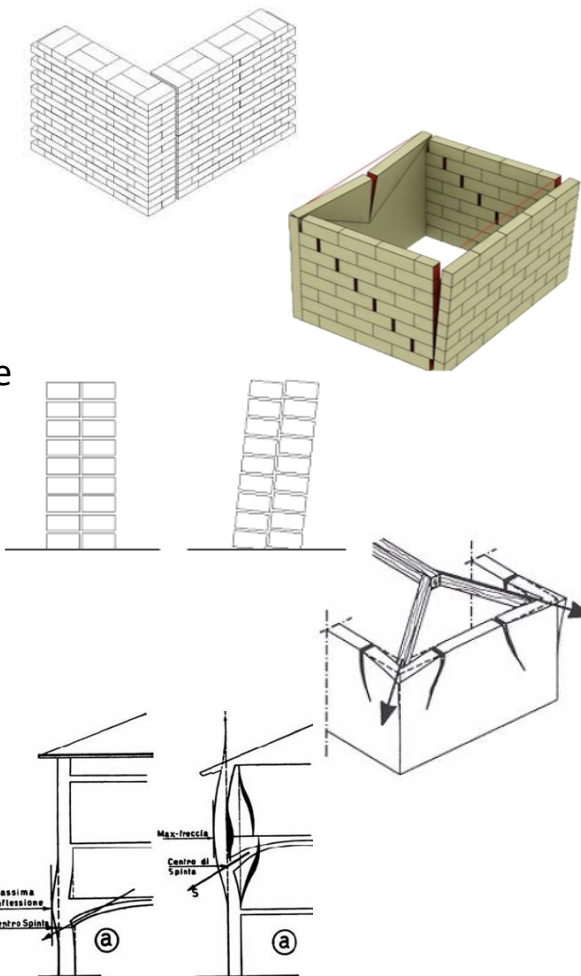
2. Solai di opportuna rigidità

Il solaio infatti serve, in quanto diaframma orizzontale, a ripartire le forze sismiche sui vari pannelli murari.

La vulnerabilità degli edifici esistenti in muratura

Un'elevata vulnerabilità degli edifici in muratura esistenti può derivare da:

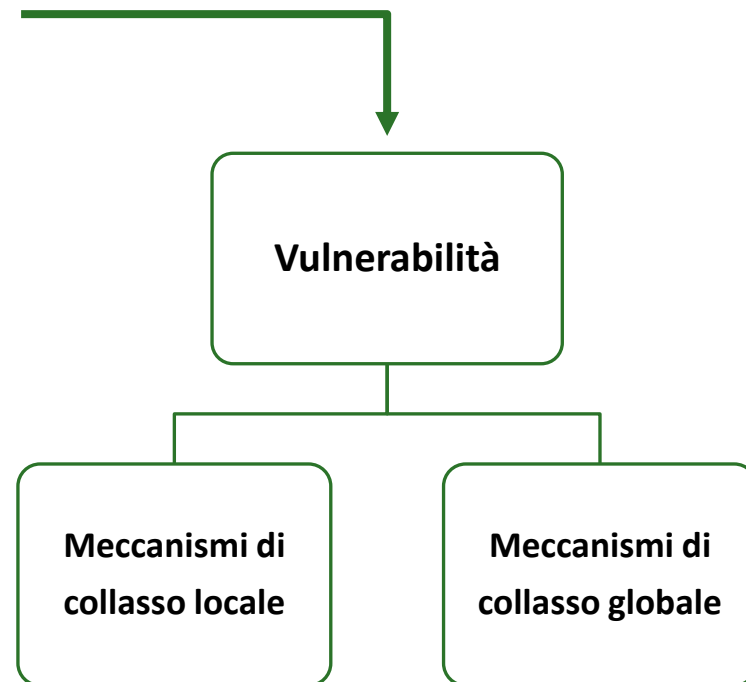
- ❑ Scarsa qualità muraria;
- ❑ Paramenti murari di elevato spessore non connessi;
- ❑ Scarsa attenzione alla realizzazione di dettagli costruttivi;
- ❑ Assenza di ammorsamenti;
- ❑ Pochi incatenamenti;
- ❑ Appoggi travi poco efficaci;
- ❑ Carichi elevati;
- ❑ Spinte di volte ed archi non contrastate;
- ❑ Coperture spingenti.



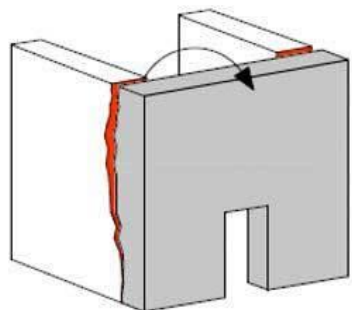
Assenza di
comportamento
scatolare



L'edificio non è in grado di comportarsi come un unico insieme di sistemi strutturali orizzontali e verticali, collegati tra loro, capaci di sopportare le sollecitazioni provenienti da eventi di vario tipo.



Meccanismi locali



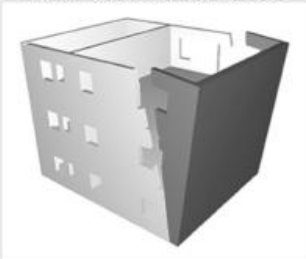
Meccanismi fuori piano - I modo

I **meccanismi di primo modo o meccanismi locali** corrispondono a cinematismi fuori piano di singole pareti o di porzioni di struttura. Si tratta di **fenomeni di ribaltamento e flessione** che portano a collasso la struttura per perdita di equilibrio. Il quadro fessurativo può fornirci un'indicazione di quali meccanismi si possano attivare sulla struttura.

Ribaltamento semplice di parete



Ribaltamento composto di parete



Flessione orizzontale di parete



Flessione verticale



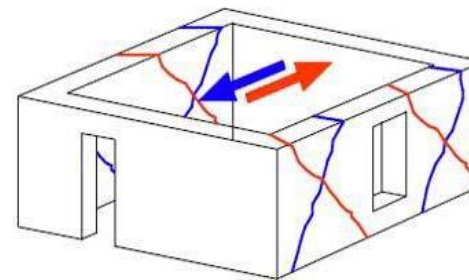
Ribaltamento del cantonale



Sfondamento del timpano



Meccanismi globali

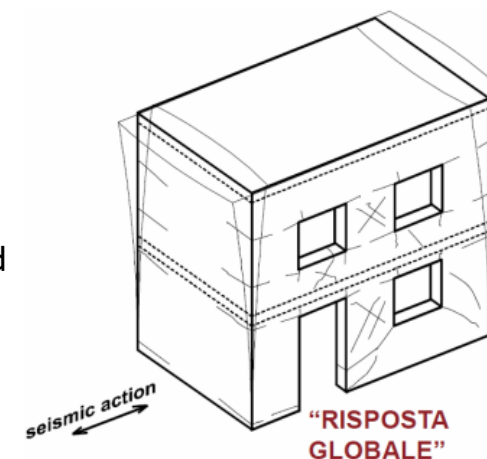


Meccanismi nel piano - II modo

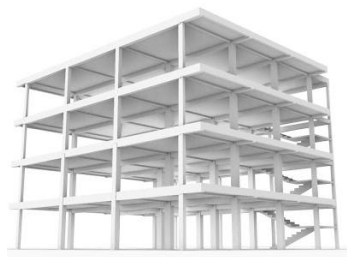
I **meccanismi di II modo** riguardano la risposta della parete nel proprio piano, con tipici danneggiamenti per taglio e flessione. La rottura avviene per superamento della resistenza ultima del materiale. Tali cinematismi si attivano in strutture in grado di sviluppare una risposta globale alla sollecitazione sismica ovvero quando sono impediti (o comunque resi poco probabili) i meccanismi di collasso locali fuori dal piano (presenza di catene, cordoli...).

Il **buon ammassamento** delle pareti e l'efficace vincolo tra pareti e orizzontamenti scongiurano fenomeni di ribaltamento e flessione fuori del piano.

Le pareti, collaborando tra loro, riescono ad attivare una risposta nel loro piano che meglio sfrutta le capacità di rigidità e resistenza della muratura e garantiscono maggiore sicurezza.



Tipologie di collasso in zona sismica degli edifici in c.a.



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

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

MECCANISMI LOCALI

Dipendono dal singolo elemento e possono non inficiare il comportamento globale se interessano solo una piccola porzione strutturale

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

Principali cause

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

Danneggiamento delle membrature in c.a.

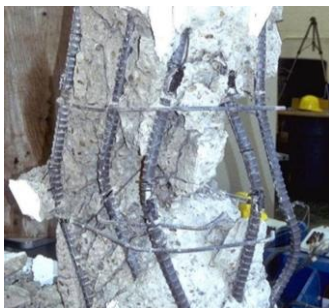
PILASTRI

Compressione



- Eccessivo sforzo assiale.
- Si manifesta inizialmente con lesioni verticali e poi con lo spancimento del pilastro per la rottura del calcestruzzo.

Pressoflessione



- Basso grado di confinamento.
- Instabilizzazione delle barre in compressione.
- Sfilamento delle barre in trazione.
- Schiacciamento del calcestruzzo compresso non confinato.

Taglio



È il meccanismo più diffuso negli elementi tozzi.

- Staffatura esigua.
- Si manifesta con le classiche lesioni a X.

TRAVI

Flessione

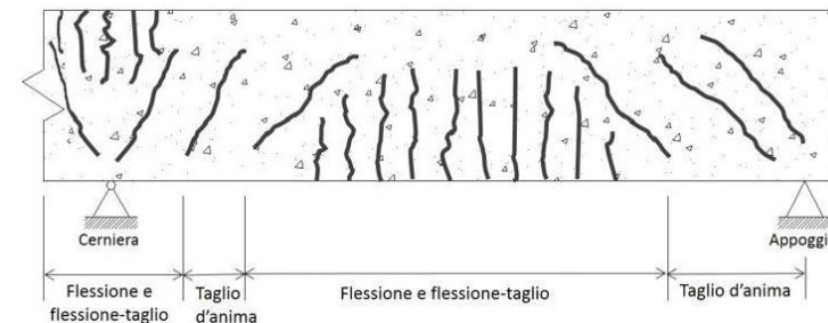


- Carenza di armatura in zona tesa.
- Collasso duttile.
- Lesioni ortogonali alla linea d'asse in corrispondenza delle zone tese della trave.

Taglio



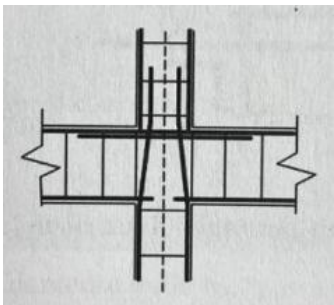
- Carenza di armatura trasversale.
- Collasso fragile.
- Lesioni a 45° rispetto all'asse longitudinale in corrispondenza delle sezioni di appoggio.



Danneggiamento delle membrature in c.a.

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



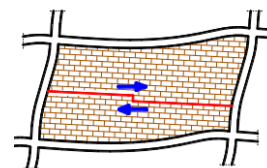
Rottura fragile del nodo ortogonalmente alle isostatiche di trazione.

Instabilizzazione delle barre longitudinali in assenza di elementi che limitino la lunghezza libera di inflessione.

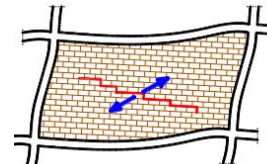


TAMPONATURE

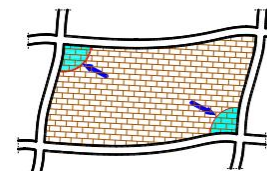
Nel piano



Scorrimento orizzontale nella zona centrale della tamponatura dovuto alle tensioni tangenziali.



Trazione diagonale nella zona centrale della tamponatura.

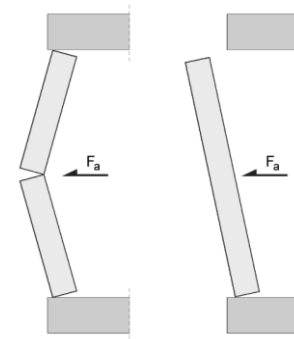


Schiacciamento in prossimità degli spigoli dove è applicata direttamente la pressione di contatto.

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

Fuori 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.

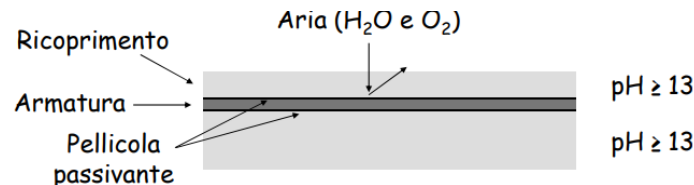
Durabilità degli elementi strutturali in c.a.

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.

Corrosione delle armature

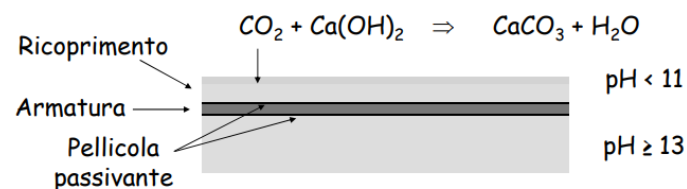
La **pellicola passivante** impedisce il contatto tra aria umida e armature e quindi **impedisce la corrosione**.

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

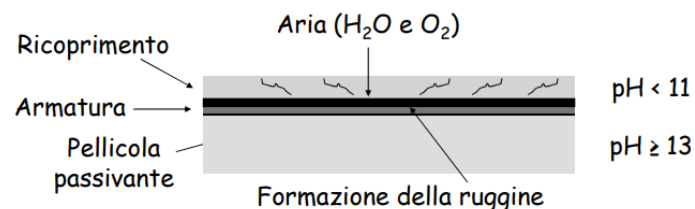


CARBONATAZIONE

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



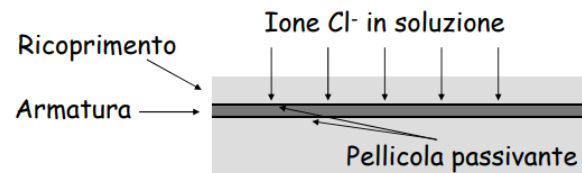
- Il fenomeno dissolve l'intero film protettivo innescando la corrosione.



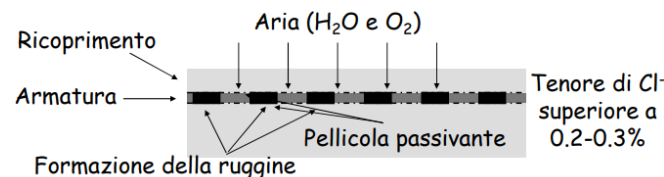
La velocità del fenomeno dipende dal rapporto A/C e dallo spessore del ricoprimento.

CLORURI

- L'acqua penetra nel cls portando lo ione cloruro Cl^- .



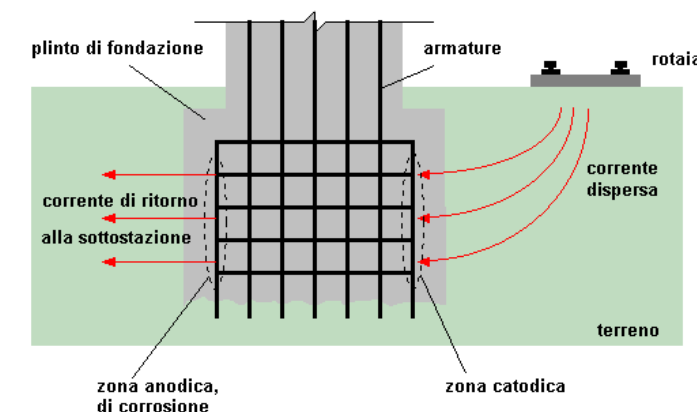
Fenomeno localizzato inizia a dissolvere il film protettivo quando il tenore di cloruri supera lo 0.2-0.3%.



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.

Le tipologie di intervento anti-sismico

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

- ❑ Interventi finalizzati al ripristino della sicurezza (locali)
- ❑ Interventi volti all'aumento della sicurezza (miglioramento)
- ❑ Interventi deputati a rendere l'edificio analogo ad un edificio nuovo (adeguamento)

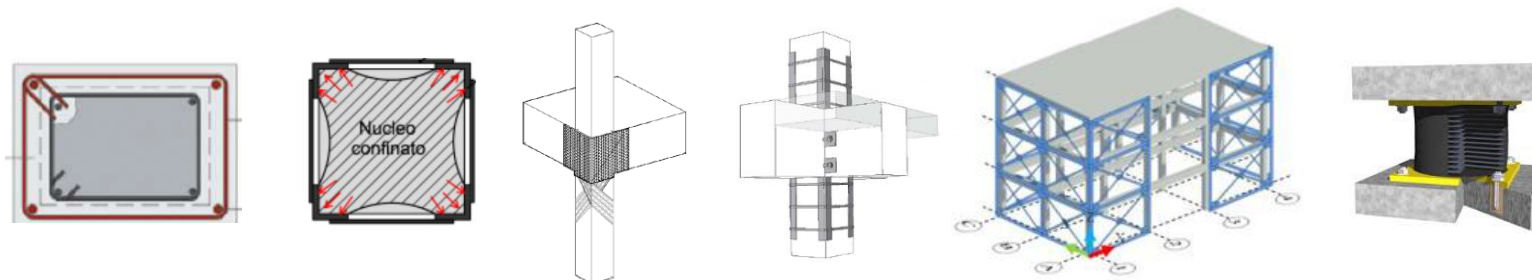
Sistemi di retrofit strutturale

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 che aumentano la capacità
- Introduzioni di nuovi elementi strutturali che riducono la domanda



Le principali soluzioni di retrofit

Sistemi di retrofit energetico

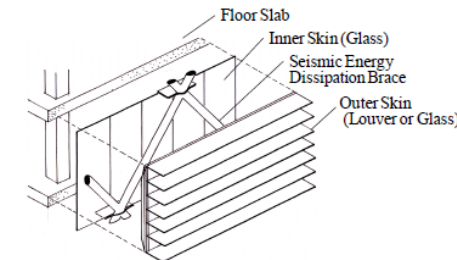
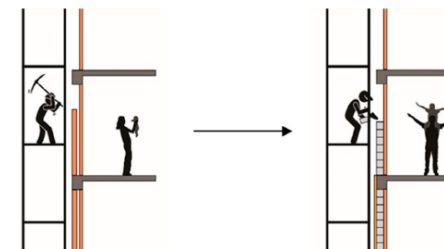
- Isolamento termico delle superfici opache
- Sostituzione infissi
- Installazione di sistemi di schermatura solare
- Sostituzione impianti di riscaldamento/raffrescamento
- Passaggio a fonti energetiche rinnovabili



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 a strati incrociati (C.L.T. – Cross Laminated Timber)
- Esoscheletri in c.a. o in acciaio con sistemi di coibentazione termica
- Facciate ventilate con controventi dissipativi

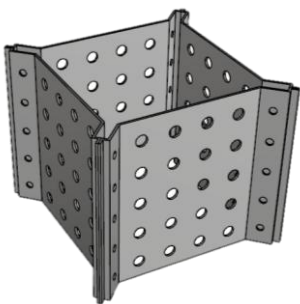
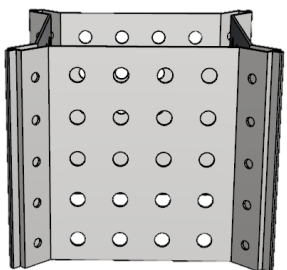


Caso 1: Rinforzo localeCaso studio:

Edificio residenziale
in c.a. a Pozzuoli (NA)

Soluzione:

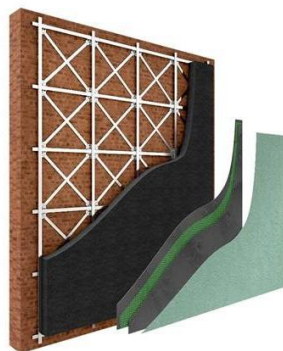
Lamiere forate in acciaio

**Caso 2:** Rinforzo globale – Ed. in c.a.Caso studio:

Edificio scolastico in c.a. a Somma Vesuviana
(NA)

Soluzione:

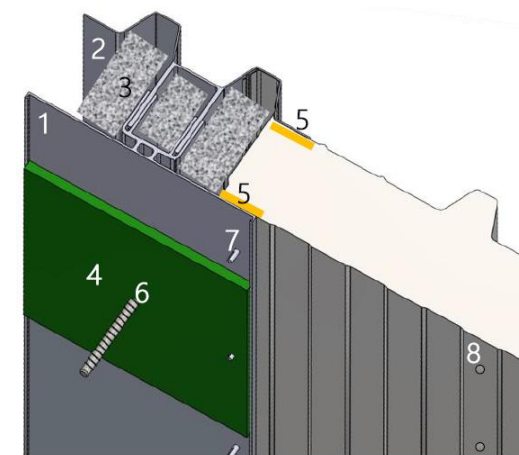
Confronto tra tre sistemi integrati di retrofit
sismico – energetico

**Resisto 5.9****Duo System****MIL15****Caso 3:** Rinforzo globale – Ed. in muraturaCaso studio:

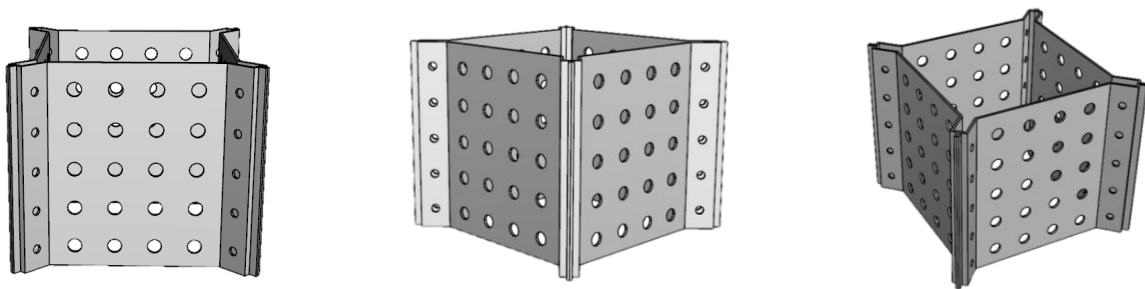
Edificio residenziale in configurazione
aggregata a Castelpoto (BN)

Soluzione:

Sistema integrato sismico – energetico MIL15s



Lamiere Forate in acciaio



Proprietà:

- Lamiere in acciaio forate posizionate sulle quattro facce del pilastro e bullonate tra loro.
- Presenza dei fori:
 - Ridurre il peso della lamiera → Minor materiale impiegato → Risparmio economico.
- Lamiere con un'opportuna piegatura terminale a forma di Z per tutta l'altezza del pilastro → Presso-piegatura.
- Sistema di serraggio in cantiere:
 - Bullonatura alle estremità angolari delle piastre → Bulloni di classe 8.8.

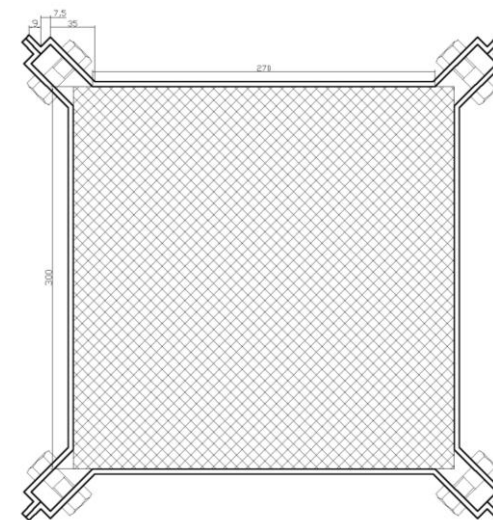
Vantaggi

Prestazioni:

- **Azione di confinamento** per aumentare duttilità e resistenza della sezione;
- Incremento **della resistenza al taglio e a compressione** del calcestruzzo;
- **Azione di contrasto** per evitare la possibile instabilità delle armature compresse;

Risparmio economico:

- **Leggerezza;**
- **Prefabbricazione;**
- Minor tempo di **installazione** in cantiere;
- **Collegamenti bullonati** in luogo di quelli saldati;
- Non è necessaria una **manodopera** specializzata.



Lamiere Forate in acciaio

Analisi teorica (NTC 2018)

Formule di letteratura (NTC 2018)

➤ Resistenza a taglio aggiuntiva V_j

$$V_j = 0,5 * \frac{2t_j b}{s} * f_{yk} * d$$

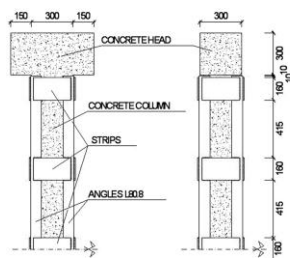
➤ Resistenza del calcestruzzo confinato f_{cc}

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

➤ Deformazione ultima del calcestruzzo confinato ε_{cu}

$$\varepsilon_{cu} = 0,004 + 0,5 * \frac{0,5 \alpha_n \alpha_s \rho_s f_y}{f_{cc}}$$

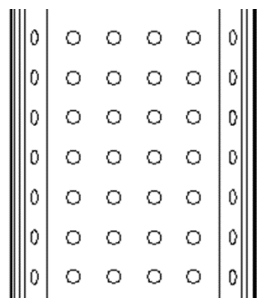
Campagna sperimentale (ADAM ET AL., 2007): Colonna: 30x30x250 cm - Armatura: 4Φ12 longitudinali e staffe Φ6/20" - Calastrelli 270x160x8 mm (passo 415 mm) – Angolari 80x80x8 mm



Calastrelli										Angolari					
acciaio	f _{yk}	b bande	h bande	s	i'	i	n bande	n bande eff	Ares	La	Ha	sa	V _j	f _{cc}	ε _{cu}
-	Mpa	cm	cm	cm	cm	cm	-	-	cmq	cm	cm	cm	kN	Mpa	cm
S210	210	27	16	0,8	41,5	57,5	5,07	5,00	128	8	250	0,8	126,2	13,7	0,02



Analisi teorica di una lamiera forata con la stessa area resistente



Lamiera														
acciaio	f _{yk}	b	bres	h	s	i' fasce (2r fori)	i fasce	h fascia	n fasce	n fasce eff	Ares	V _j	f _{cc}	ε _{cu}
-	Mpa	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	-	-	cmq	kN	Mpa	cm
S210	210	27	27	250	0,4	2,35	6,35	4	40,0	39,00	128	142,9	16,1	0,04

d = 23 mm h_{banda} = 40 mm
s = 4 mm l_{bande} = 270 mm

Lamiere Forate in acciaio

Step 1: Parti

Caratteristiche geometriche elementi modellati:

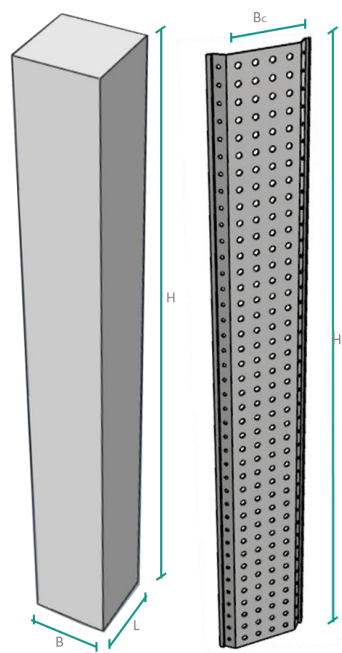
Elemento Staffa	
H_{st}	24 cm
L_{st}	24 cm
Φ_{st}	6 mm

Elemento Barra	
H_y	246 cm
Φ_y	12 mm

Elemento Colonna	
H	250 cm
B	30 cm
L	30 cm

Elemento Lamiera	
H	250 cm
B_c	27 cm
s	0,4 cm

Elemento	Abaqus
Staffa	Beam
Barra	Beam
Colonna	Solid
Lamiera	Shell

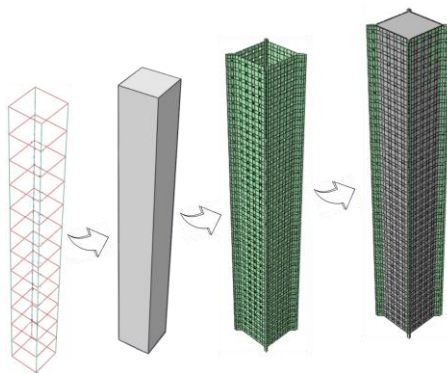


Step 2: Proprietà

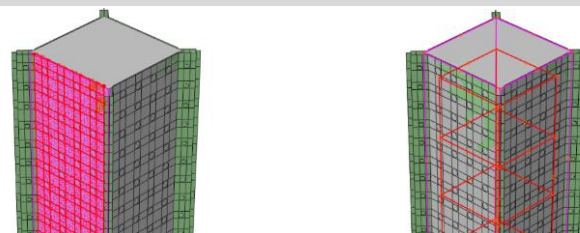
Materiali:

- Acciaio Lamiera: S210
- Acciaio Armatura: B450C
- Calcestruzzo: $f_c=10,6\text{MPa}$

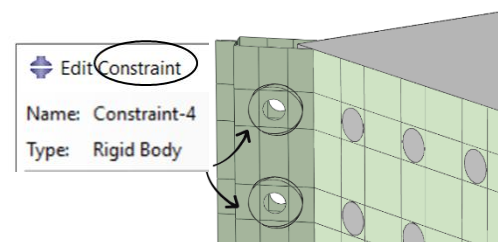
Step 3: Assembly



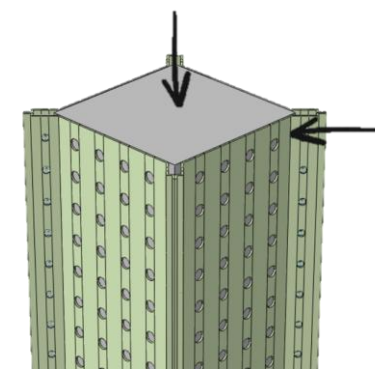
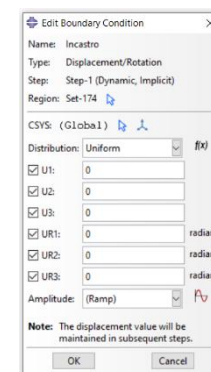
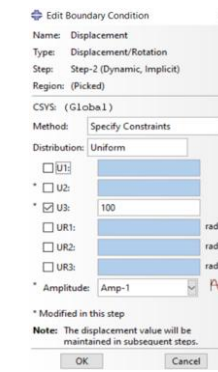
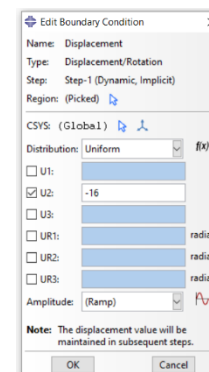
Step 4: Interazione



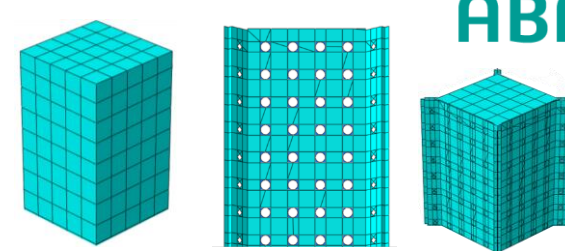
Step 5: Interazione



Step 6: Carichi



Step 7: Mesh



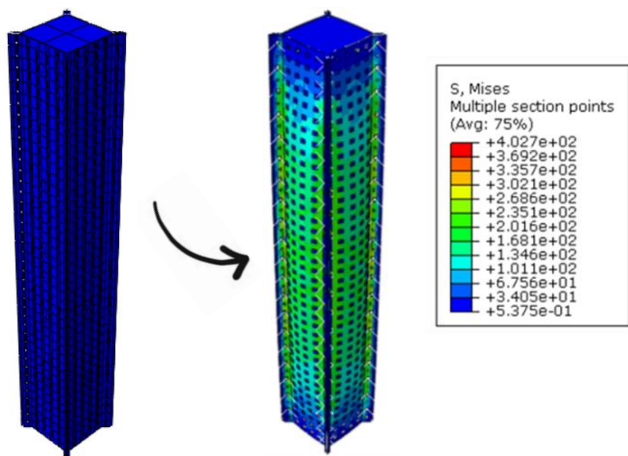
SIMULIA
ABAQUS

Acciaio-Calcestruzzo (Surface to Surface)

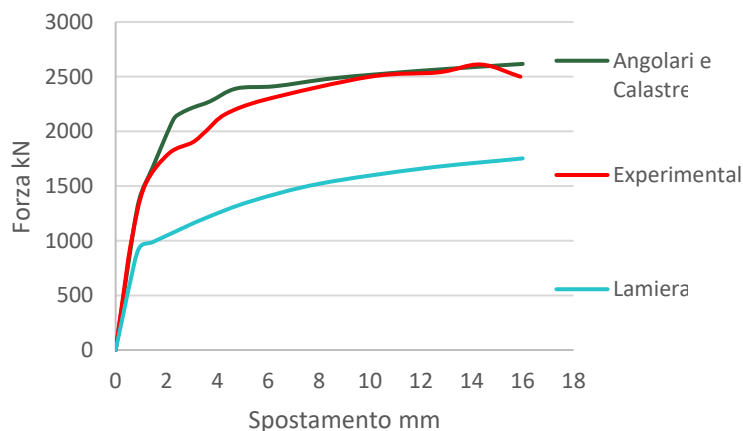
Comp. Tangenziale	Friction formulation	
	Friction Coeff	0.2
Comp. Normale	Pressure - Overclosure	
	Hard Contact	

Lamiere Forate in acciaio

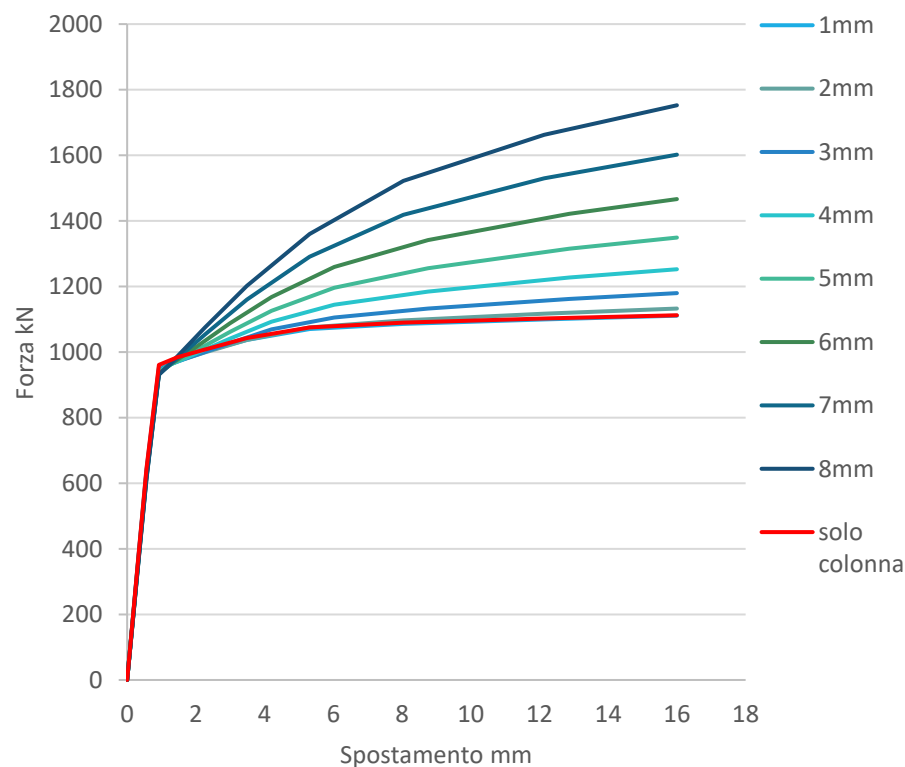
Step 8: Risultati



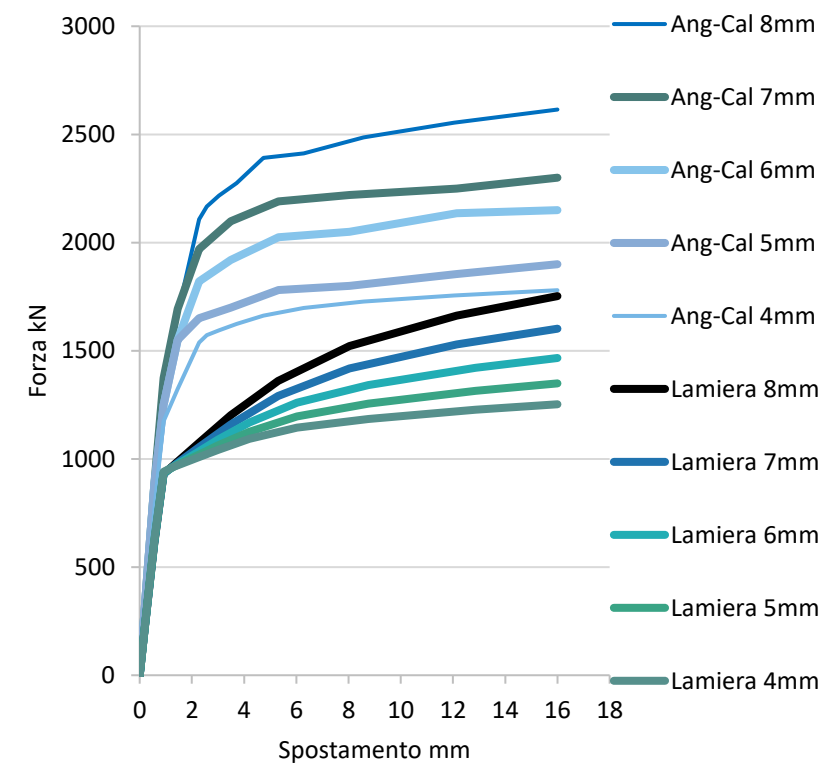
Calibrazione numerica dei risultati sperimentali



Analisi parametrica: variazione dello spessore della lamiera

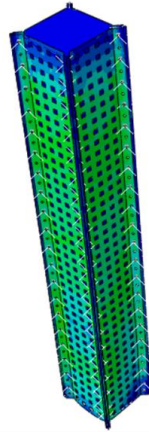
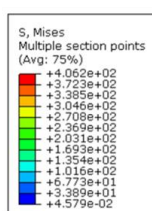
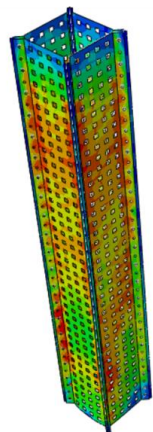
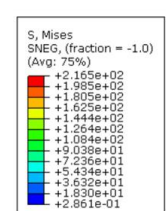


Confronto lamiera forata – angolari e calastrelli

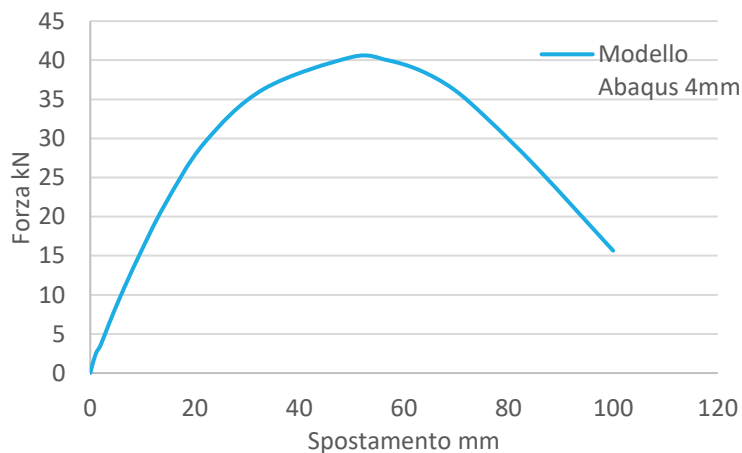


Lamiere Forate in acciaio

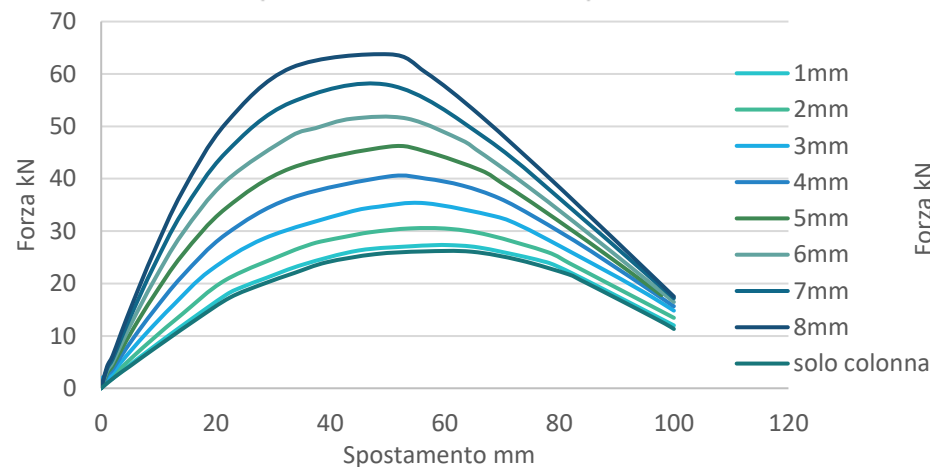
Step 8: Risultati



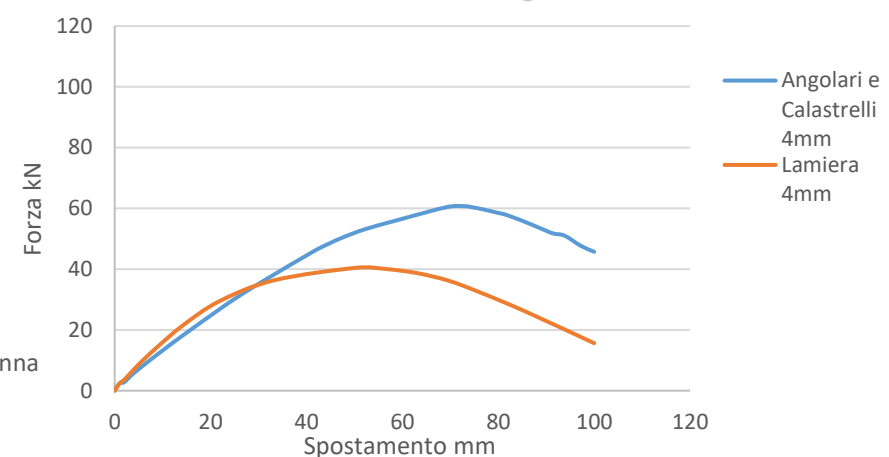
Calibrazione numerica dei risultati sperimentali



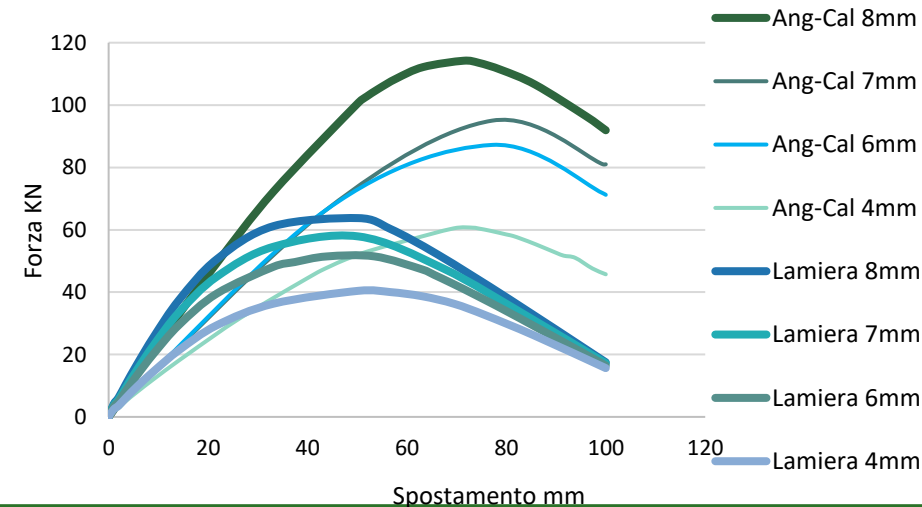
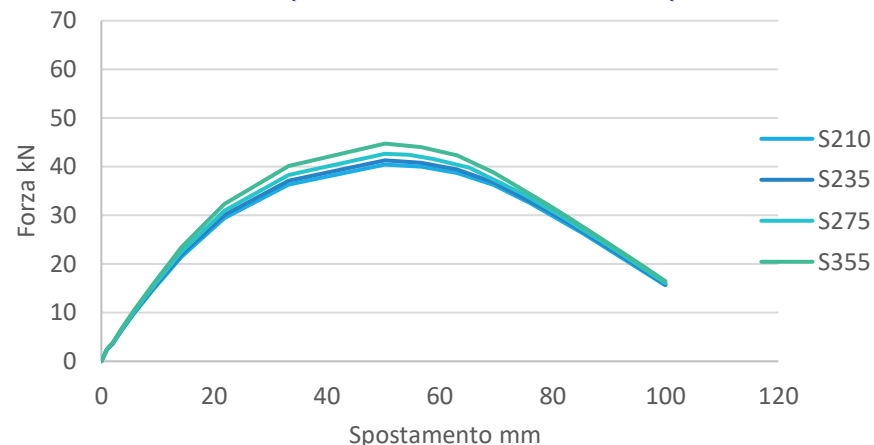
Analisi parametrica: variazione spessore della lamiera



Confronto lamiera forata – angolari e calastrelli



Analisi parametrica: variazione del tipo di acciaio



Lamiere Forate in acciaio

Analisi agli elementi finiti: [Verifica dei collegamenti](#)

Caratteristiche:

Lamiera			
B [mm]	H [mm]	sp [mm]	d [mm]
49,34	2500	4	14

Bulloni 8.8 M14			
d [mm]	fyb [Mpa]	ftb [Mpa]	As [mm^2]
14	640	800	115

Acciaio	
Fyk [Mpa]	Ftk [Mpa]
210	360

parametri input

Parametri variabili:

- Spessore lamiera: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
- Tipo di acciaio: S210, S235, S275, S355

➤ Verifica a taglio del bullone

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{tb} \cdot A_{res}}{\gamma_{M2}}$$

Verifica a taglio bulloni			
Fv,Ed [kN]	Fv,Rd [kN]	FvEd/FvRd	Verifica
8,0	67,1	0,12	VERO

Verifica
soddisfatta per
tutti i modelli

➤ Verifica a rifollamento della piastra

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} < 1$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Verifica a rifollamento lamiera			
Fb,Ed [kN]	Fb,Rd [Mpa]	Fb,Ed/Fb,Rd	Verifica
8,0	36,736	0,22	VERO

Verifica
soddisfatta per
tutti i modelli

➤ Verifica a trazione della sezione netta

$$\frac{F_{net,Ed}}{F_{net,Rd}} < 1$$

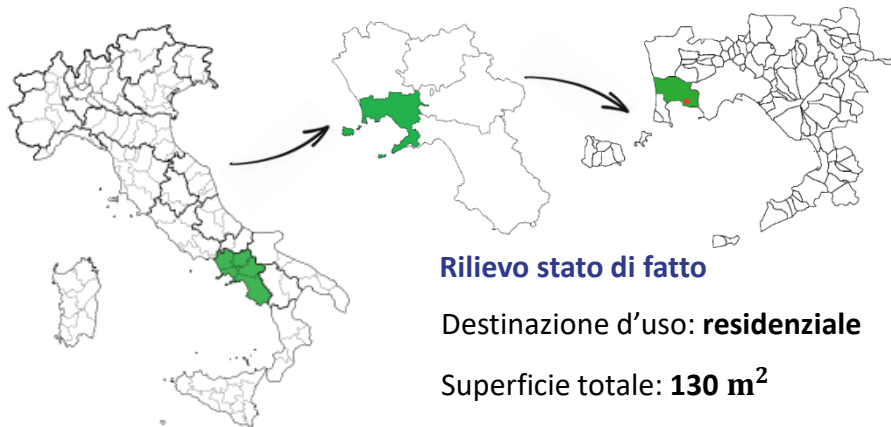
$$F_{net,Rd} = \frac{k \cdot f_{tk} \cdot A_{net}}{\gamma_{M2}}$$

Verifica a trazione della sezione netta			
Fnet,Ed [kN]	Fnet, Rd [kN]	Fnet,Ed/Fnet,Rd	Verifica
20	35,56	0,56	VERO

Verifica soddisfatta
per tutti i modelli
tranne che per
lamiera da 1mm

Lamiere Forate in acciaio

Localizzazione e inquadramento



Rilievo stato di fatto

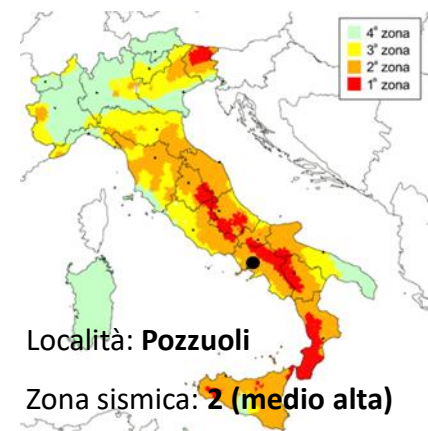
Destinazione d'uso: **residenziale**

Superficie totale: **130 m²**

Superficie appartamento: **110 m²**

Numero di piani: **3**

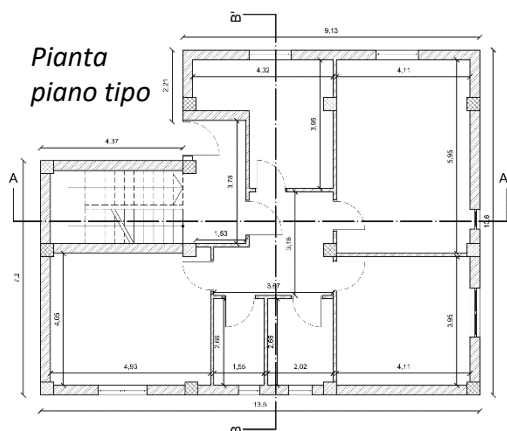
Classificazione sismica



Località: **Pozzuoli**

Zona sismica: **2 (medio alta)**

PGA: **0,17g**



Pianta
piano tipo

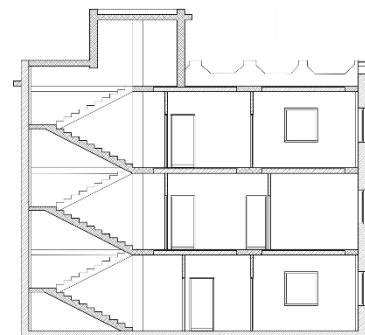
Regione: **Campania**

Provincia: **Napoli**

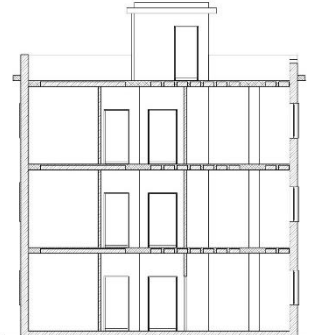
Comune: **Pozzuoli**



Sezione AA'

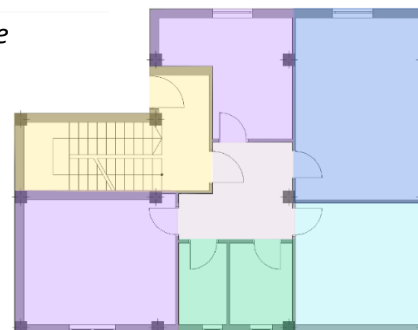


Sezione BB'



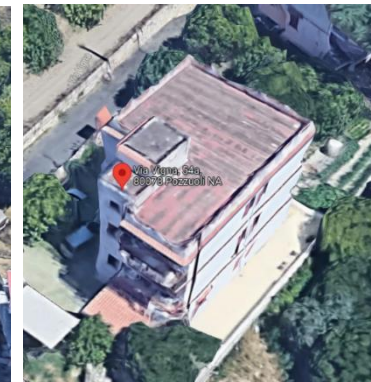
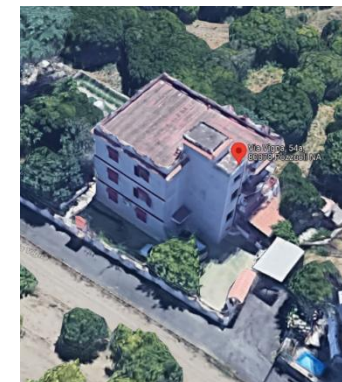
Distribuzione spaziale

- Camere da letto
- Soggiorno
- Cucina
- Bagni
- Connettivi
- Corpo scala



Applicazione numerica del sistema: Edificio residenziale in provincia di Napoli

Vista assonometrica



Prospetto Nord Est



Prospetto Nord Ovest



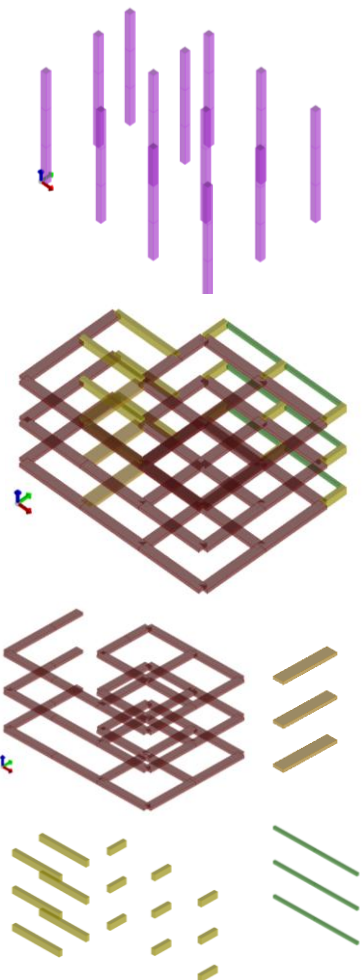
Lamiere Forate in acciaio

Tipologia Pilastri

- 40 x 40 cm
4 $\phi 16$, staffe $\phi 8/20$

Tipologia Travi

- 60 x 22 cm (a spessore)
Af sup= 4 $\phi 16$; Af inf= 4 $\phi 16$
staffe $\phi 8/20$
- 80 x 22 cm (a spessore)
Af sup= 4 $\phi 16$; Af inf= 4 $\phi 16$
staffe $\phi 8/20$
- 20 x 22 cm (a spessore)
Af sup= 2 $\phi 16$; Af inf= 2 $\phi 16$
staffe $\phi 8/20$
- 30 x 50 cm (emergente)
Af sup= 2 $\phi 16$; Af inf= 2 $\phi 16$
staffe $\phi 8/20$



Sovraccarico Solai

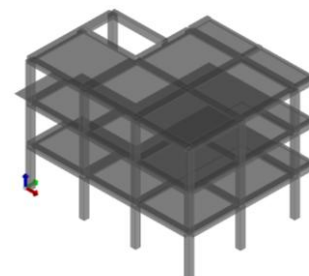
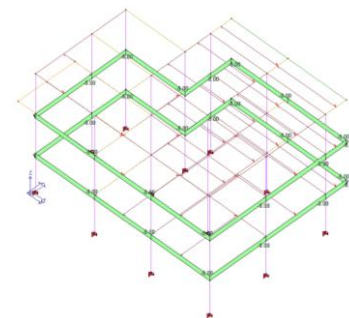
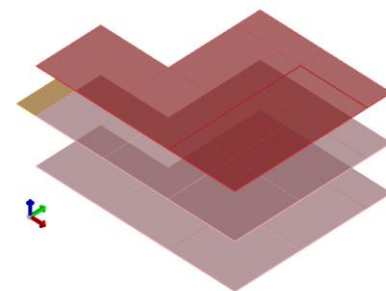
- Solaio interpiano
Qsol = 200 kg/mq
- Solaio di copertura
Qcop = 50 kg/mq
- Balcone
Qsol = 400 kg/mq

Tamponatura esterna

- Carico della
tamponatura

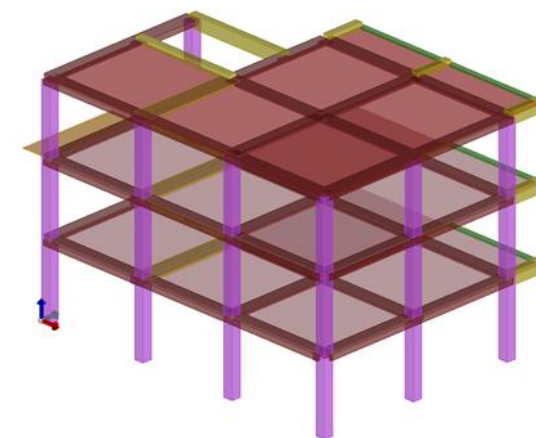
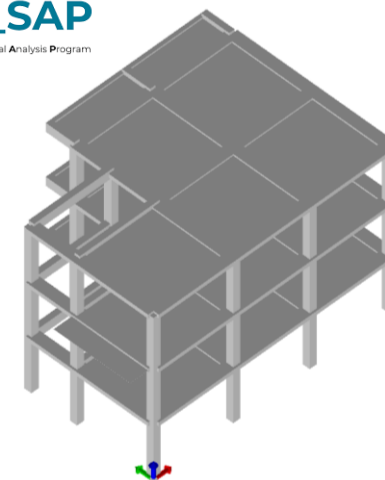
Materiali

- Calcestruzzo C12/15



Applicazione numerica del sistema: **Vulnerabilità sismica
dello stato di fatto**

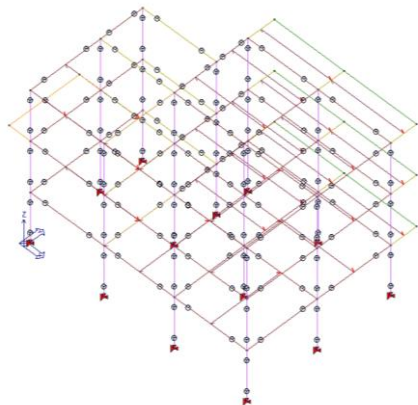
2Si PRO_SAP
PROfessional STRuctural Analysis Program



Lamiere Forate in acciaio

1. Creazione di «travi non lineari»

Gli elementi D2 vengono considerati «travi non lineari» per consentire la formazione di cerniere plastiche.



2. Importazione capacità del modello sorgente

Passaggio necessario per definire i momenti ultimi.

3. Azioni indotte dal sisma (statico equivalente)

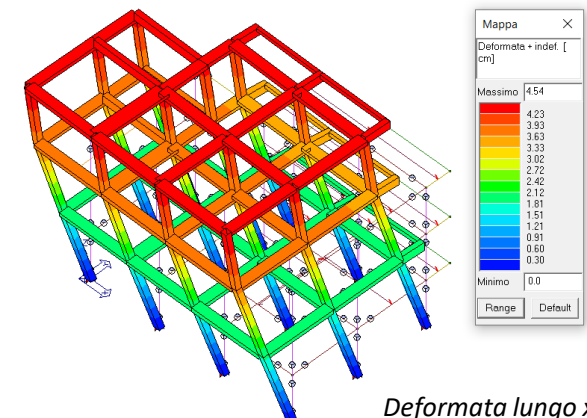
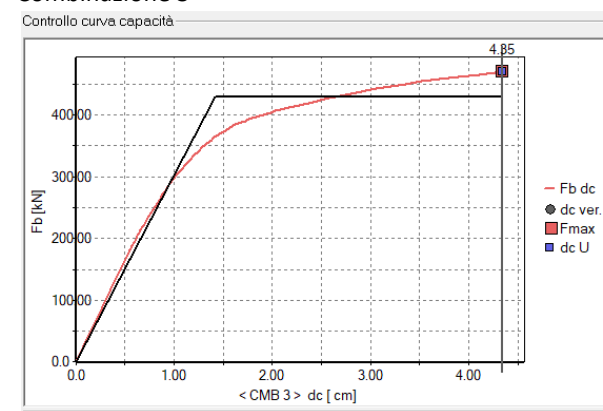
Gruppo 1			
Tipo di azione	Distribuzione delle forze d'inerzia	Direzione	Eccentricità
SLV	Distribuzione proporzionale alle forze di piano	X	Positiva
SLV	Distribuzione proporzionale alle forze di piano	Y	Positiva
SLV	Distribuzione proporzionale alle forze di piano	X	Negativa
SLV	Distribuzione proporzionale alle forze di piano	Y	Negativa

Gruppo 2			
Tipo di azione	Distribuzione delle forze d'inerzia	Direzione	Eccentricità
SLV	Distribuzione proporzionale alle masse	X	Positiva
SLV	Distribuzione proporzionale alle masse	Y	Positiva
SLV	Distribuzione proporzionale alle masse	X	Negativa
SLV	Distribuzione proporzionale alle masse	Y	Negativa

4. Verifiche duttili – livello di sicurezza 100%

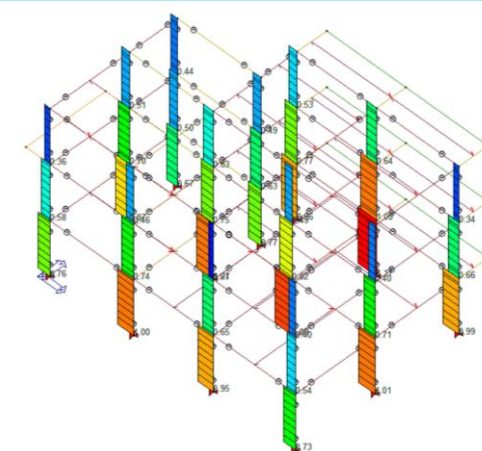
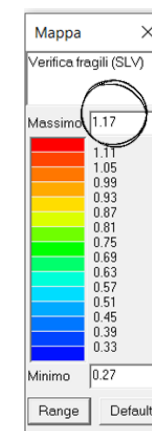
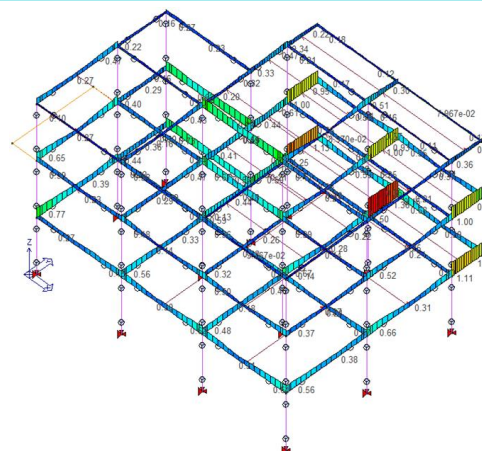
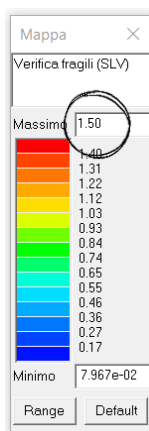
Combinazione	Stato SL
CMB 3	NV
CMB 4	NV
CMB 5	NV
CMB 6	NV
CMB 7	NV
CMB 8	NV
CMB 9	NV
CMB 10	NV
CMB 11	NV
CMB 12	NV
CMB 13	NV
CMB 14	NV
CMB 15	NV
CMB 16	NV
CMB 17	NV
CMB 18	NV

Combinazione 3



Deformata lungo x

5. Verifiche fragili – livello di sicurezza 100%



Lamiere Forate in acciaio

Il livello di sicurezza deve essere ridotto al 30%
per poter ottenere che entrambe le verifiche,
duttili e fragili, siano soddisfatte.



coefficiente di sicurezza sismico

$$\zeta E = 0,3$$

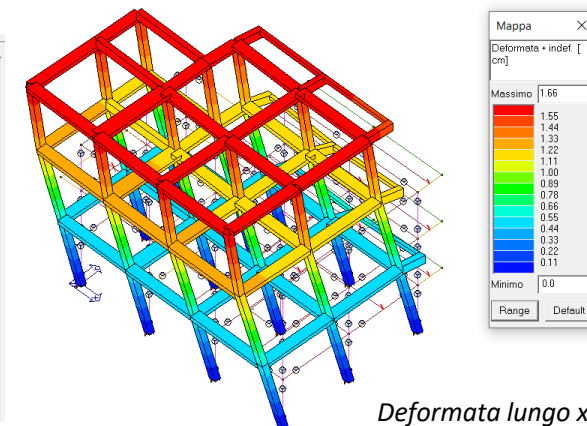
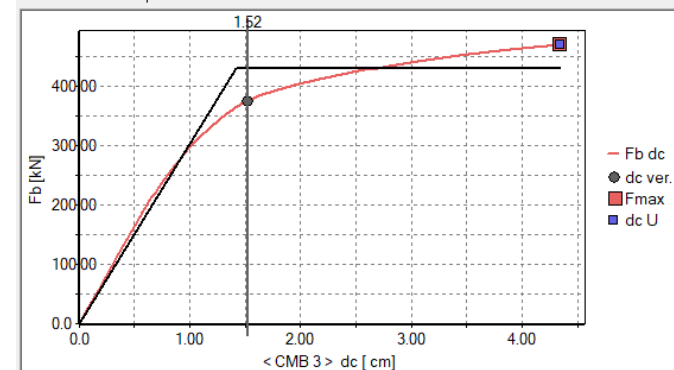
Applicazione numerica del sistema: **Vulnerabilità sismica
dello stato di fatto – Analisi statiche non lineari**

6. Verifiche duttili – livello di sicurezza 30%

	CMB 3	OK analisi (*)
	CMB 4	OK analisi (*)
	CMB 5	OK analisi (*)
	CMB 6	OK analisi (*)
	CMB 7	OK analisi (*)
	CMB 8	OK analisi (*)
	CMB 9	OK analisi (*)
	CMB 10	OK analisi (*)
	CMB 11	OK analisi (*)
	CMB 12	OK analisi (*)
	CMB 13	OK analisi (*)
	CMB 14	OK analisi (*)
	CMB 15	OK analisi (*)
	CMB 16	OK analisi (*)
	CMB 17	OK analisi (*)
	CMB 18	OK analisi (*)

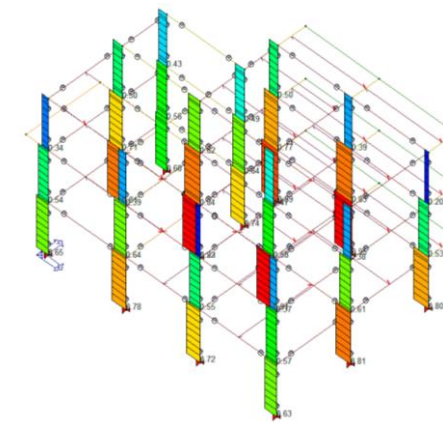
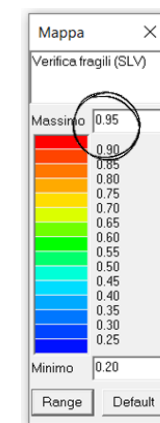
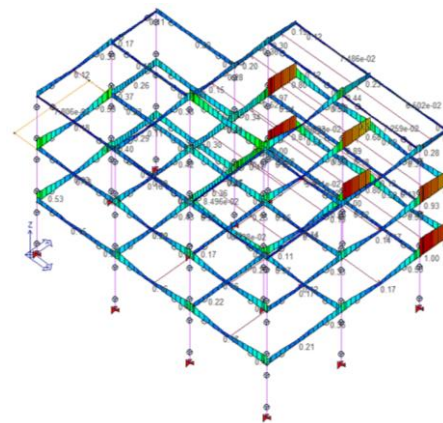
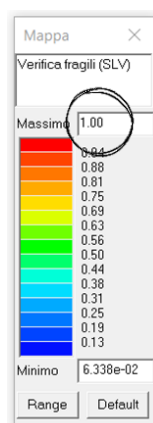
Combinazione 3

Controllo curva capacità



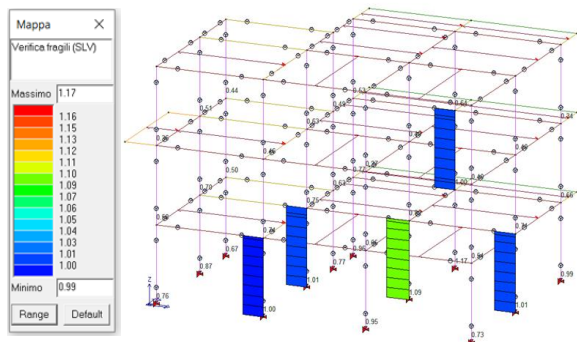
Deformata lungo x

7. Verifiche fragili – livello di sicurezza 30%



Lamiere Forate in acciaio

1- Pilastri su cui intervenire:



2- Intervento di confinamento:

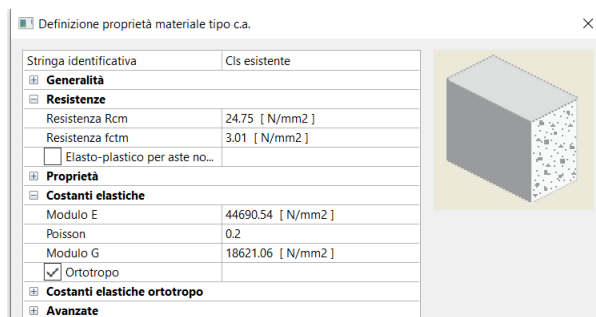
- incremento della resistenza a compressione;
- incremento della resistenza a taglio.

3- Tipologia di lamiera applicata:

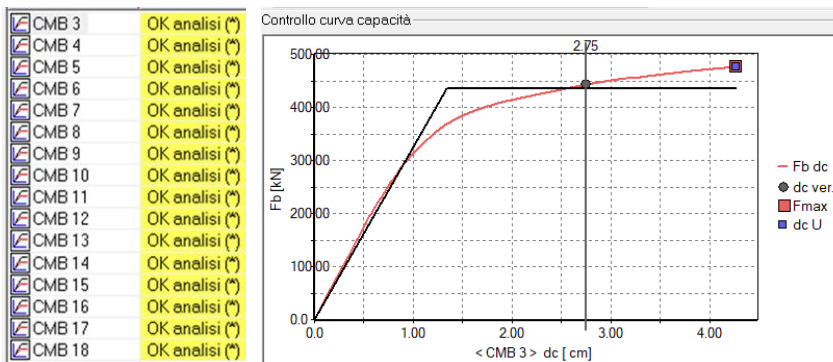
Lamiera			
acciaio	f _{yk}	s	2r fori
-	Mpa	cm	cm
S275	275	0,4	2,35

4- Implementazione nel programma:

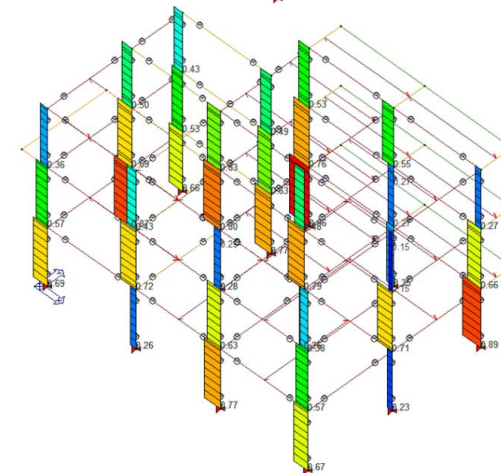
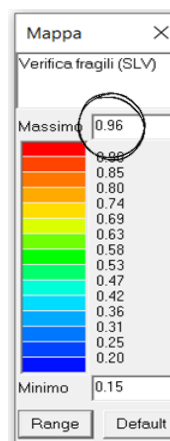
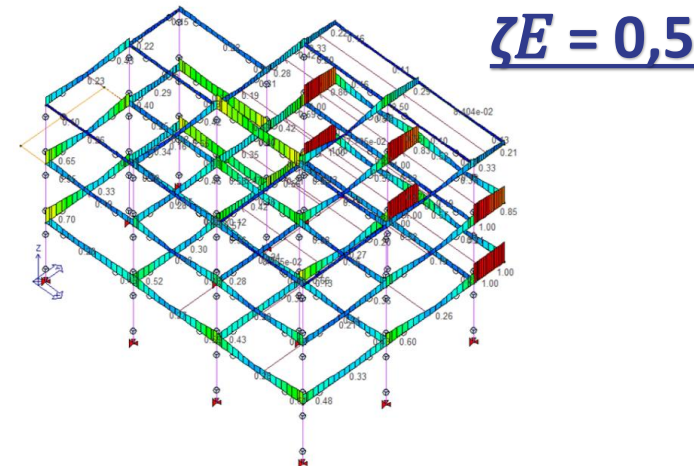
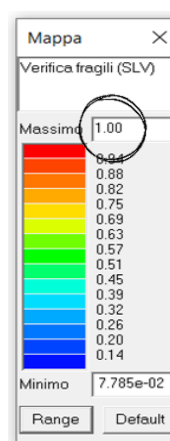
- riduzione del passo delle staffe: 10 cm
- incremento della resistenza del calcestruzzo



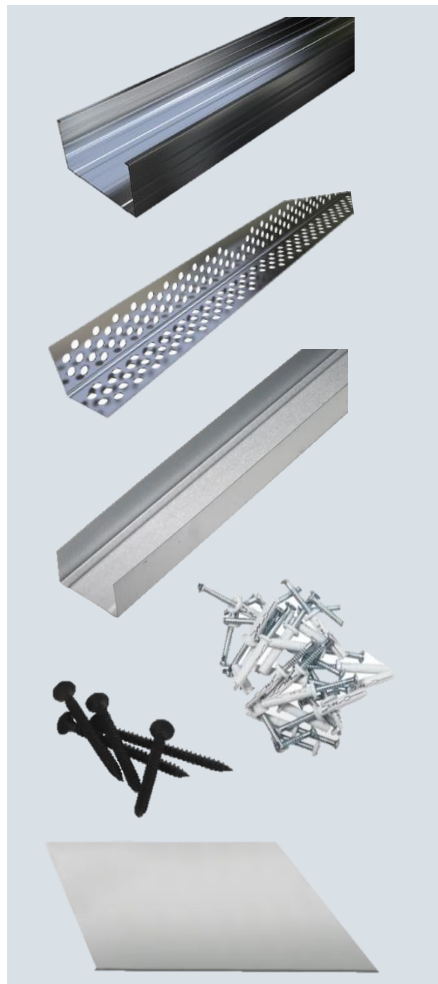
5- Verifiche duttili – livello di sicurezza 50%:



6- Verifiche fragili – livello di sicurezza 50%:

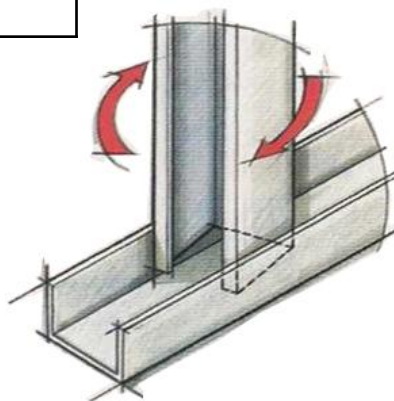


Lamiere Forate in acciaio

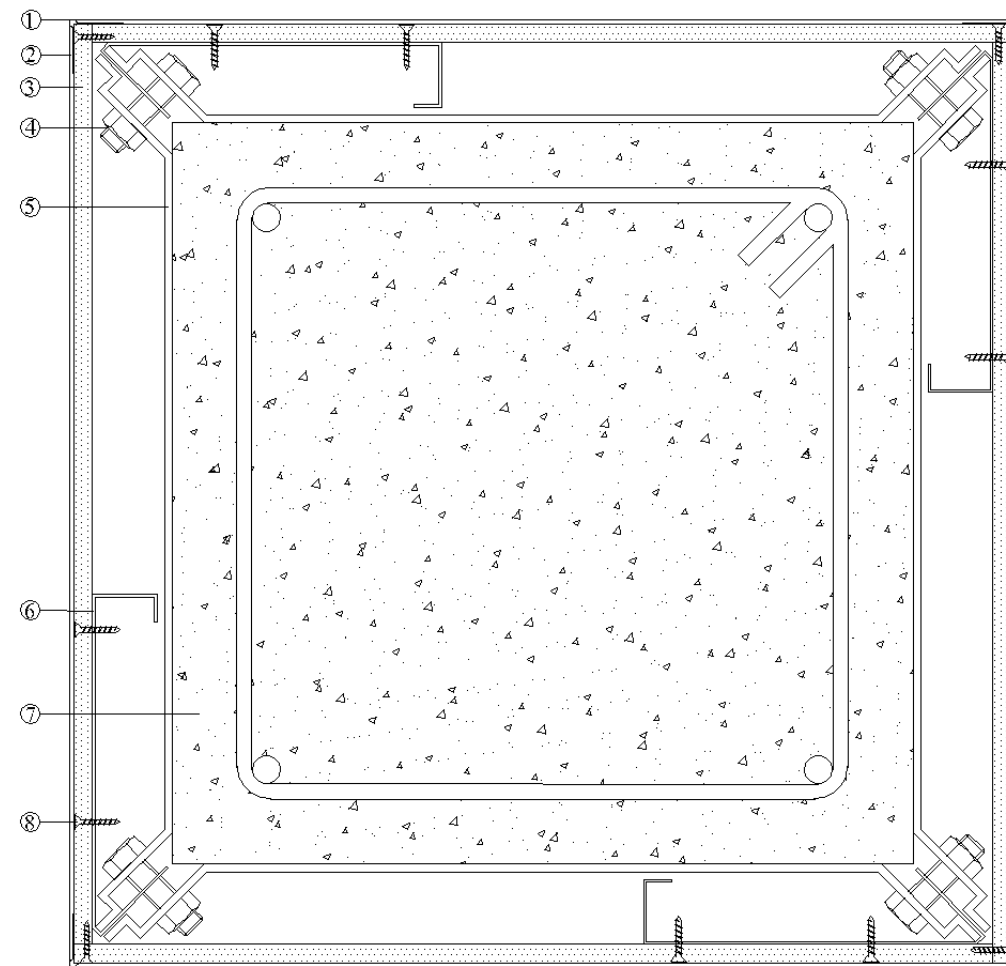


- ① Paraspigolo in acciaio 31x31x0,6mm
- ② Stucco coprifuga
- ③ Lastra di cartongesso di 12,5mm
- ④ Bullone 8.8 M14
- ⑤ Lamiera forata da 4mm
- ⑥ Profilo montante 150x50x1mm
- ⑦ Colonna in cls 400x400mm
- ⑧ Vite autoperforante 212/25 punta HS

Profilo Montante a C Knauf		
Dimensioni C	Spessore	Lunghezza
[mm]	[mm]	[mm]
50/150/50	1	3000



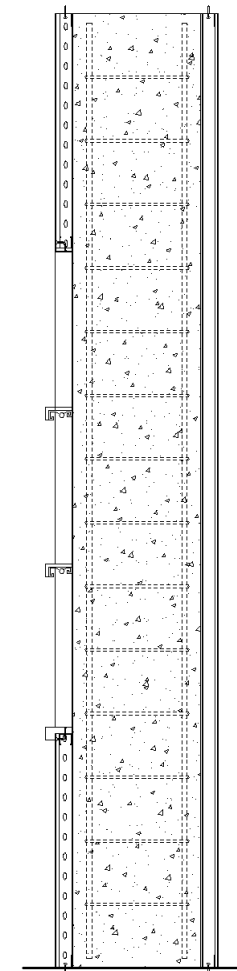
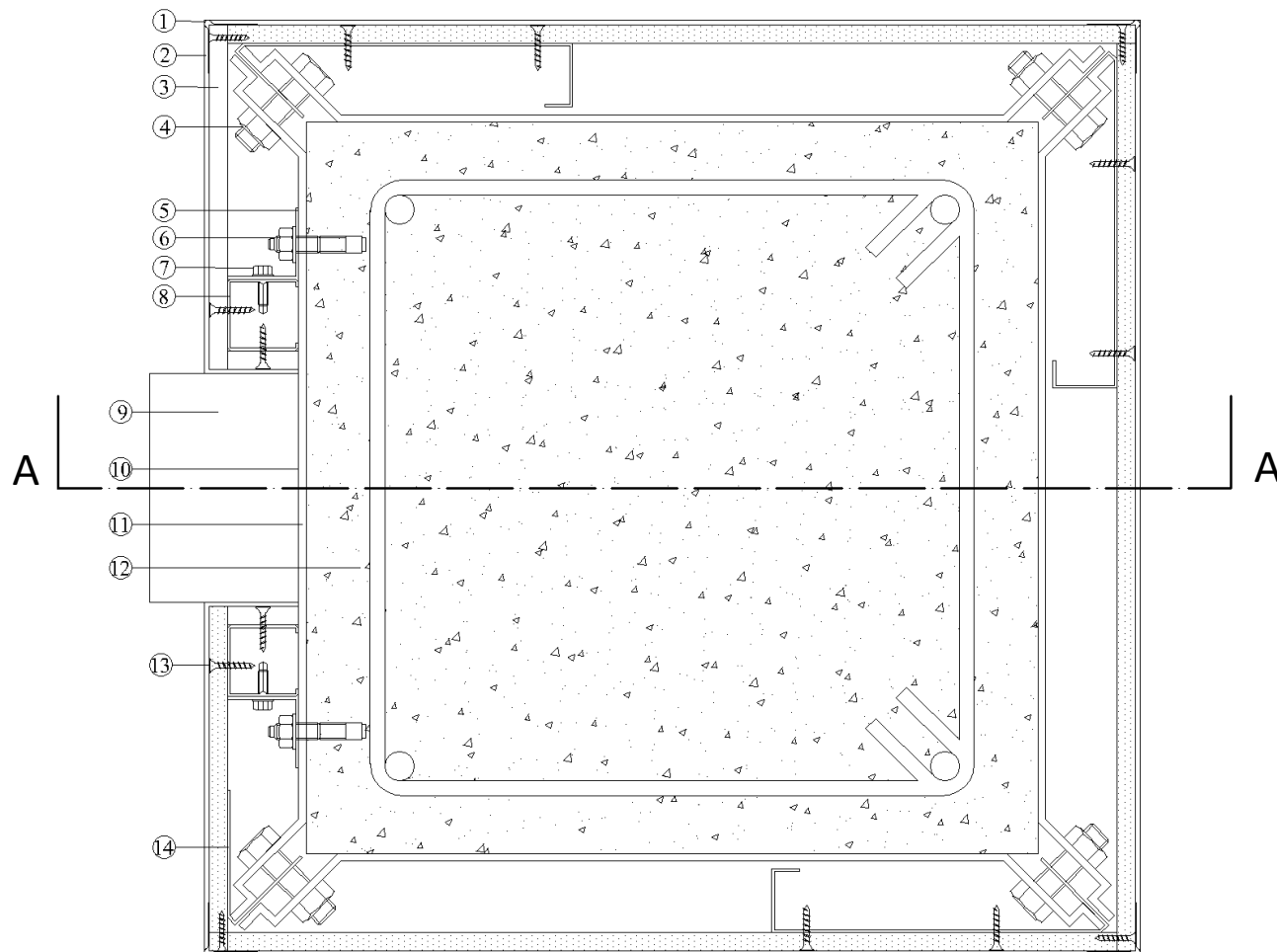
Applicazione numerica del sistema: **Impatto estetico dell'intervento – Finitura esterna della lamiera**



Lamiere Forate in acciaio

- Inserimento di elementi d'arredo
(mensole in legno o in cartongesso)

- ① Paraspigolo in acciaio 31x31x0,6mm
- ② Stucco coprifuga
- ③ Lastra di cartongesso di 12,5mm
- ④ Bullone 8.8 M14
- ⑤ Squadretta 37x40x1,5mm
- ⑥ Tassello per cls in acciaio 10x60mm
- ⑦ Vite autofilettante
- ⑧ Profilo montante a C 38x38x1,5mm
- ⑨ Mensola in legno 130x80x40mm
- ⑩ Rivestimento adesivo di spessore 250μ
- ⑪ Lamiera microforata 4mm
- ⑫ Colonna in cls 400x400mm
- ⑬ Vite autoperforante 212/25 punta HS
- ⑭ Profilo montante a C tagliato

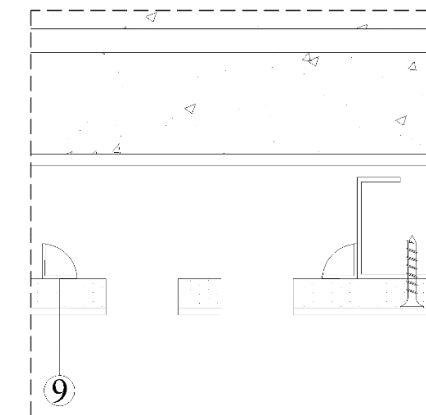
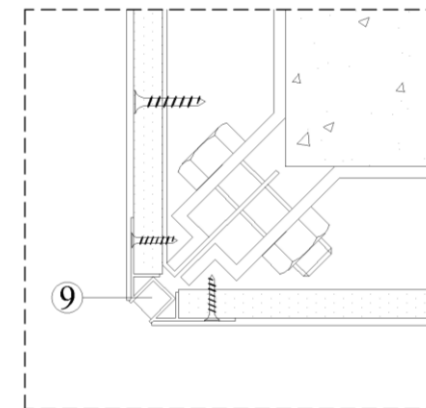
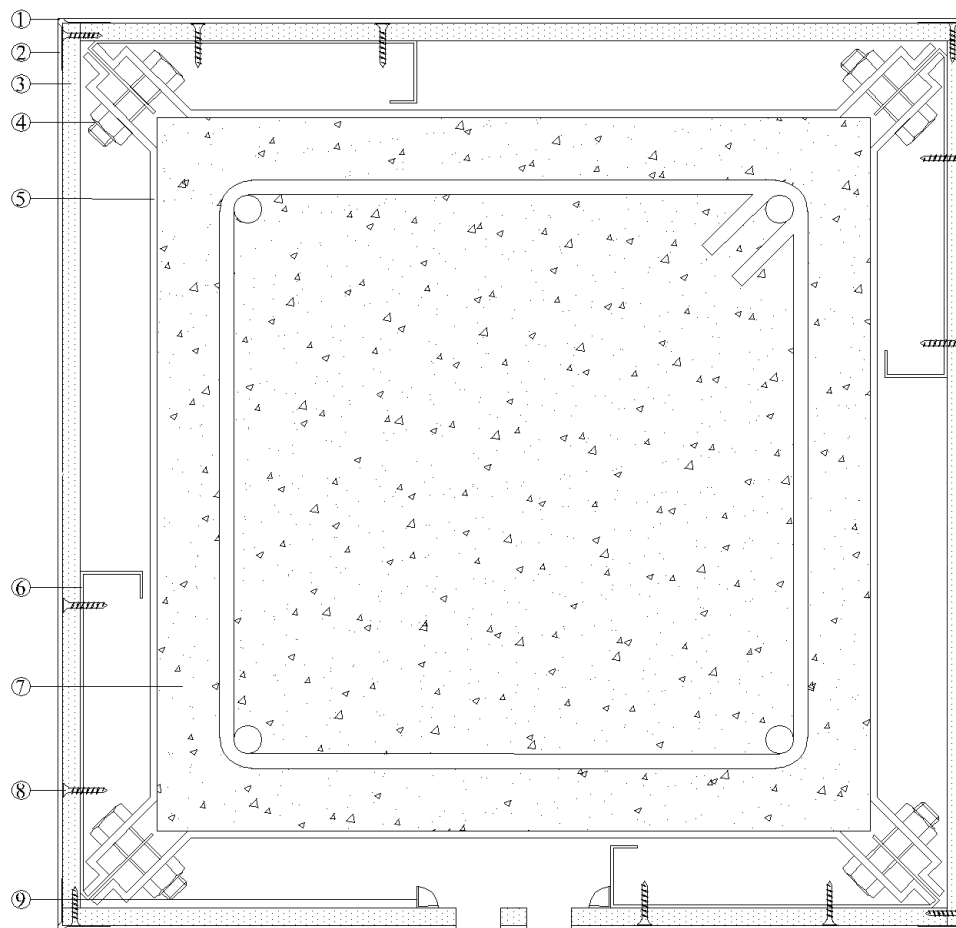
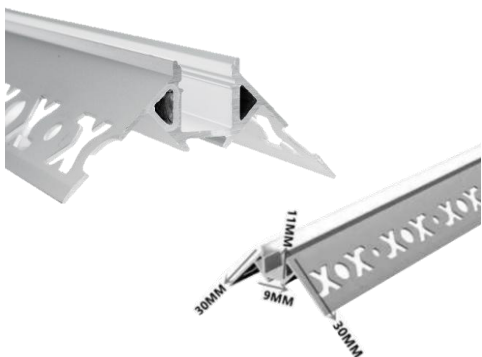


Applicazione numerica del sistema: **Impatto estetico dell'intervento – Finitura esterna della lamiera**

Lamiere Forate in acciaio

- Possibilità di innestare un punto luce led tra la lamiera e il pannello di finitura

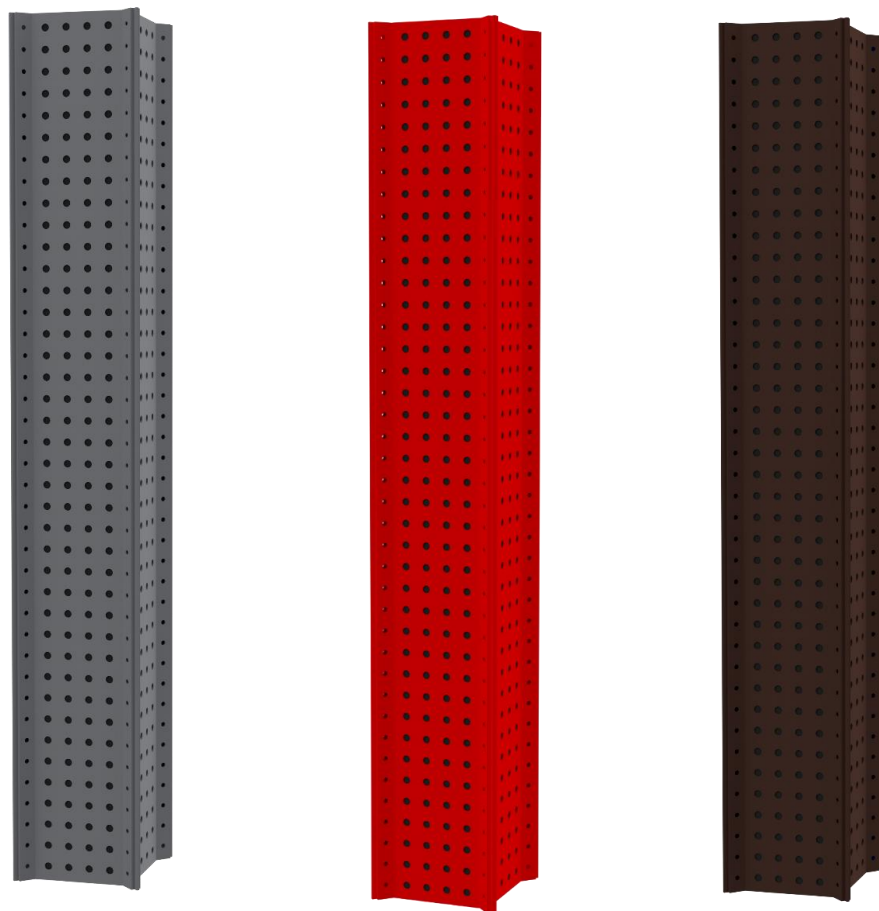
- ① Paraspigolo in acciaio 31x31x0,6mm
- ② Stucco coprifuga
- ③ Lastra di cartongesso di 12,5mm
- ④ Bullone 8.8 M14
- ⑤ Lamiera microforata da 4mm
- ⑥ Profilo montante 150x50x1,5mm
- ⑦ Colonna in cls 400x400mm
- ⑧ Vite autoperforante 212/25 punta HS
- ⑨ Profilo in alluminio per striscia Led



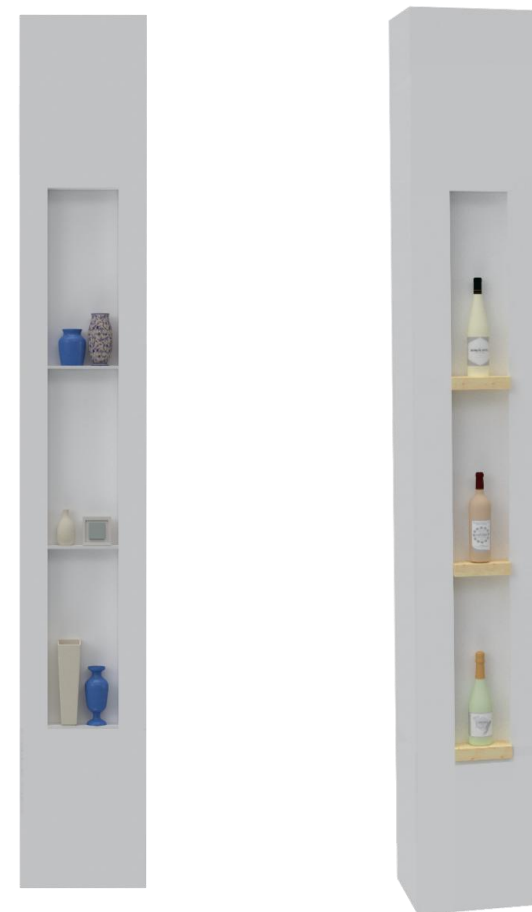
Applicazione numerica del sistema: **Impatto estetico dell'intervento – Finitura esterna della lamiera**

Lamiere Forate in acciaio

➤ Destinazione d'uso commerciale/museale



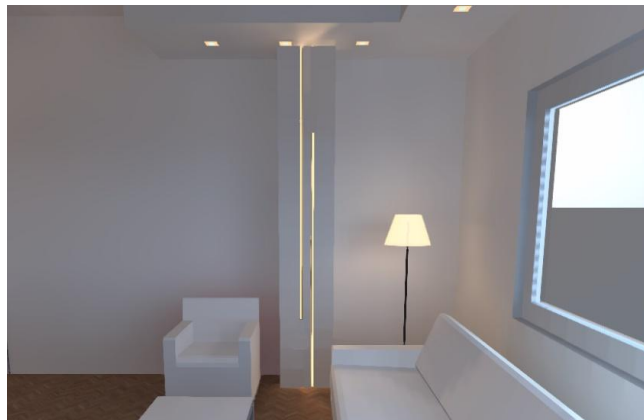
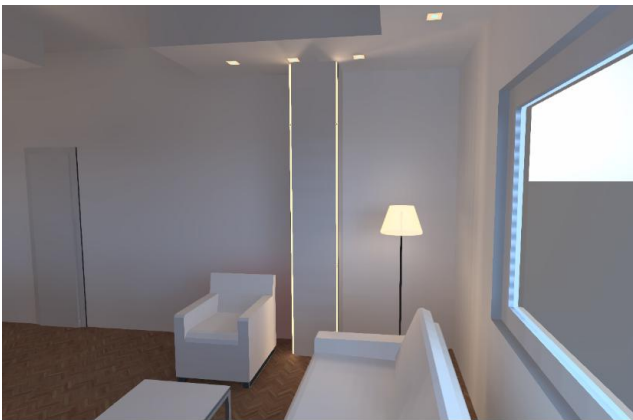
➤ Destinazione d'uso residenziale



Applicazione numerica del sistema: **Impatto estetico dell'intervento – Finitura esterna della lamiera**

Lamiere Forate in acciaio

➤ Destinazione d'uso residenziale



➤ Destinazione d'uso ufficio



Applicazione numerica del sistema: **Impatto estetico dell'intervento – Finitura esterna della lamiera**

I sistemi a cappotto

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

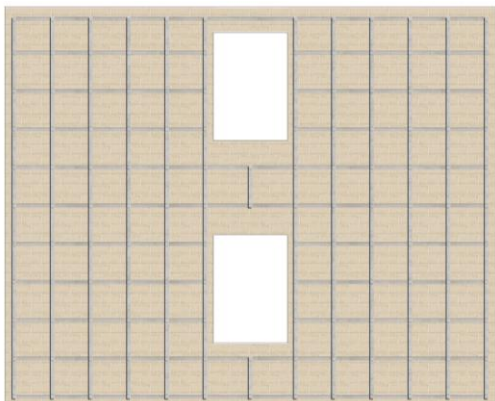
Generalmente essi sono formati da un telaio di base con elementi metallici **cold formed o estrusi** (realizzati in acciaio o in lega di alluminio) costituito da profili verticali e orizzontali disposti ad interasse variabile e connessi alla struttura di base (murature o telai in c.a.).

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

Schema d'applicazione

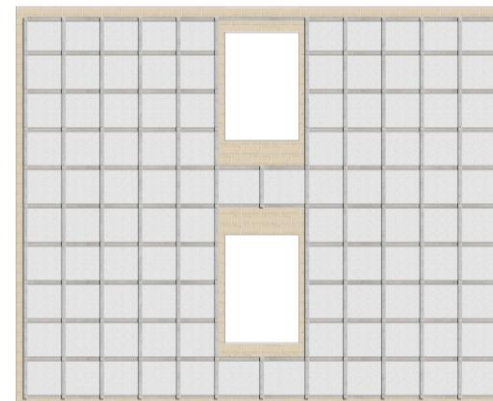
Fase 1

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.

I sistemi a cappotto

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. Si configura come sistema di rinforzo della struttura in c.a. 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 ζ_E deve essere incrementato di un valore comunque non minore di 0,1.**



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

Confronto tra tre sistemi a cappotto

Localizzazione del sito



Campania

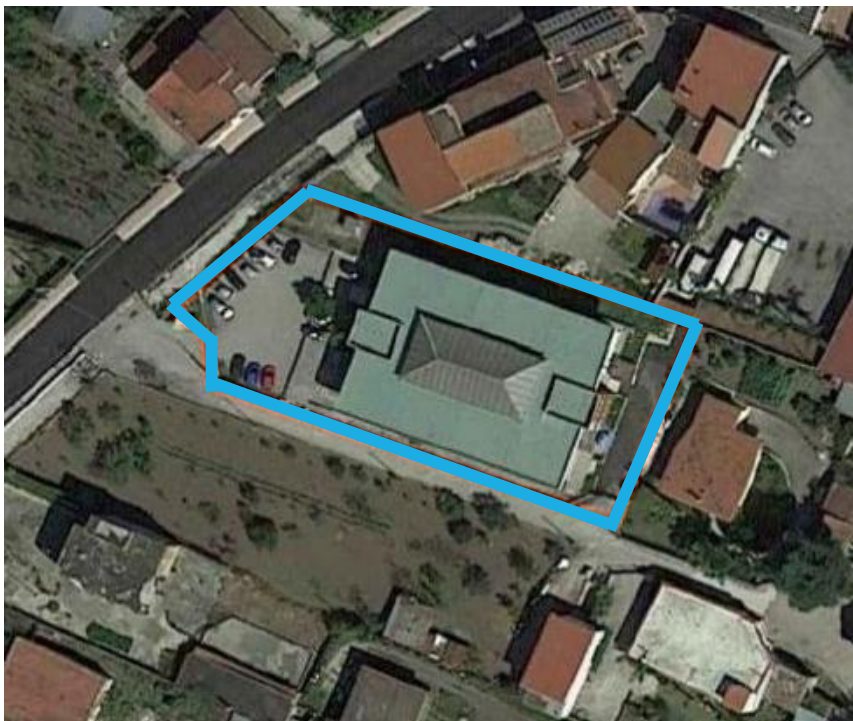


Provincia di Napoli



Somma Vesuviana

Vista dall'alto del sito, Google Earth



Il caso studio: **Caratteristiche geometriche e strutturali**

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.

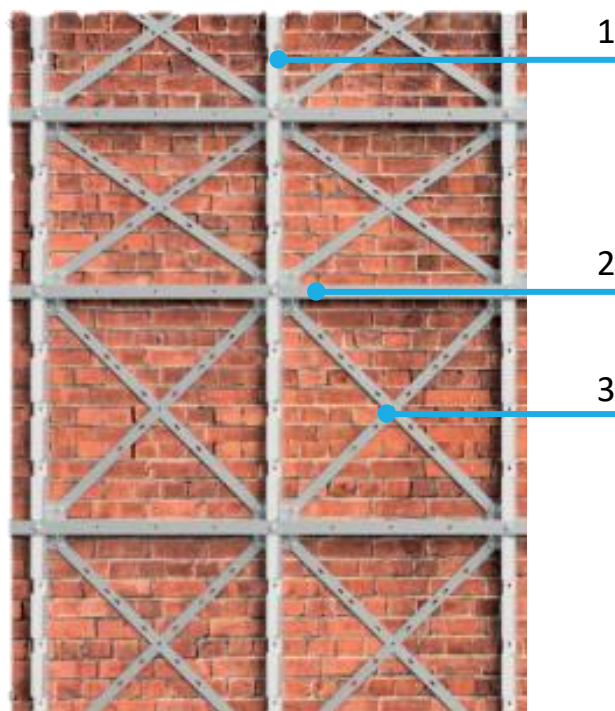
Vista esterna della struttura



Vista atrio interno



Sistema 1: Resisto 5.9



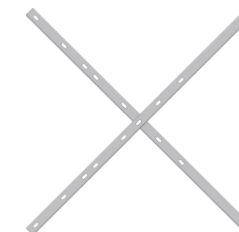
1 – 2 Montanti e trasversi



Profili ad U
Dim: 80x60x3 mm

Profili

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



Piatti con fori asolati
Dim: 40x3 mm

Connessioni

Profili e diagonali Piatti in acciaio



Con la muratura



Tra due profili Piatti ad L



D'angolo Piatti ad L



Accessori di fissaggio

Ancoranti chimici



Bulloni



Viti autofilettanti



Azienda	Progetto Sisma S.r.l.
Materiali	Telaio di base in acciaio zincato e pannelli termoisolanti
Scopo	Miglioramento delle prestazioni sismiche ed energetiche.

Sistema 2: Duo System



Legenda

- 1 – Telaio di base in CF
- 2 – Lamiera in acciaio
- 3 – Rivestimento

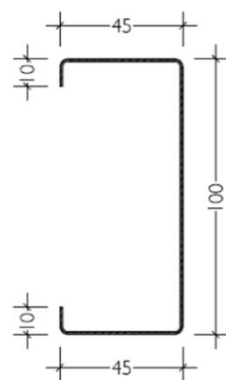
È composto da un telaio in CF (Cold-Formed) costituito da profili in alluminio, pannelli isolanti incorporati nell'altezza di questi profili, una lamiera in acciaio zincato che funge da elemento resistente al sisma e la finitura esterna.

Gli elementi verticali e orizzontali sono costituiti da profili a C con dimensioni di 100x45 + 10 mm e spessore di 1.6 mm.

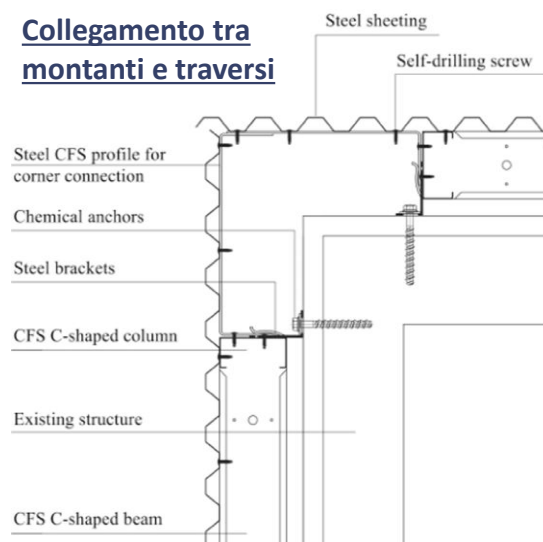
L'interasse standard tra gli elementi verticali e orizzontali è di 1200 mm.

Il telaio è collegato alla struttura esistente tramite staffe in acciaio da 60x80 mm e ancoraggi chimici. Le viti sono invece utilizzate per collegare gli elementi tra loro e per il fissaggio della lamiera, con spessore 0.7 mm, al telaio.

Profilo a C per montanti e trasversi



Collegamento tra montanti e trasversi



Collegamento CFS - Struttura

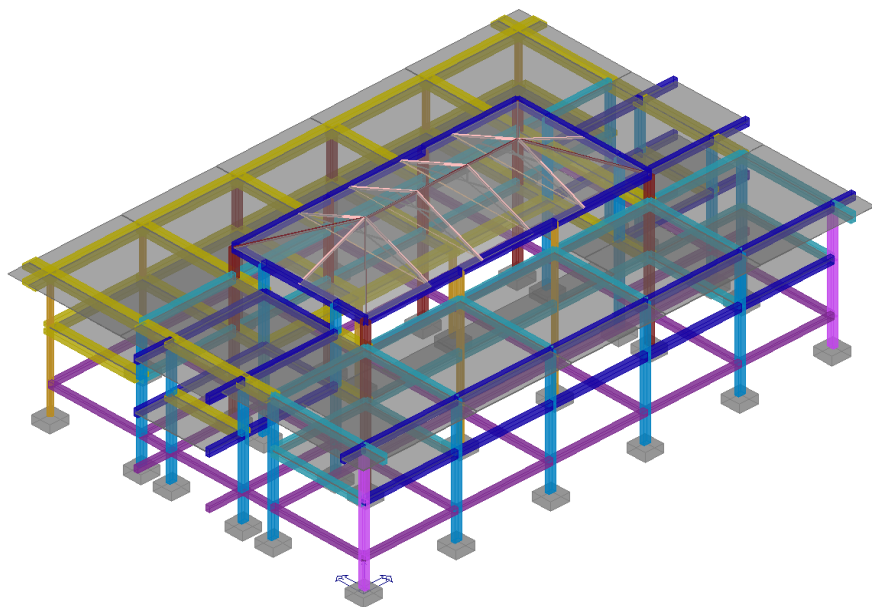


Azienda	Irondom
Materiali	Profili estrusi in acciaio e pannelli (OSB o sandwich)
Scopo	Miglioramento delle performance sismiche ed energetiche

Confronto tra tre sistemi a cappotto

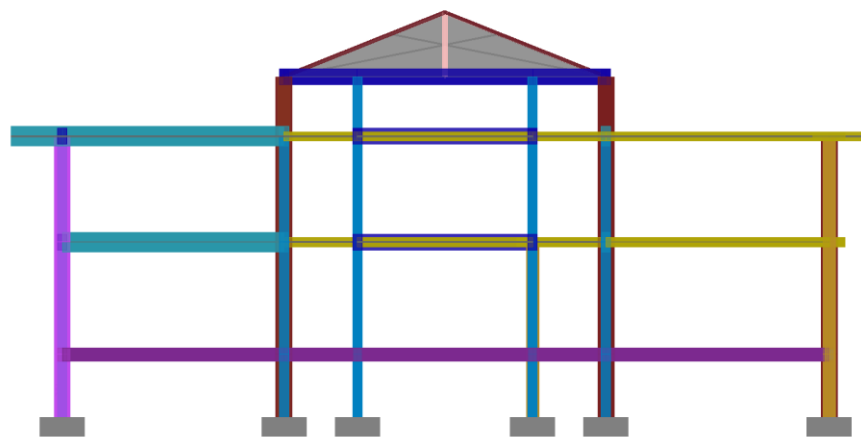
Analisi Statica Non Lineare – Software ProSap

1. Valutazione del comportamento della struttura allo Stato di Fatto

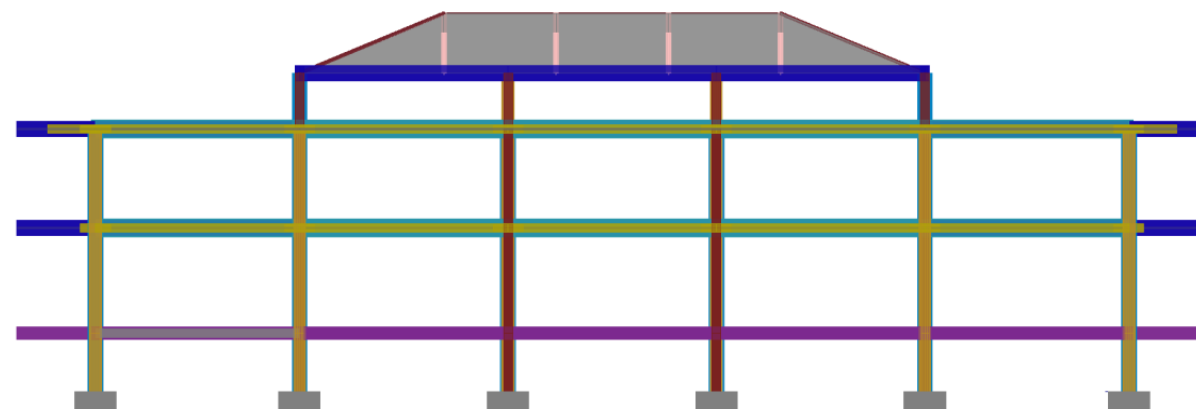


Vista tridimensionale del caso studio

Il caso studio: **Valutazione della vulnerabilità sismica – Stato di fatto**



Sezione trasversale



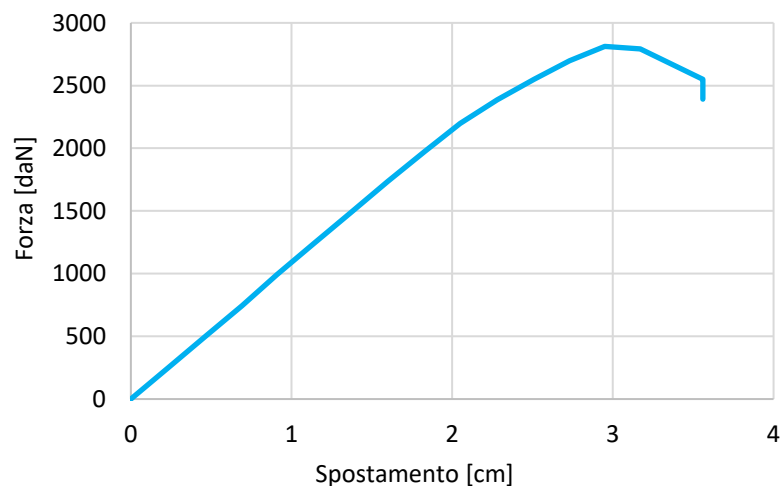
Sezione longitudinale

Confronto tra tre sistemi a cappotto

Analisi Statica Non Lineare – Software ProSap

2. Risultati Analisi allo Stato di Fatto - SLV

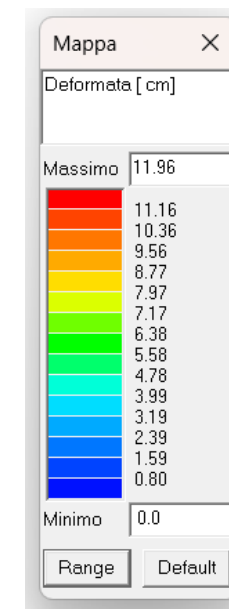
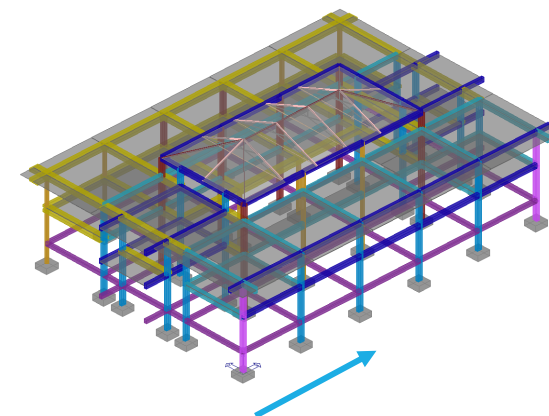
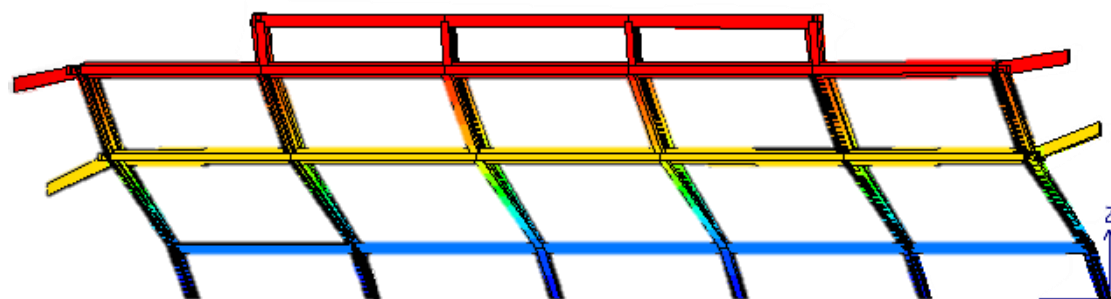
Curva Pushover



$$\zeta_E = 0,397$$

Direzione X

Deformate



Il caso studio: **Valutazione della vulnerabilità sismica – Stato di fatto**

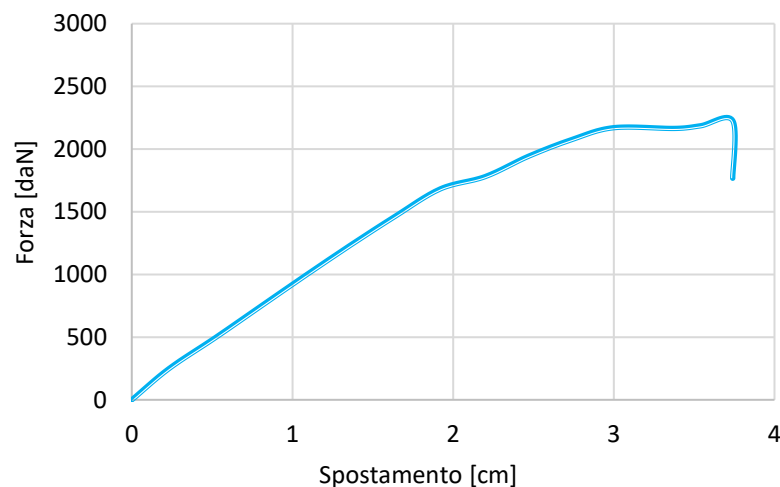
Confronto tra tre sistemi a cappotto

Analisi Statica Non Lineare – Software ProSap

2. Risultati Analisi allo Stato di Fatto - SLV

Il caso studio: **Valutazione della vulnerabilità sismica – Stato di fatto**

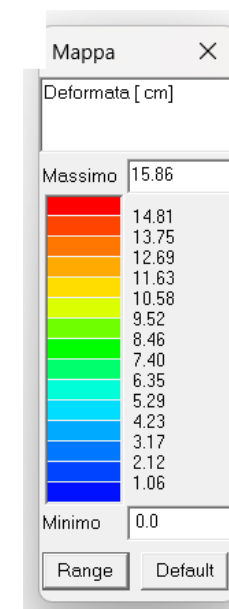
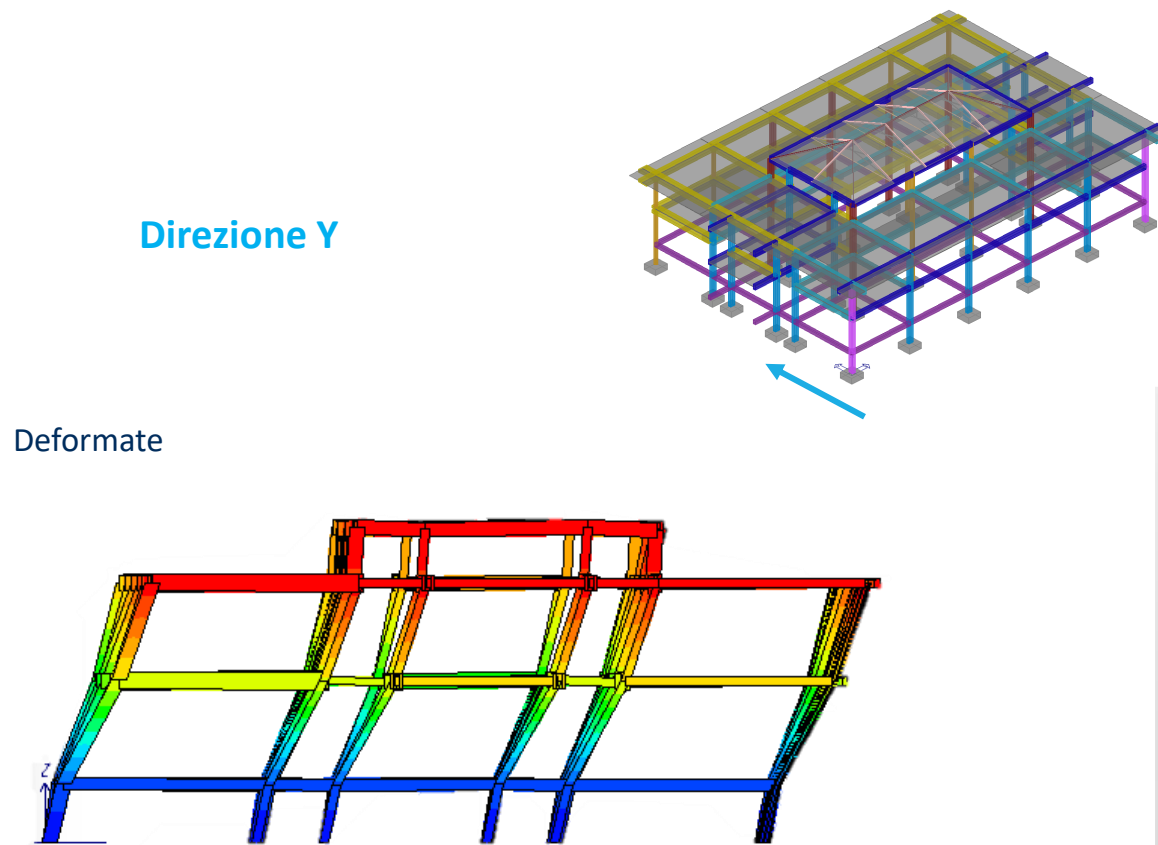
Curva Pushover



$$\zeta_E = 0,314$$

Direzione Y

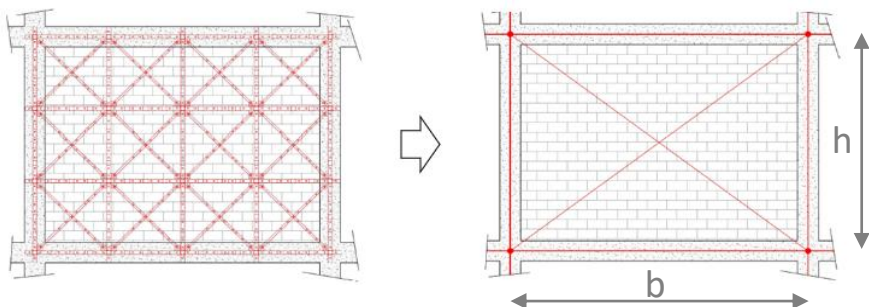
Deformate



Modellazione numerica sistemi a cappotto

Step 1

Per ogni maschio murario, si modella un telaio corrispondente ai profili di base del sistema e al sistema sismo – resistente schematizzato con una diagonale equivalente



Step 2

Calcolo del diametro di ogni diagonale considerando la rigidezza di ognuna di esse con la seguente equazione (1):

$$K_{eq} = \sum k_i \quad (1)$$

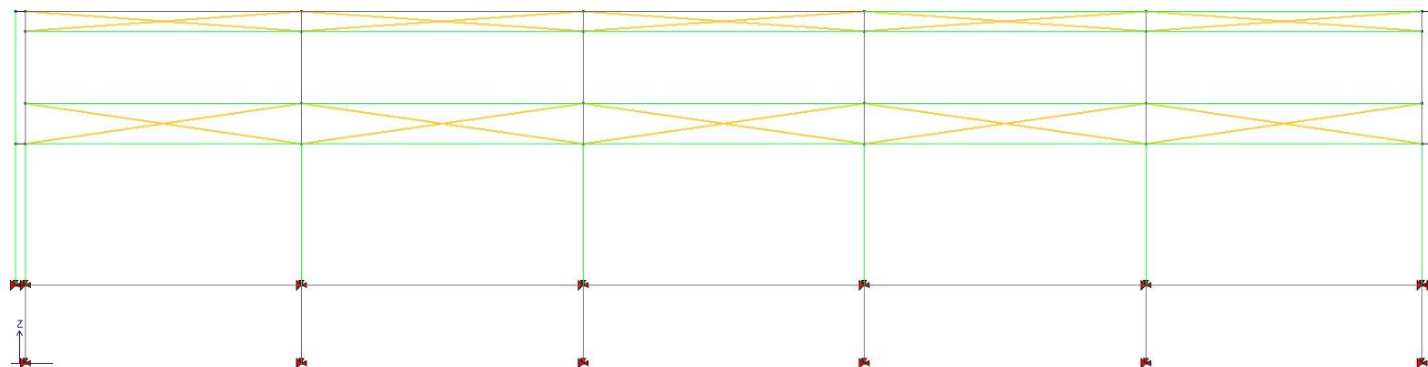
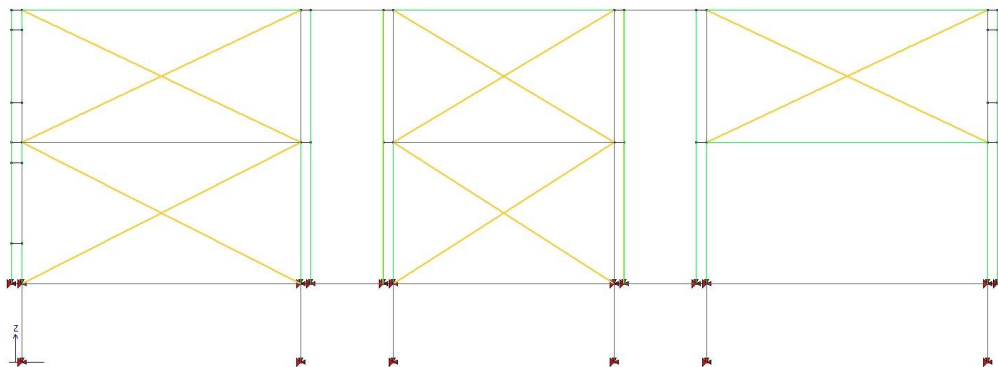
Step 3

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

$$K_{eq} = E_p \cdot A_p / l_p \cdot \cos^2 \alpha \quad (2)$$

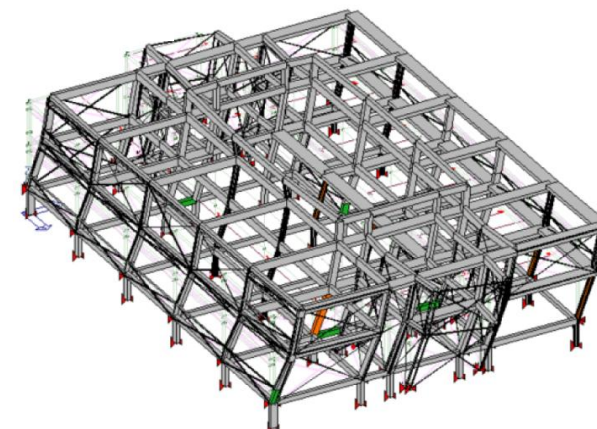
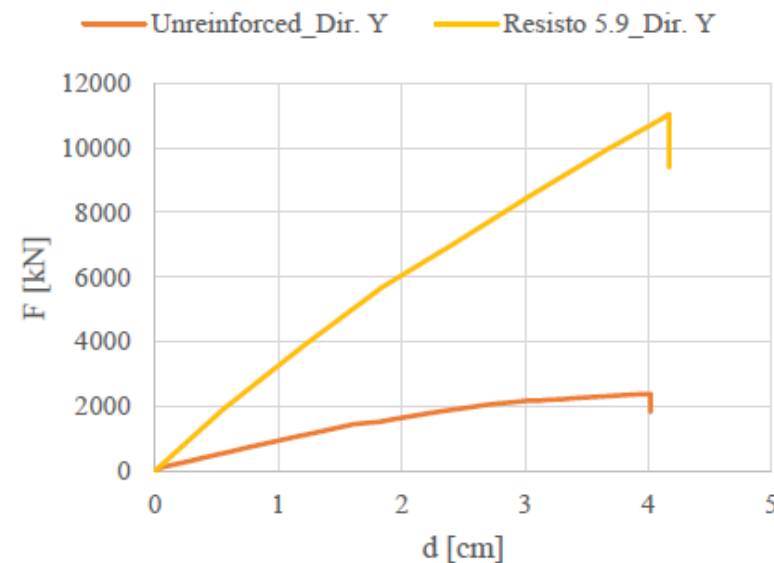
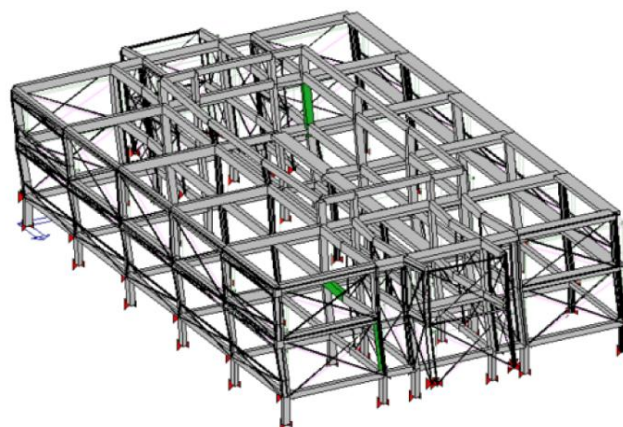
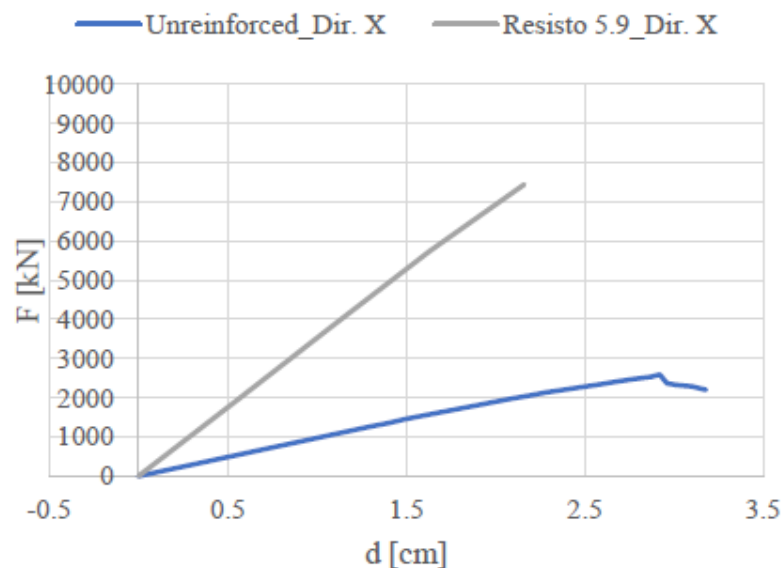
Dove:

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



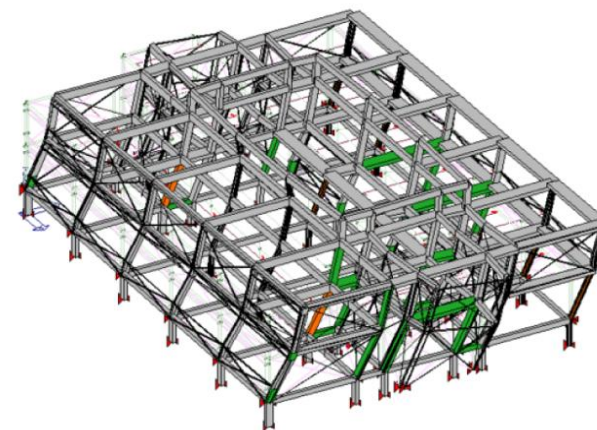
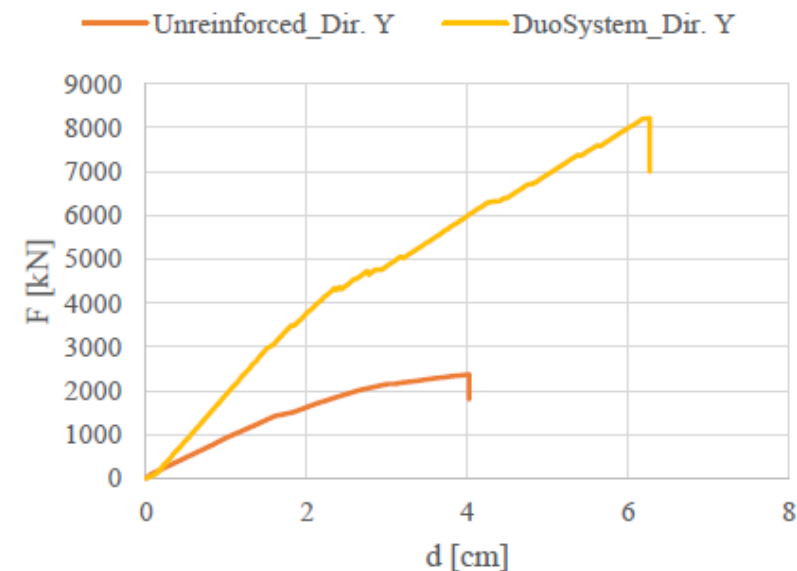
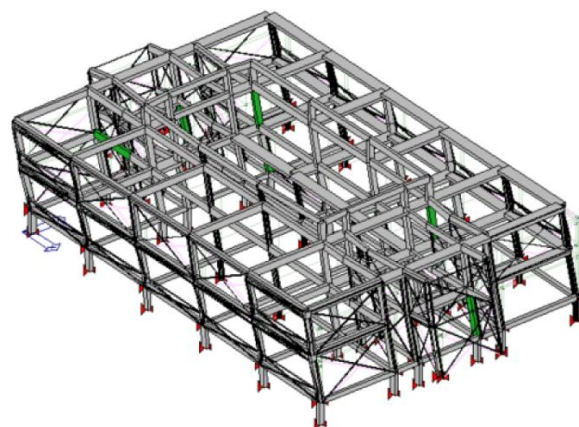
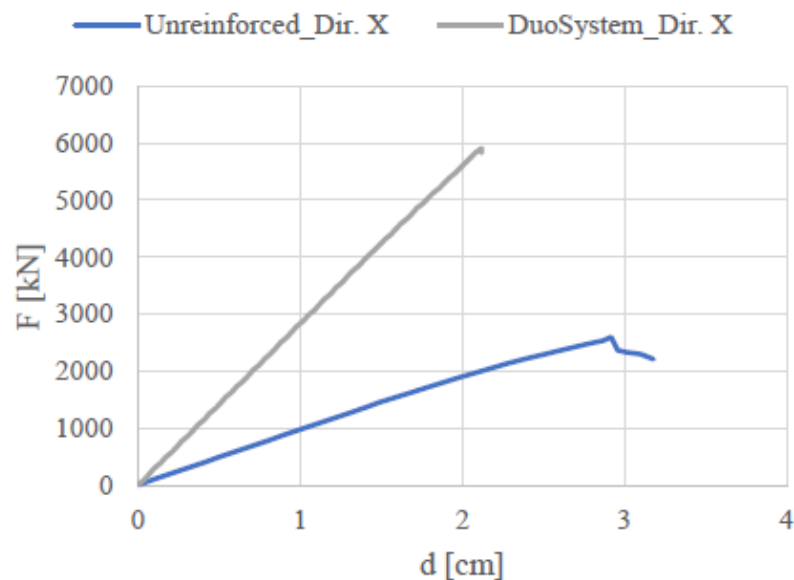
Sistema 1: Resisto 5.9

Il caso studio: Risultati modello consolidato



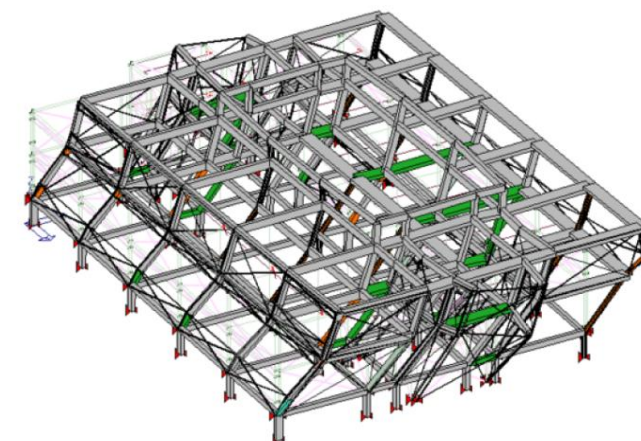
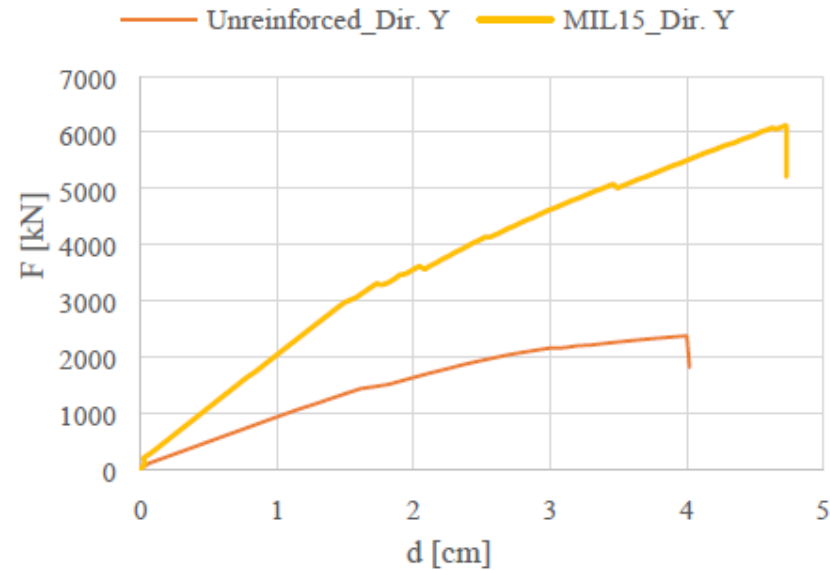
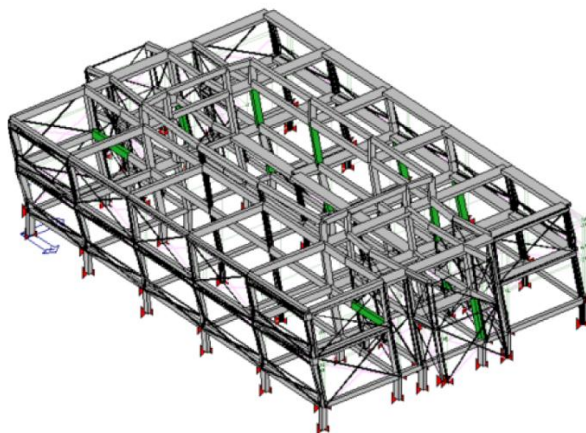
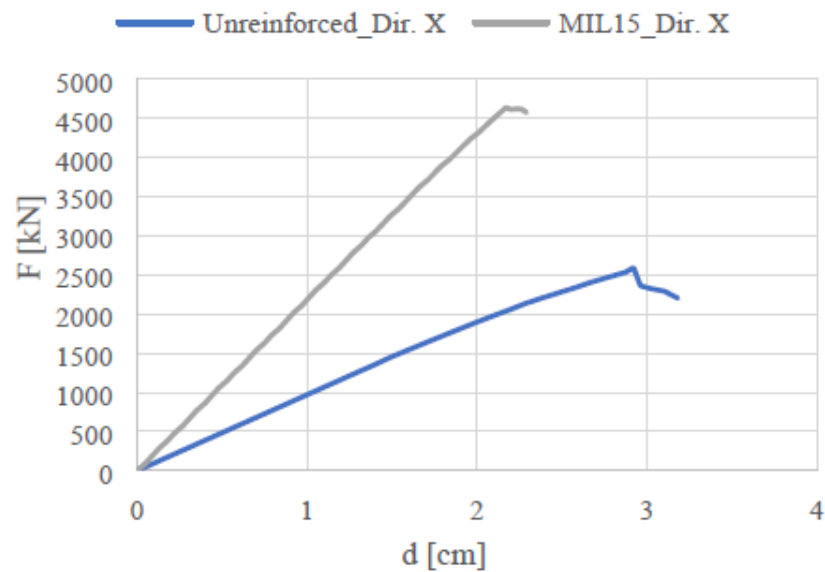
Sistema 2: Duo System

Il caso studio: [Risultati modello consolidato](#)



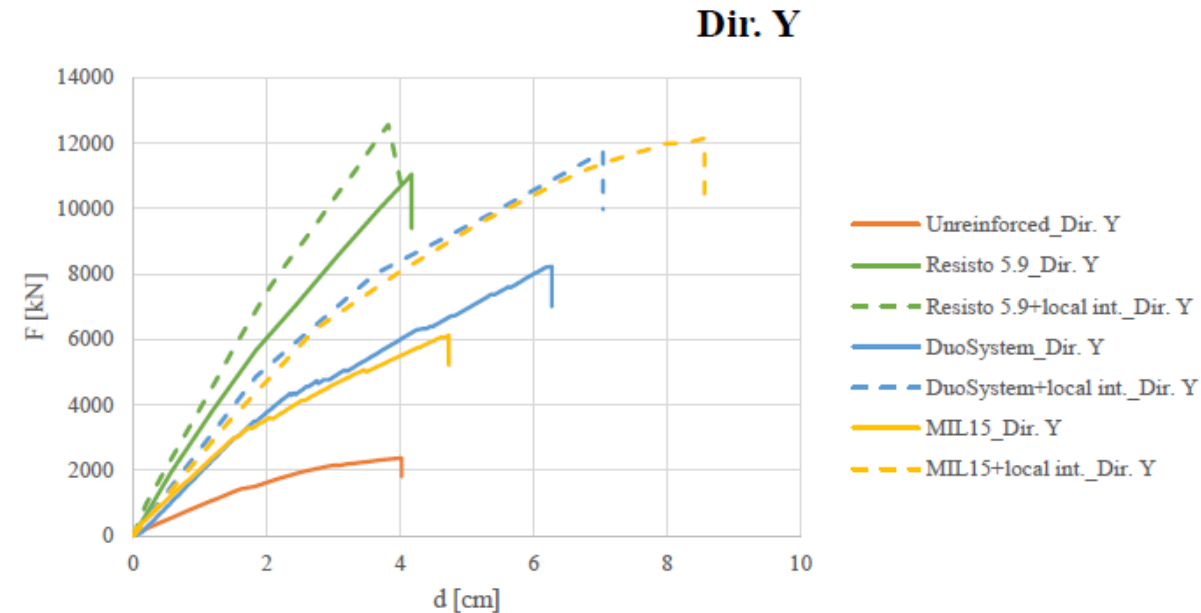
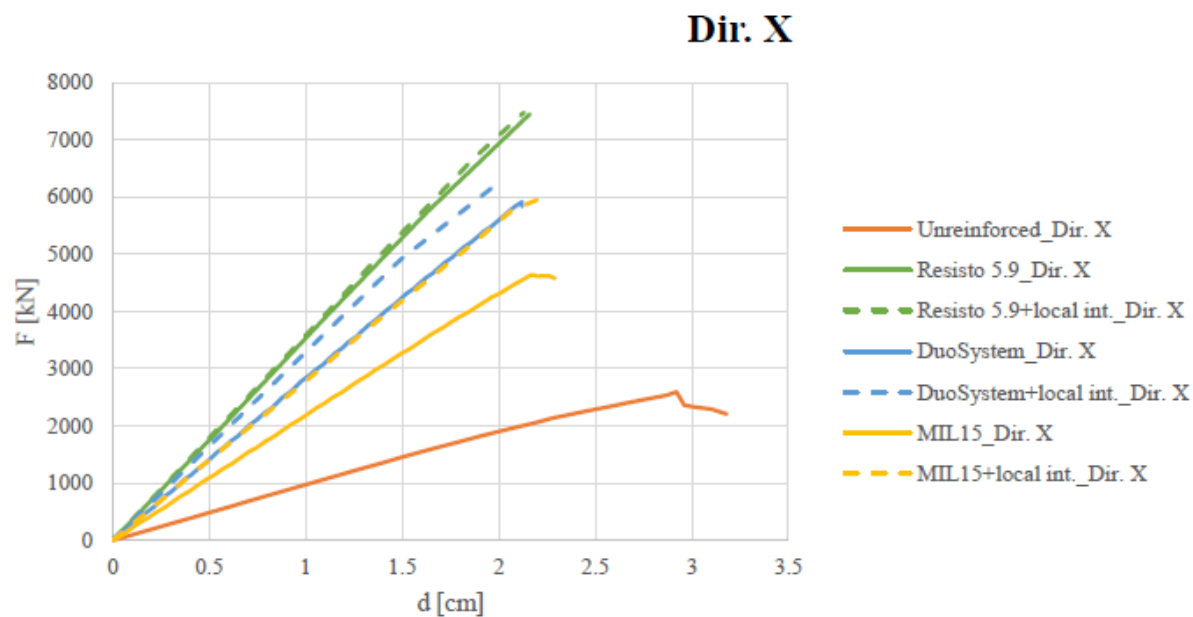
Sistema 3: MIL15

Il caso studio: Risultati modello consolidato



Confronto

Il caso studio: [Risultati modello consolidato](#)



Modello	ζ_E	Incremento dell'indice
Stato di fatto	0.19	-
Resisto 5.9	0.45	0.26
Duo System	0.30	0.11
MIL 15	0.28	0.09

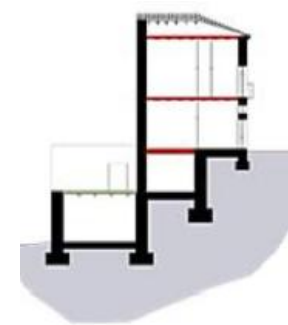
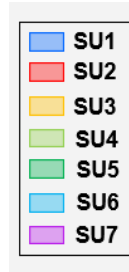
MIL15s per il retrofit sismico di un aggregato in muratura

Il caso studio: **Caratteristiche geometriche e strutturali**

Vista dall'alto (Google Maps, 2024)



L'aggregato in muratura, sito a Castelpoto (BN), è composto da **7 US** posizionate a quote differenti per via della loro posizione sul fianco di una collina.



Le unità si distinguono per materiali differenti usati sia per le strutture verticali che per i solai intermedi.

Livello di conoscenza LC1:

Valore minimo per le
resistenze e valore medio per
i moduli elastici



Fattore di
Confidenza $F_c=1,35$

Muratura irregolare in pietra tenera

Res. media a compressione f_m	Mod. el. normale E	Mod. el. tangenziale G	Peso specifico W	Res. media a taglio τ
[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kN/m ³]	[N/mm ²]
1,4	1080	360	14	0,028

Muratura regolare in pietra tenera

Res. media a compressione f_m	Mod. el. normale E	Mod. el. tangenziale G	Peso specifico W	Res. media a taglio τ
2,0	1410	450	16	0,04

Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Res. media a compressione f_m	Mod. el. normale E	Mod. el. tangenziale G	Peso specifico W	Res. media a taglio τ
2,6	1500	500	18	0,05

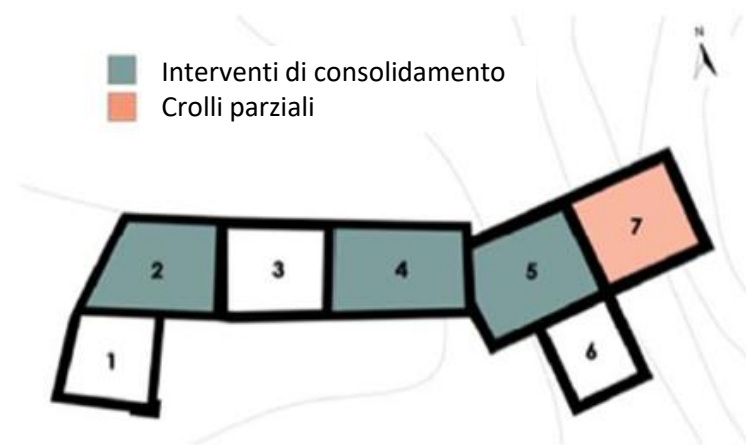
Solai intermedi:

- Solaio con travi in legno (Unità n. 1, 3, 6)
- Solai con travi in acciaio e voltine in muratura (Unità n. 2, 4, 5).

L'Unità 7 non ha nessun solaio intermedio in quanto è composta da un unico livello.

MIL15s per il retrofit sismico di un aggregato in muratura

Il caso studio: [Caratteristiche geometriche e strutturali](#)



- Le unità strutturali n. **2, 4 and 5** sono state sottoposte ad alcuni interventi di consolidamento risalenti agli anni '40 del 1900.
- L'US n. **7** ha subito alcuni crolli parziali.
- Le altre unità n. **1, 3 and 6** non sono mai state sottoposte ad operazioni di retrofit.

Stato attuale dell'aggregato: Quadro fessurativo

Fenomeni di schiacciamento



Degrado delle travi in legno



Crollo del tetto

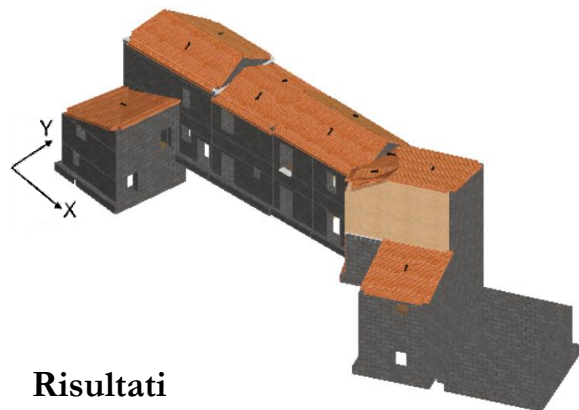


MIL15s per il retrofit sismico di un aggregato in muratura

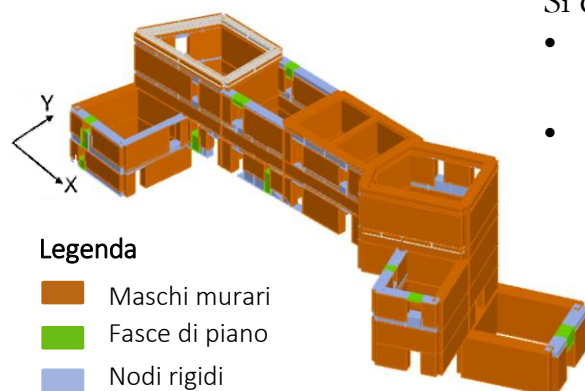
Il caso studio: **Analisi di vulnerabilità – Stato di fatto**

- **Scopo:** Valutazione del comportamento sotto azioni sismiche dell'aggregato, modellato con un software basato su un approccio a macro – elementi, attraverso l'esecuzione di analisi statiche non – lineari.
- **Software:** TreMuri - STA.DATA. Il software divide ogni pannello murario in 3 macro – elementi: maschi murari (accanto alle aperture), fasce di piano (sopra/sotto le aperture) e nodi rigidi (ottenuti come intersezione tra i primi due elementi e assunti con un comportamento infinitamente rigido).

Modello 3D



Mesh

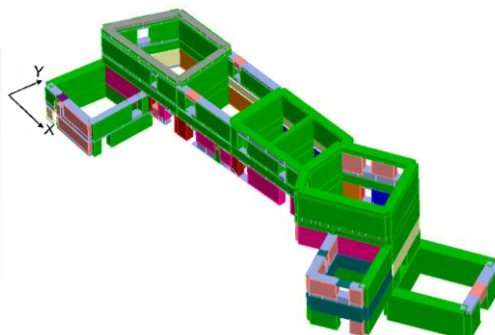
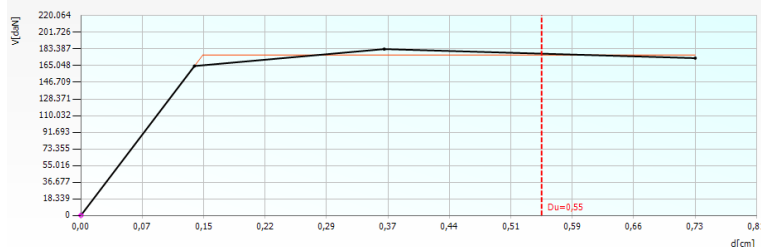


Legenda

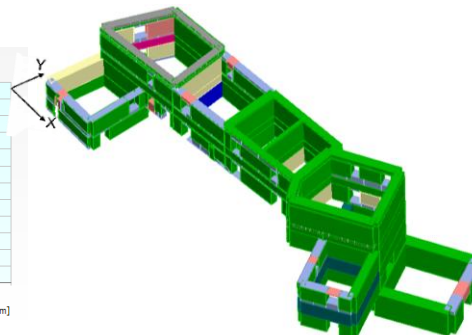
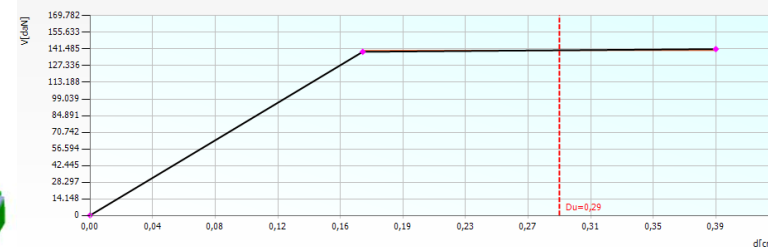
- Maschi murari
- Fasce di piano
- Nodi rigidi

Risultati

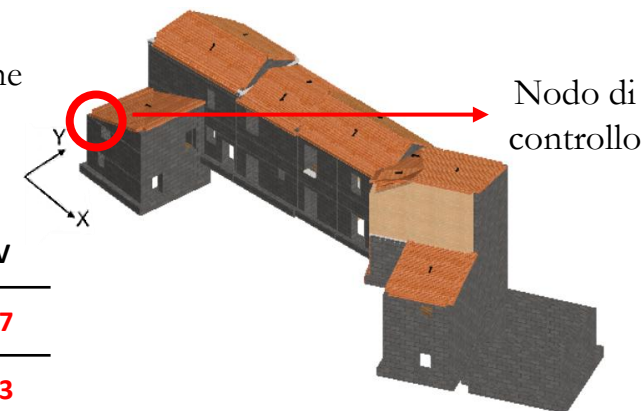
Analisi Nr 11 – Direzione X



Analisi Nr 19 – Direzione Y



Analisi pushover



Si considerano **24 combinazioni di carico**:

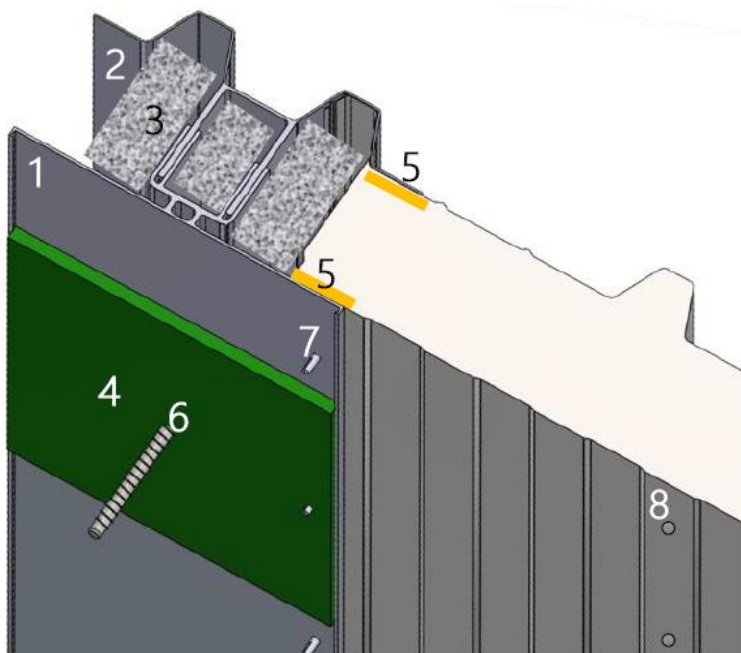
- Distribuzione proporzionale alle forze statiche (Gruppo 1);
- Distribuzione uniforme (Gruppo 2).

Nr	Direzione	Carico	Ecc. [cm]	α_{SLV}
11	+X	F. Statiche	67,76	0,267
19	+Y	F. Statiche	173,86	0,313

MIL15s per il retrofit sismico di un aggregato in muratura

Il sistema integrato: **MIL15.s**

Vista assonometrica del sistema MIL15s

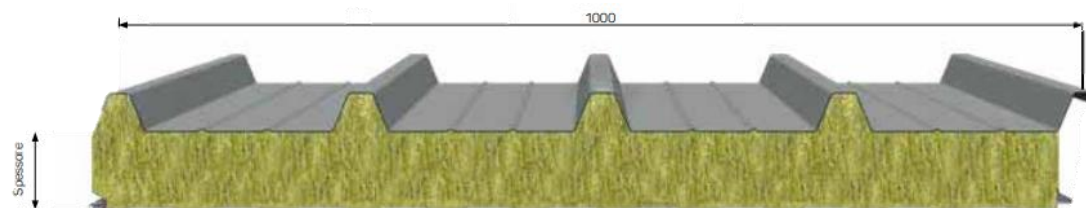


Legenda

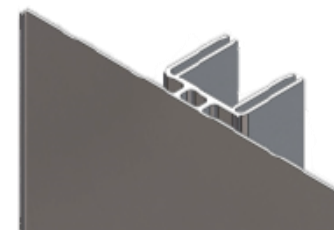
- | | |
|-------------------------|------------------------------------|
| 1 – Profilo di base | 4 – Distanziale taglio termico |
| 2 – Profilo di chiusura | 5 – Nastro EPDM |
| 3 – Isolante termico | 6 – 7 – 8 – Accessori di fissaggio |

Il sistema

- Il profilo di base **(1)** è fissato tramite il distanziale a taglio termico **(4)** alla struttura di base con ancoranti chimici in corrispondenza di ogni fascia marcapiano.
- Successivamente esso accoglie il pannello sandwich con isolante (lana di roccia o poliuretano) e doppia lamiera metallica (interna di tipo micro-grecato ed esterna grecata a 5 greche) del tipo IsoPan o similari.



Profilo di base



Profilo di chiusura



- Posizionato il pannello isolante, si fissa il profilo di chiusura **(2)** sigillando il tutto con isolante termico per garantire continuità nell'isolamento termico.
- Ogni modulo così ottenuto ha **larghezza 1m e altezza 6m**.

MIL15s per il retrofit sismico di un aggregato in muratura

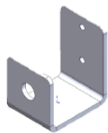
Il sistema integrato: **MIL15.s**

I profili sono realizzati in **lega di alluminio AW 6060 – T6**:

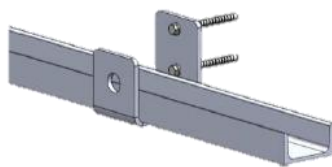
Le Connessioni e gli accessori di fissaggio

Lega	Res. Car. al limite convenzionale elastico f_0	Res. Car. ultima f_u	All. a rottura	Cl. instabilità	Cl. durabilità
Al – Si – Mg	150 MPa	190 MPa	8%	A	B

Alla base dell'edificio sono disposti e fissati con tasselli chimici i **profili ad U** che andranno ad accogliere il sistema.



Successivamente sono posizionati i profili di base che sono alti **6 m** e vengono fissati con **tasselli chimici** in corrispondenza di ogni marcapiano. Tramite viti auto-foranti, disposte ogni 20 cm, si fissa il profilo di chiusura al pannello sandwich precedentemente inserito.

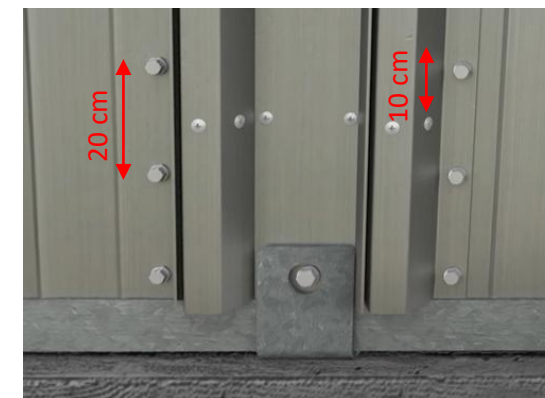


1. Connessione Profilo ad U – sandwich: Bulloni

2. Connessione Profilo di base – Muratura: Tasselli chimici



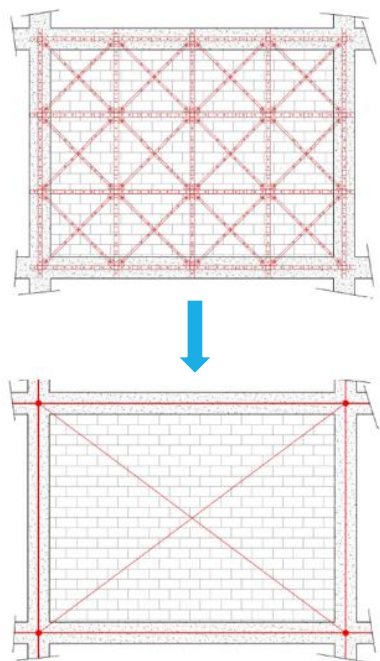
3. Connessione Montanti – Pannello Isolante ogni 20 cm: Viti auto-foranti



MIL15s per il retrofit sismico di un aggregato in muratura

Step 1

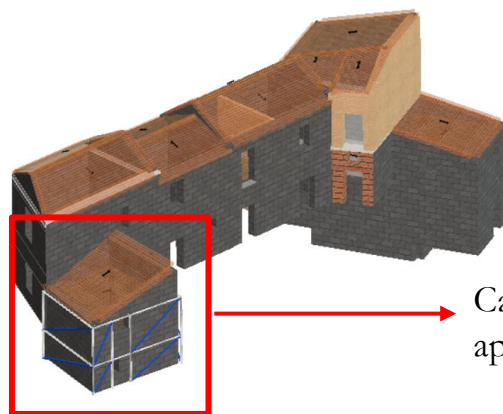
Per ogni maschio murario, è stato creato un telaio corrispondente ai profili verticali e al pannello sandwich.



Step 2

Il calcolo del diametro della diagonale equivalente (che rappresenta il pannello sandwich) è avvenuto considerando la rigidezza equivalente di ciascuna diagonale mediante l'Eq. (1):

$$K_{eq} = \sum k_i \quad (1)$$

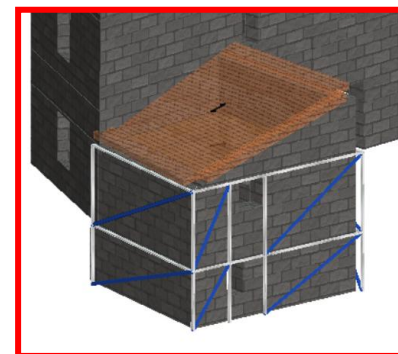


Cappotto sismico applicato sull'US1

Step 3

Nota la rigidezza equivalente, è possibile derivare l'area con l'Eq. (2) e quindi il diametro della singola diagonale.

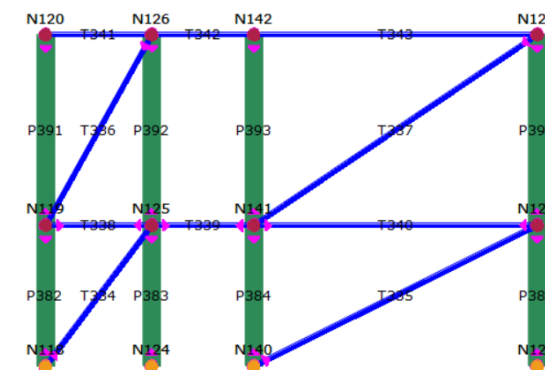
$$K_{eq} = E_p \cdot A_p / l_p \cdot \cos^2 \alpha \quad (2)$$



In cui:

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

Facciata principale dell'US1 con il sistema integrato sismico – energetico MIL15s



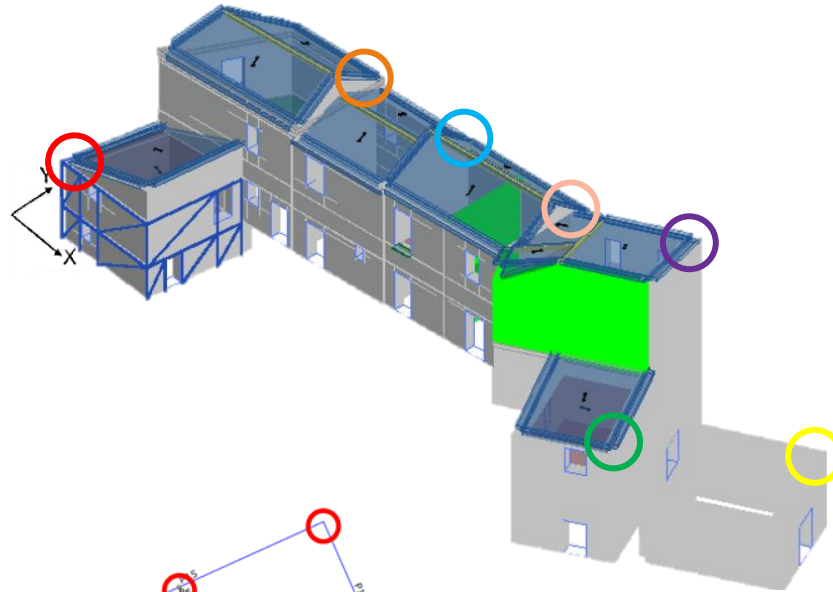
- Fiorino L., Iurio O., Landolfo R. (2014) Designing CFS structures: The new school bfs in Naples. Thin-Walled Structures, 78: 37–47.
- Thorburn L.J., Kulak G.L.; Montgomery, C.J. (1983). Analysis of Steel Plate Shear Walls; Structural Engineering Report No. 107; University of Alberta: Edmonton, AB, Canada.

MIL15s per il retrofit sismico di un aggregato in muratura

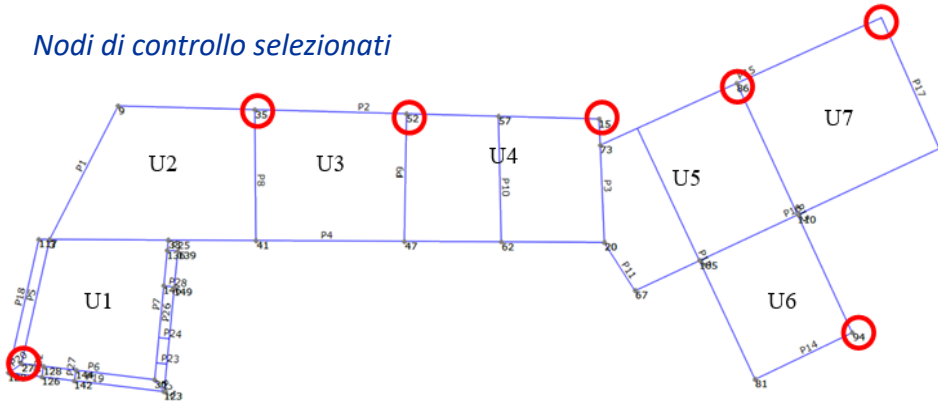
Ripetizione delle analisi pushover sul modello con il cappotto

Scopo delle analisi

Per valutare gli effetti del sistema integrato MIL15.s sulle altre unità strutturali, le analisi non lineari sono state ripetute **monitorando lo spostamento di un nodo di controllo** che appartiene, di volta in volta, ad ognuna delle celle che compongono l'aggregato investigato.



Nodi di controllo selezionati



Il caso studio: **Valutazione della vulnerabilità sismica – Dopo l'intervento**

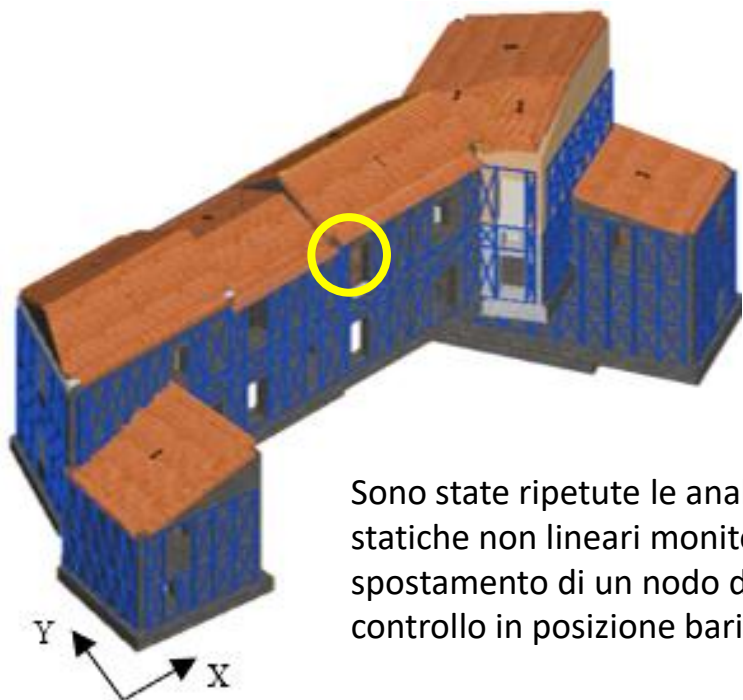
Confronto degli indici α_{SLV} prima e dopo l'intervento

Unità Strutturale	Direzione	Stato Ante α_{SLV}	Stato Post α_{SLV}
1	X	0,267	0,323
	Y	0,313	0,311
2	X	0,581	0,643
	Y	0,290	0,287
3	X	0,574	0,642
	Y	0,435	0,453
4	X	0,573	0,638
	Y	0,359	0,340
5	X	0,619	0,452
	Y	0,345	0,349
6	X	0,643	0,657
	Y	0,436	0,399
7	X	0,585	0,579
	Y	0,479	0,532

MIL15s per il retrofit sismico di un aggregato in muratura

Vista 3D dell'aggregato

Il sistema integrato MIL15.s è stato applicato in corrispondenza di tutte le unità

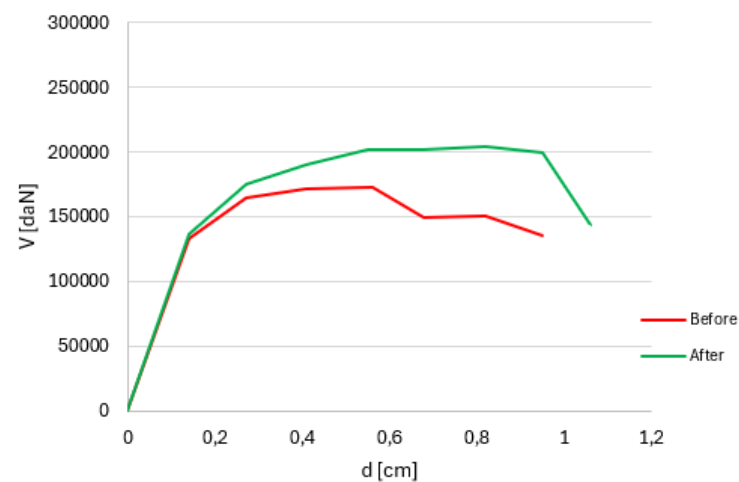


Sono state ripetute le analisi statiche non lineari monitorando lo spostamento di un nodo di controllo in posizione baricentrica

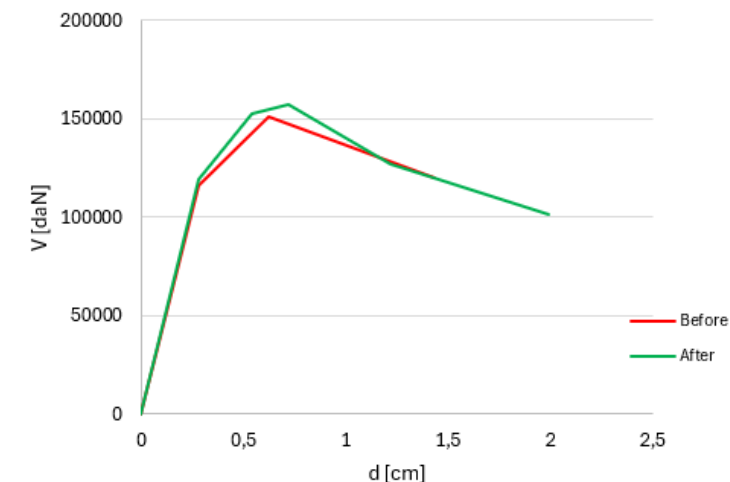
Il caso studio: **Valutazione della vulnerabilità sismica – Dopo l'applicazione del sistema su tutto il complesso edilizio**

Direzione	Stato Ante α_{SLV}	Stato Post α_{SLV}	Δ
X	0.564	0.720	+ 0,156
Y	0.349	0.510	+ 0,161

Capacity Curves - X Direction



Capacity Curves - Y Direction



Le curve di capacità (Taglio alla Base vs. Spostamento in Sommità) indicano un **aumento della resistenza**, particolarmente evidente lungo la direzione longitudinale. In entrambi i casi, si osserva anche un **lieve incremento della duttilità**, che si traduce in spostamenti maggiori in condizioni ultime.

GRAZIE PER LA
CORTESE ATTENZIONE