
AIST

Associazione Italiana Software Tecnico



Caserta
5-7 Maggio
2022



Miglioramento sismico di strutture esistenti: casi pratici di progettazione e modellazione

Convegno strutture AIST

Sabato 7 Maggio - SED Caserta - Arena AIST D05

RETROFIT SISMICO DI EDIFICI ESISTENTI MEDIANTE SISTEMI LEGGERI METALLICI

Prof. Ing. Antonio FORMISANO

Dip. di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura

Università di Napoli Federico II



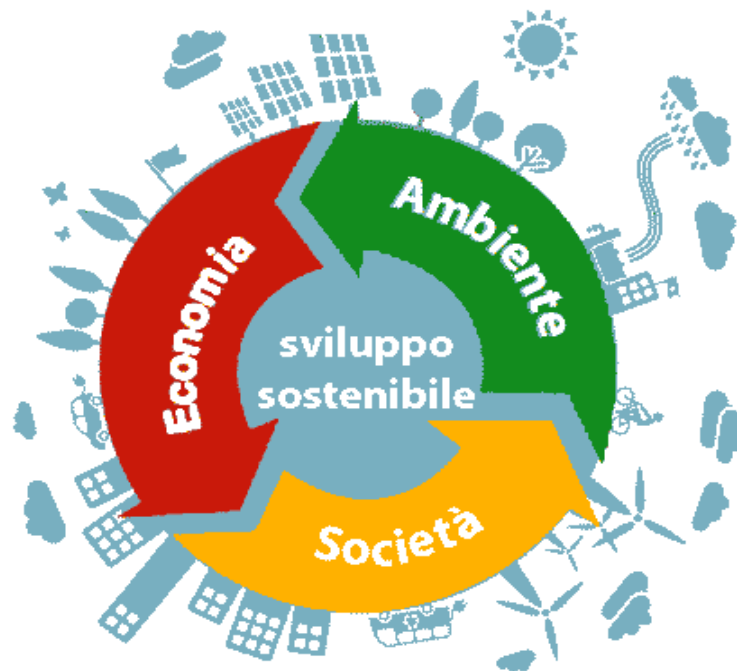
Categorie di intervento su edifici esistenti mediante sistemi in acciaio cold-formed

- 1) INCREMENTO VOLUMI RESIDENZIALI MEDIANTE SOPRAELEVAZIONE
- 2) RETROFIT SISMICO-ENERGETICO CON ESOSCHELETRI

Categorie di intervento su edifici esistenti mediante sistemi in acciaio cold-formed

- 1) INCREMENTO VOLUMI RESIDENZIALI MEDIANTE SOPRAELEVAZIONE
- 2) RETROFIT SISMICO-ENERGETICO CON ESOSCHELETRI

Sviluppo sostenibile



- Impatto ambientale
- Risparmio energetico
- Risorse rinnovabili



CONSUMO DI SUOLO

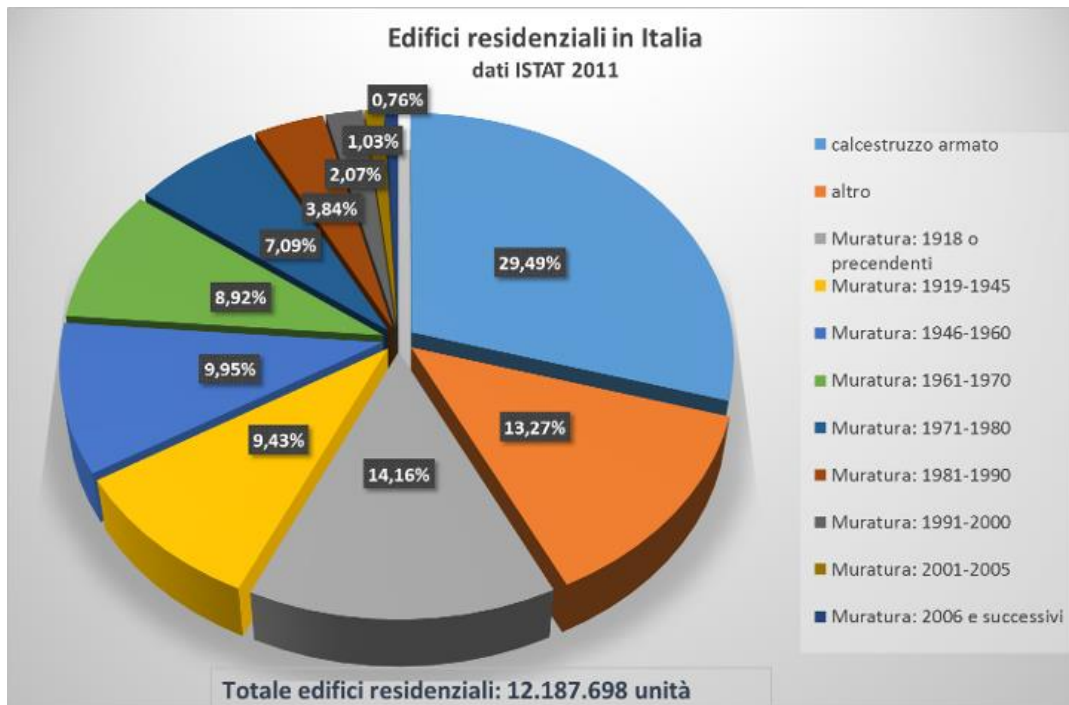


RIDUZIONE AREE DI
INTERVENTO



PATRIMONIO VETUSTO

Patrimonio edilizio



- PIANO CASA (CAMPANIA)
 - ECOBONUS
 - SISMABONUS
 - SUPERBONUS 110%
- ▼
- EDIFICI COLLABENTI
 - EDIFICI INDUSTRIALI
 - EDIFICI RESIDENZIALI

Incremento dei volumi e conversione dei sottotetti



SOPRAELEVAZIONE
DELL'ESISTENTE

E/O

INCREMENTO DEI CARICHI AGENTI



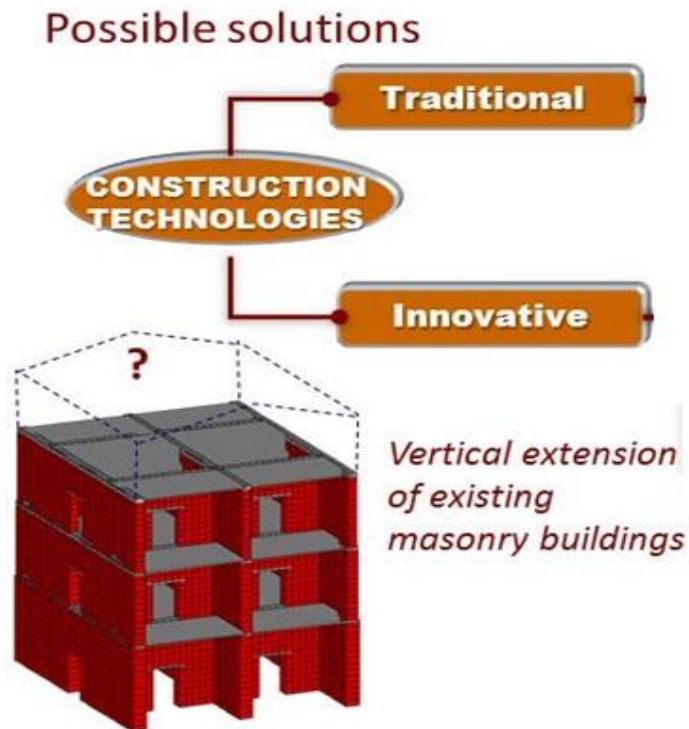
ADEGUAMENTO SISMICO

INCREMENTO DEI COSTI DI
INTERVENTO



Filosofia di intervento

- LEGGEREZZA
- ALTE PRESTAZIONI STRUTTURALI
- PRESTAZIONI ENERGETICHE
- MATERIALI RINNOVABILI



Muratura

C.A.

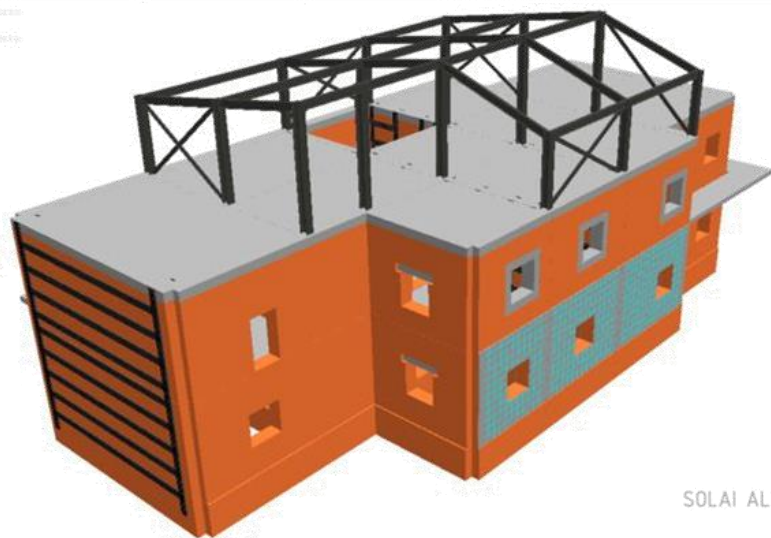
Legno

Acciaio

Compositi

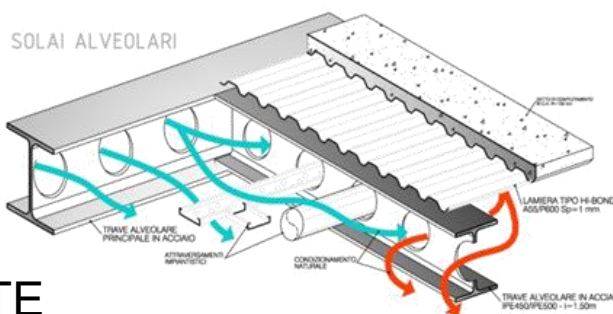
Tipologie in acciaio

TRADIZIONALI



- MODELLAZIONE
- VERIFICHE LOCALI
- TAMPONATURE
- INTERVENTI SULL'ESISTENTE

TRAVI ALVEOLARI



INNOVATIVE

ACCIAIO COLD-FORMED



Sistemi cold-formed

STRUTTURE

1 Strutture ad ASTE (Stick-Built Constructions)

- Sottosistema portante verticale ad aste
- Pannelli controventanti
- Appoggi lineari



2 Strutture a PANNELLI (Panelized Constructions)

- Sottosistema portante verticale a pareti
- Appoggi lineari

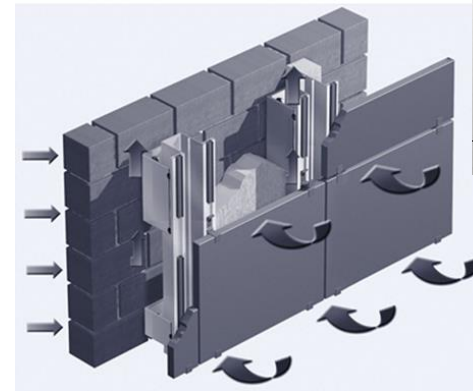


3 Strutture a MODULI (Modular Constructions)

- Sistema costituito da uno o più moduli
- Appoggi puntuali



FACCIALE SISTEMI CURTAIN-WALL



Caso studio: edificio in linea in muratura



Direzione di massima pericolosità

Solai in opera

Edificio in linea
Muratura ordinaria

Pareti di controvento



Soletta armata



Cordoli di piano in c.a.



Connessioni Nelson

OBIETTIVI

- STUDIO PARAMETRICO DELLE SOPRAELEVAZIONI PER DIFFERENTI SOLUZIONI STRUTTURALI
- EDIFICIO CLASSE LEED PLATINUM

???

Caso studio: edificio in linea in muratura

SOPRAELEVAZIONE



MATERIALI ESISTENTI

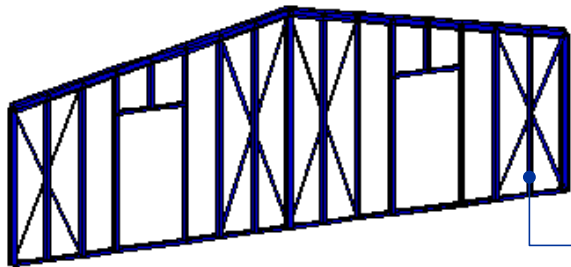
- MURATURA A CONCI DI PIETRA TENERA
- MURATURA DI BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI
- MURATURA A CONCI REGOLARI DI PIETRA

TOTALE N.54 SIMULAZIONI

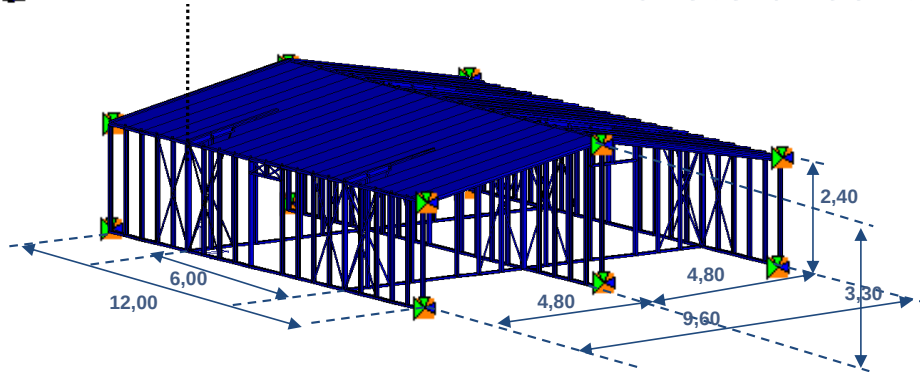
Caso studio: edificio in linea in muratura

PROGETTO CF

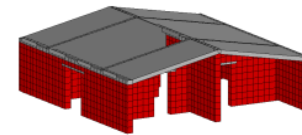
- Acciaio S275-S235
- $PGA = 0,35g$
- Fattore $q=3,0$



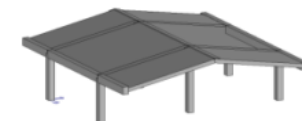
Parete di controvento



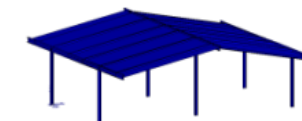
Tipologie di sopraelevazione



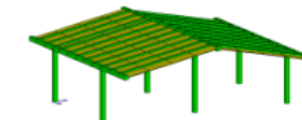
Muratura



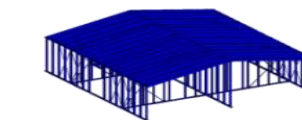
Calcestruzzo
armato



Acciaio laminato



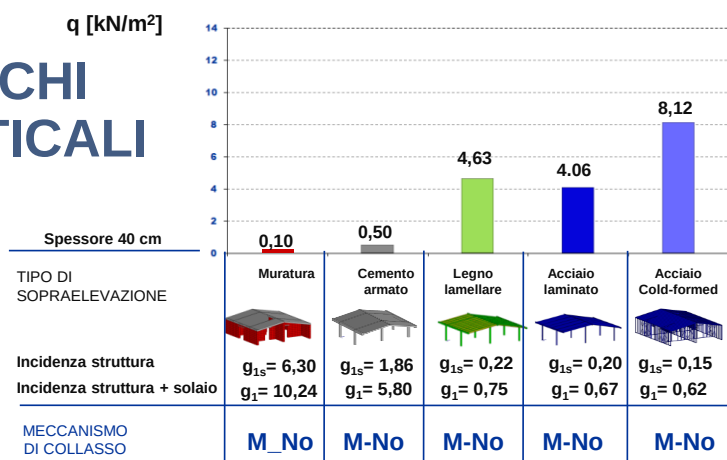
Legno lamellare



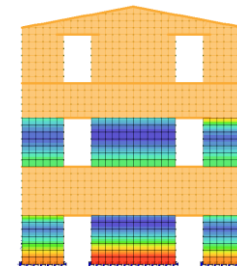
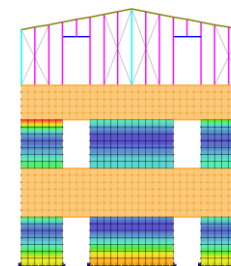
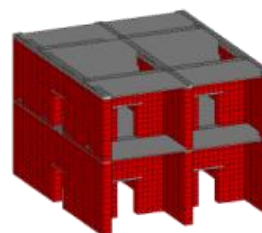
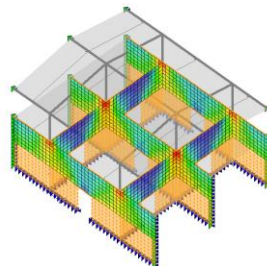
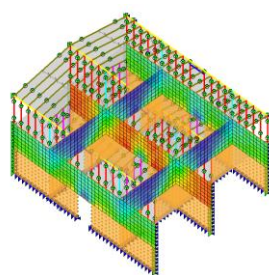
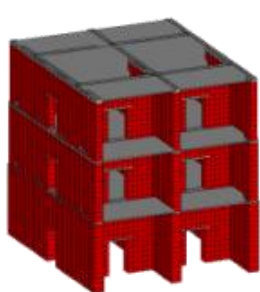
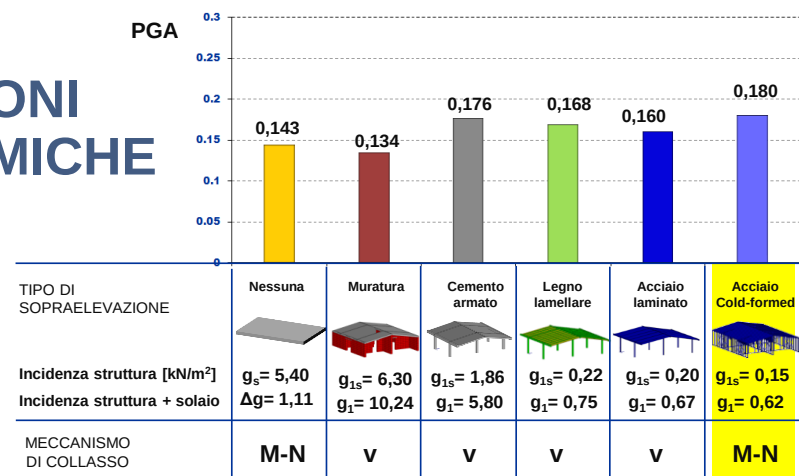
Acciaio
cold-formed

Analisi effettuate

CARICHI VERTICALI

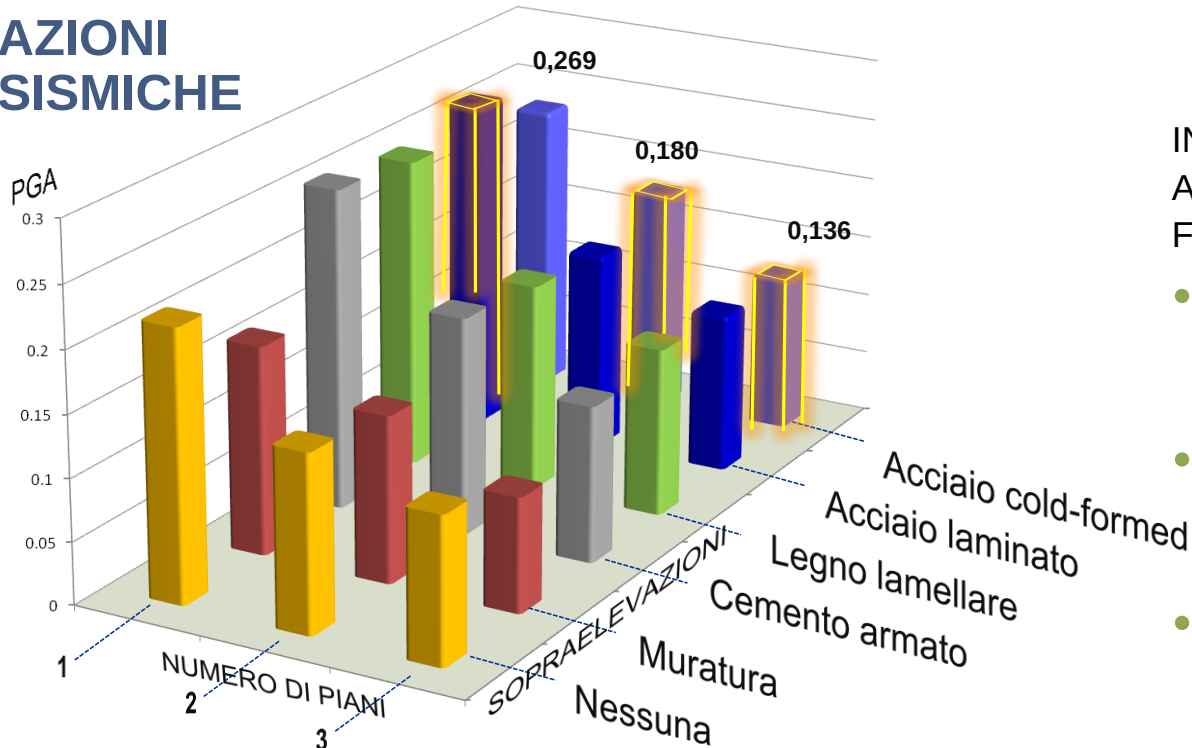


AZIONI SISMICHE



Risultati e confronti con tecnologie tradizionali

AZIONI SISMICHE

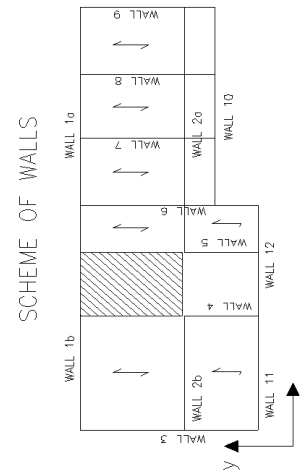
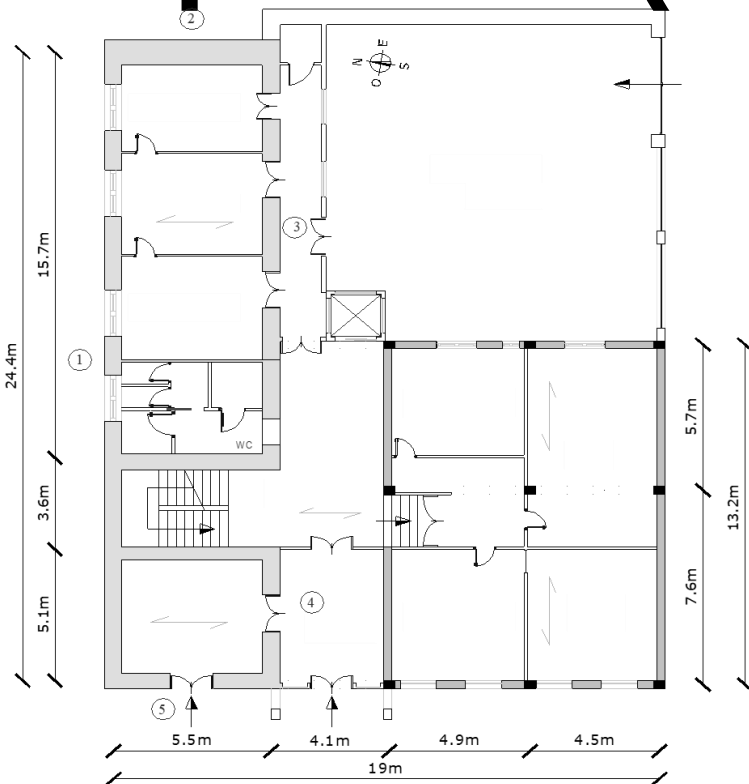


CARICHI VERTICALI

IN ASSENZA DI CORDOLI ADEGUATAMENTE RIGIDI FLESSIONALMENTE:

- LA SOLUZIONE IN CEMENTO ARMATO GENERA CONCENTRAZIONI DI TENSIONE INCOMPATIBILI
- TALI CONCENTRAZIONI SONO PRESENTI NELLE SOPRAELEVAZIONI LEGGERE DI TIPO PUNTUALE
- GLI SPESSORI ED IL MATERIALE INFLUENZANO NOTEVOLMENTE I RISULTATI

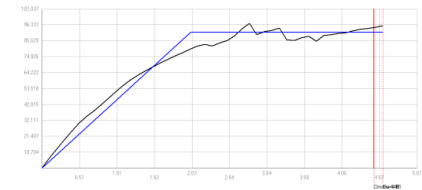
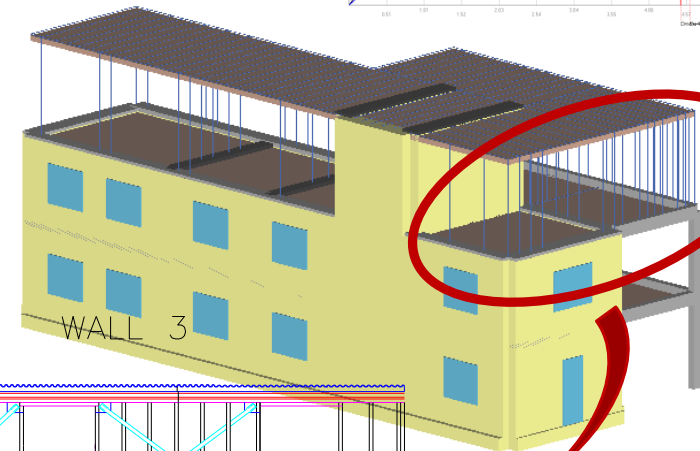
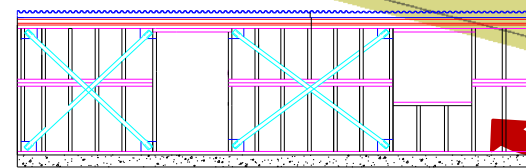
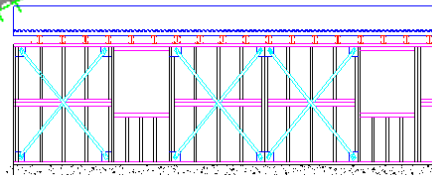
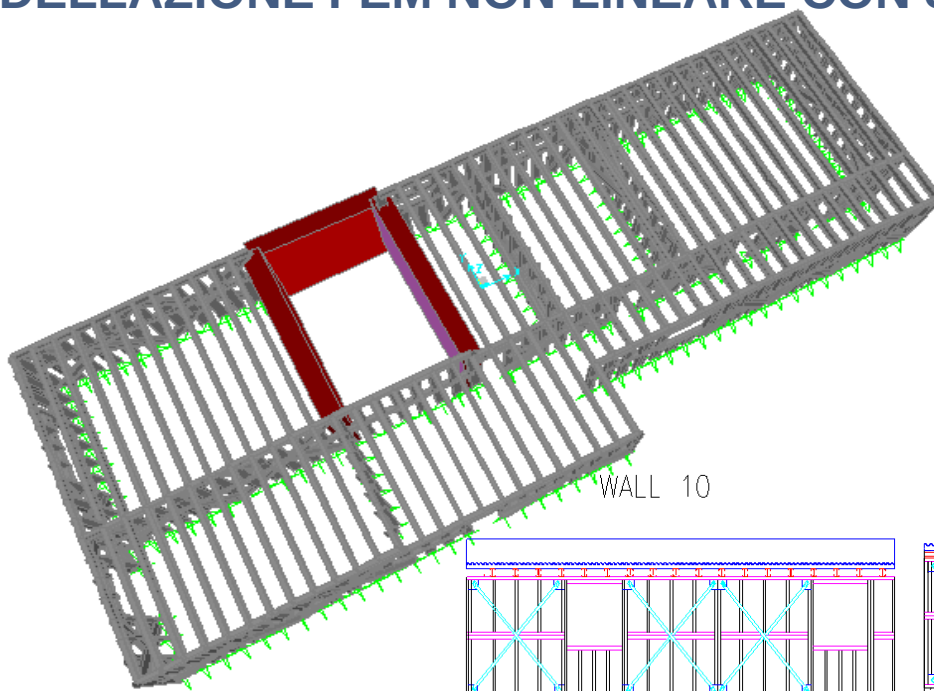
Un caso applicativo: il comune di Capodrise (CE)



- EDIFICIO IN MURATURA DI TUFO SU DUE LIVELLI IN ADERENZA AD EDIFICIO IN C.A. SU TRE LIVELLI
- ESIGENZA DI NUOVI SPAZI PER L'AMMINISTRAZIONE MA RIDOTTA DISPONIBILITÀ ECONOMICA

Un caso applicativo: il comune di Capodrise (CE)

MODELLAZIONE FEM NON LINEARE CON SISTEMA CF



Il comune di Capodrise: ieri e oggi



Conclusioni

LE ANALISI CONDOTTE HANNO EVIDENZIATO CHE:

- L'IMPIEGO DI MATERIALI DIVERSI DA UNA MURATURA GENERANO EFFETTI «ANTENNA» CHE ALTERANO IL COMPORTAMENTO DINAMICO DELLE STRUTTURE ESISTENTI
- È NECESSARIO REALIZZARE CORDOLI AMMORSATI IRRIGIDENTI LA FASCIA DI PIANO (STRUTTURE INTELAIATE IN C.A., LEGNO ED ACCIAIO GENERANO CONCENTRAZIONI DI SFORZI INCOMPATIBILI)
- SOLUZIONI IN ACCIAIO CONSENTONO DI OTTIMIZZARE GLI EFFETTI, RIDUCENDO IL POTENZIAMENTO DELLE OPERE MURARIE SOTTOSTANTI
- IL SISTEMA COLD-FORMED, DIFFONDENDO IN MODO UNIFORME LE AZIONI, ELIMINA LE PROBLEMATICHE DI RINFORZO E RIDUCE GLI INTERVENTI DI RINFORZO (VEDI CAPODRISE)

Conclusioni

METTENDO A SISTEMA I PARAMETRI DI PERFORMANCE STRUTTURALI CON QUELLI DI ANALISI LCA ([LIFE CYCLE ASSESSMENT](#)), IN CUI LE SOLUZIONI IN LEGNO ED ACCIAIO OTTENGONO LE MASSIME PRESTAZIONI DI PERFORMANCE AMBIENTALE, È POSSIBILE CONCLUDERE CHE:

- I SISTEMI COLD FORMED (CF) SI PRESENTANO COME UNA SOLUZIONE OTTIMALE PER IL PROBLEMA DELLA SOPRAELEVAZIONE DI EDIFICI ESISTENTI
- LA POSSIBILITÀ DI PREFABBRICAZIONI DA «PESANTE» A «LEGGERA» CONSENTE LA MASSIMA VERSATILITÀ E CONTRAZIONE DELLE TEMPISTICHE DI MONTAGGIO
- L'IMPIEGO DI ELEMENTI STANDARD MIGLIORA IL COLLAUDO E L'ACCETTAZIONE DEI MATERIALI IN CANTIERE
- IL COSTO SUPERIORE (+25% RISPETTO SOLUZIONE ACCIAIO) SI COMPENSA RISPETTO AL COSTO DI RINFORZO DELLA MURATURE (250-300 €/mq con intonaco armato – 900-1400 €/mq con FRP)

Categorie di intervento su edifici esistenti mediante sistemi in acciaio cold-formed

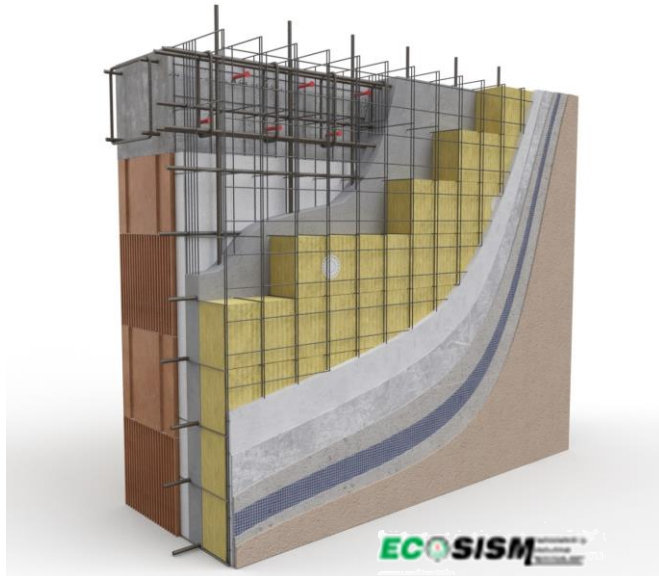
- 1) INCREMENTO VOLUMI RESIDENZIALI MEDIANTE SOPRAELEVAZIONE
- 2) RETROFIT SISMICO-ENERGETICO CON ESOSCHELETRI

Contenuti

- 1. Tecniche integrate per il retrofit sismo-energetico degli edifici esistenti**
- 2. Una soluzione alternativa: Il cappotto sismico DUO SYSTEM**
- 3. Analisi FEM per la valutazione delle prestazioni sismiche**
- 4. Intervento su un edificio in muratura**
- 5. Intervento su un edificio in c.a.**
- 6. Analisi di dettaglio sui collegamenti**

Tecniche integrate di retrofit

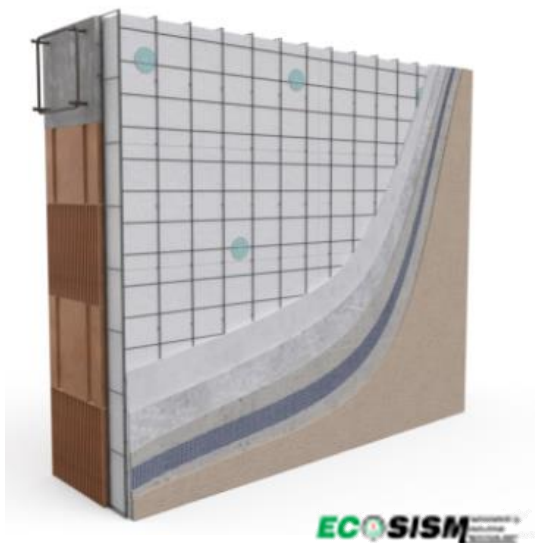
GENIALE CAPPOTTO SISMICO



- SOLUZIONE CON LASTRE DI CLS TRA DUE STRATI ISOLANTI CHE FUNGONO DA CASSERO

Tecniche integrate di retrofit

KARMA CAPPOTTO ARMATO



- SISTEMA DI ISOLAMENTO E DI ANTI-RIBALTAMENTO DELLE TAMPONATURE

Tecniche integrate di retrofit

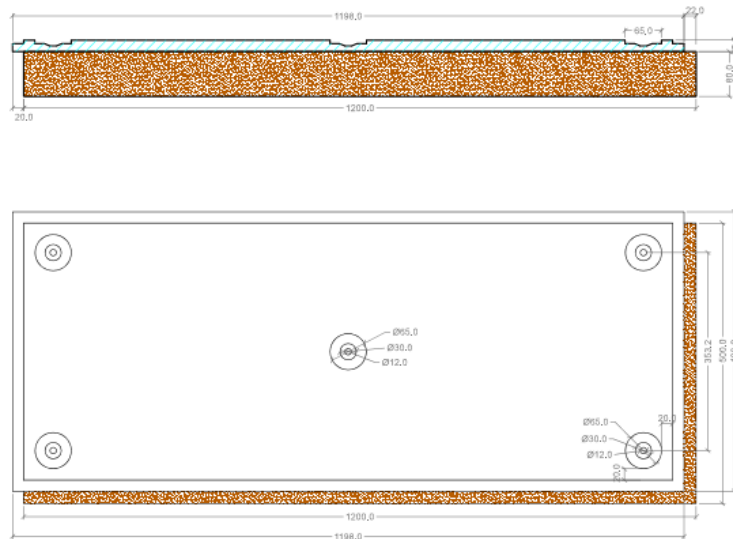
SISMA COAT



- SOLUZIONE CON PROFILI COLD-FORMED, BETONCINO STRUTTURALE ARMATO E PANNELLI ISOLANTI

Tecniche integrate di retrofit

BETONTHERM



Beton Wood



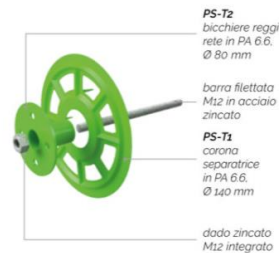
- SOLUZIONE CON PANNELLO IN LEGNOCEMENTO ANTISISMICO E PANNELLO IN FIBRE DI LEGNO NATURALE ISOLANTE

Tecniche integrate di retrofit

RESISTO 5.9

RESISTO 5.9
il cappotto antisismico

Progetto
SISMA



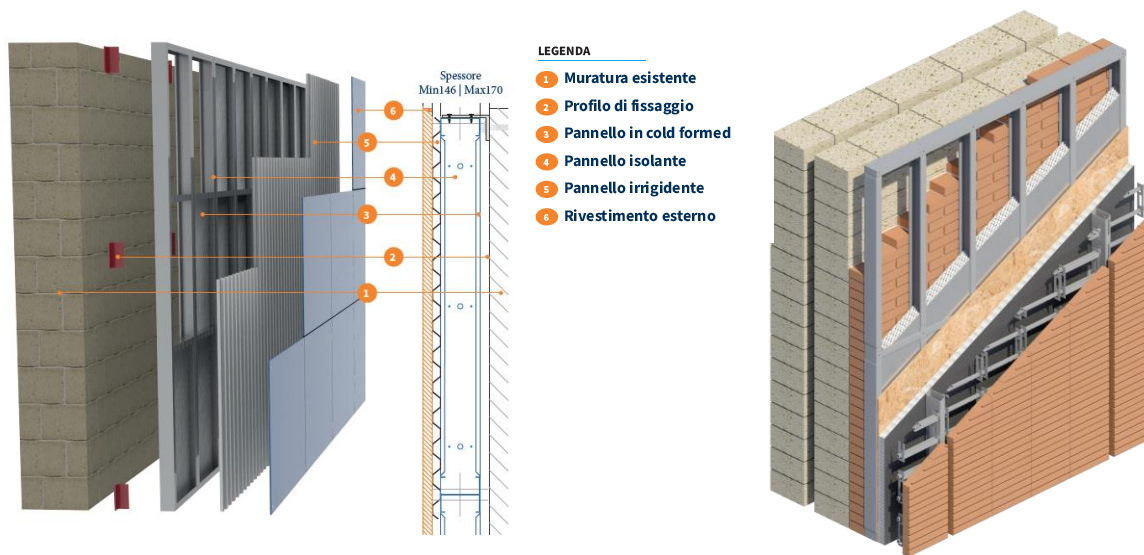
DETTAGLIO DEL SISTEMA
DI AGGANCIO ESCLUSIVAMENTE
PROGETTATO PER IL SISTEMA RESISTO



- SOLUZIONE CON ESOSCHELETRI IN ACCIAIO CFS CON SISTEMA CONTROVENTANTE A CROCE DI S. ANDREA E PANNELLI ISOLANTI

Il cappotto sismico DUO SYSTEM

Come riuscire a coniugare l'incremento della sicurezza sismica e dell'efficienza energetica con un sistema leggero, flessibile ed economico?

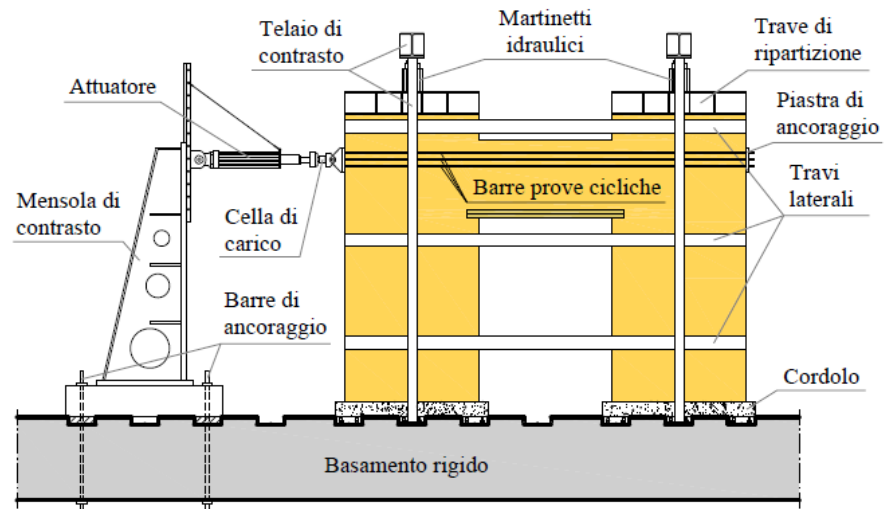
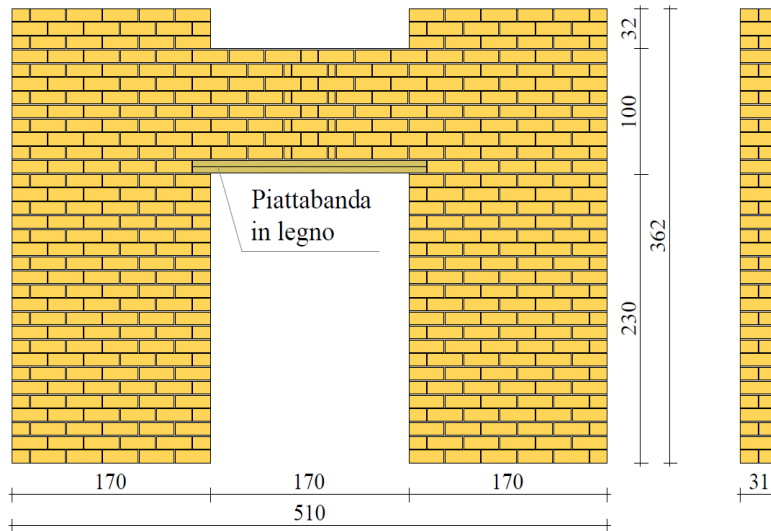


Convenzione di Ricerca
Scientifica fra il DIST e la
Irondom Srl finalizzata allo studio
del cappotto sismico innovativo a
secco DUO SYSTEM
Febbraio 2019 – Dicembre 2020

Analisi FEM

Calibrazione comportamento sperimentale parete muratura tufo

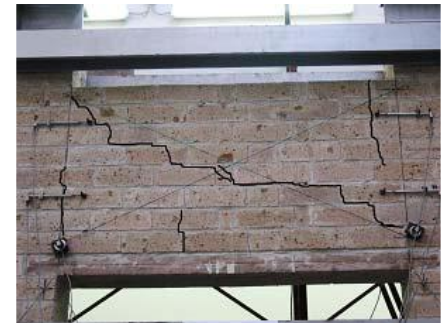
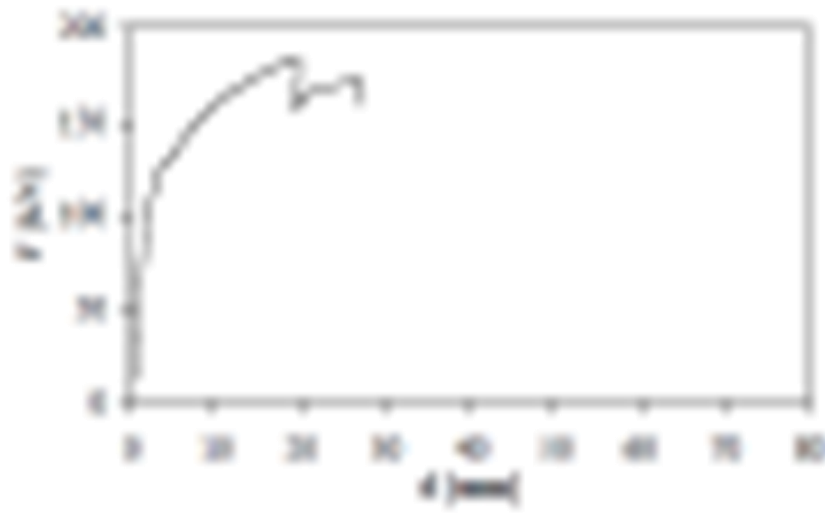
Prove eseguite presso il laboratorio DIST (Augenti et al., 2011)



Analisi FEM

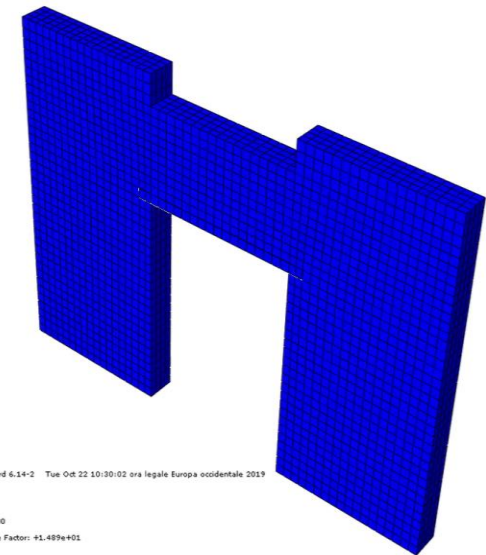
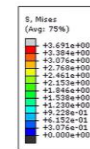
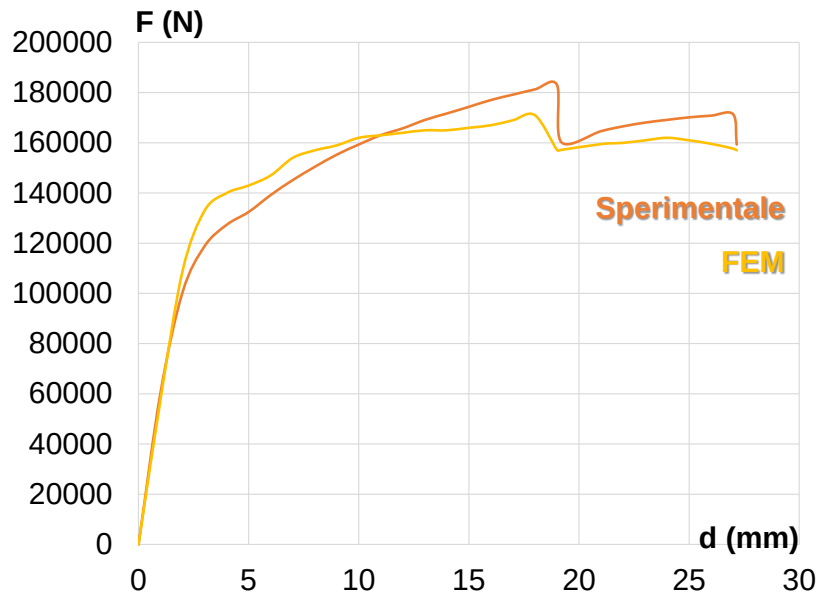
Calibrazione comportamento sperimentale parete muratura tufo

Prove eseguite presso il laboratorio DIST (Augenti et al., 2011)



Analisi FEM

Calibrazione comportamento sperimentale parete muratura tufo
Simulazione numerica con software ABAQUS

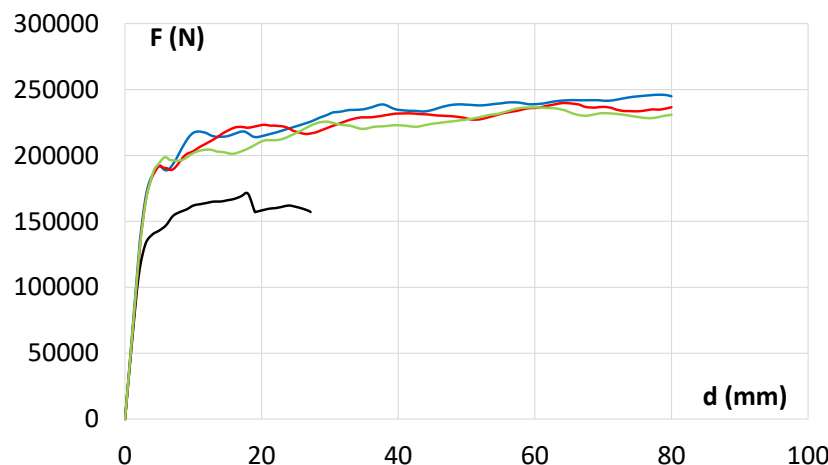
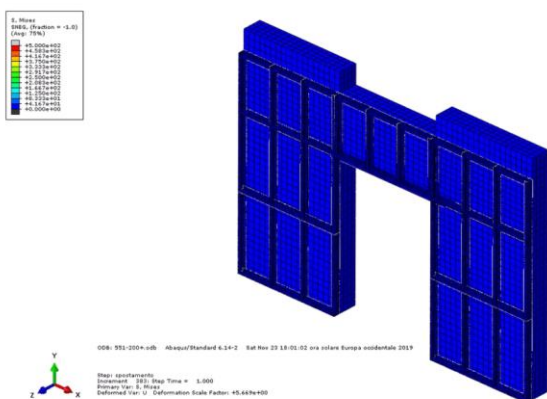


008: Job-01X.odt Abaqus/Standard 6.14-2 Tue Oct 22 10:30:02 ora legale Europa occidentale 2019

Step: compression
Increment: 8 Step Time = 0.000
Primary Var: S, Mises
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.489e+01

Analisi FEM

Calibrazione comportamento sperimentale parete muratura tufo Simulazione numerica con software ABAQUS



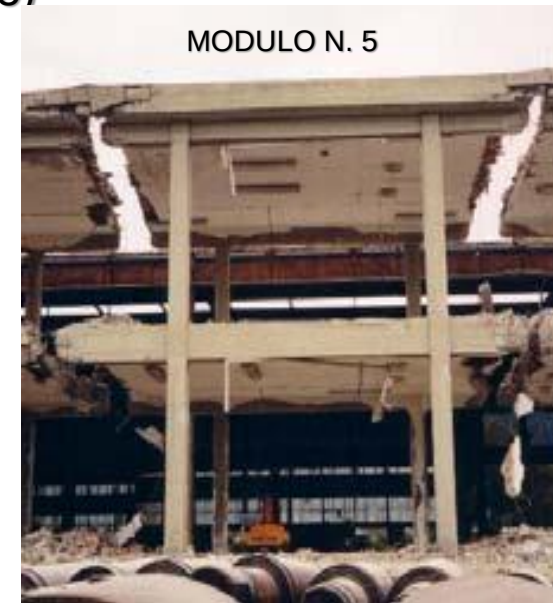
- prova calibrata
- passo CFS 551/passi tasselli 200
- passo CFS 551/passi tasselli 400
- passo CFS 551/passi tasselli 600

Passo		Incremento resistenza
Montanti	Tasselli	(%)
551	200	36
551	400	31
551	600	28

Analisi FEM

Calibrazione comportamento sperimentale edificio al vero in c.a.

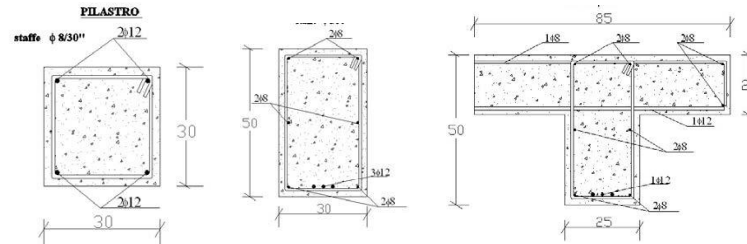
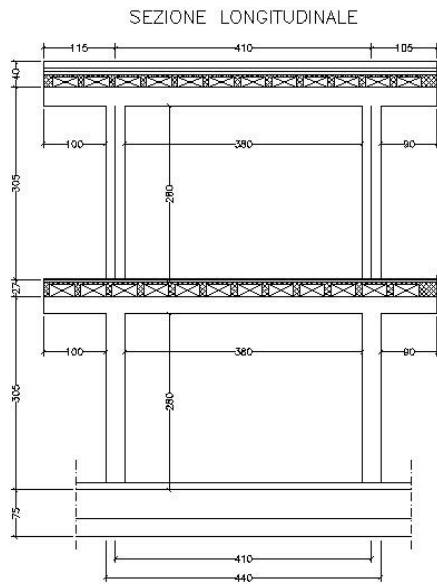
Campagna sperimentale ILVA-IDEM (2000-2005) (Mazzolani, 2005)



Analisi FEM

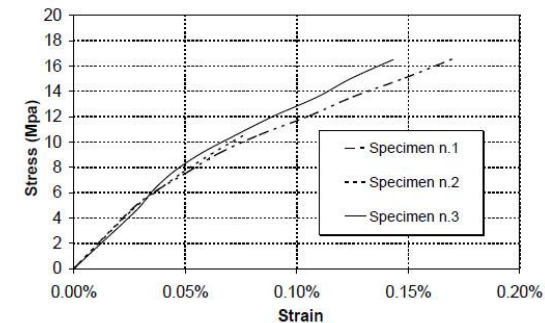
Calibrazione comportamento sperimentale edificio al vero in c.a.

Campagna sperimentale ILVA-IDEM (2000-2005) (Mazzolani, 2005)



Specimens	Φ	Length	Yielding load	Ultimate load	Ultimate Stress	Yielding Stress
n.	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(MPa)	(MPa)
1	8	1040	29.0	33.0	656.5	576.9
2	8	975	-	41.0	815.7	-
3	8	500	23.1	33.4	664.5	459.6
Average					712.2	518.25
4	10	558	39.5	59.2	753.8	502.9
5	10	520	38.9	58.8	748.7	495.3
6	10	485	-	62.7	798.3	-
Average					766.9	499.1
7	12	850	44.1	73.8	652.5	389.9
8	12	570	53.1	82.2	726.8	469.5
9	12	860	53.0	79.0	698.5	468.6
Average					692.6	442.7

RILIEVO STRUTTURE E
PROVE SU MATERIALI

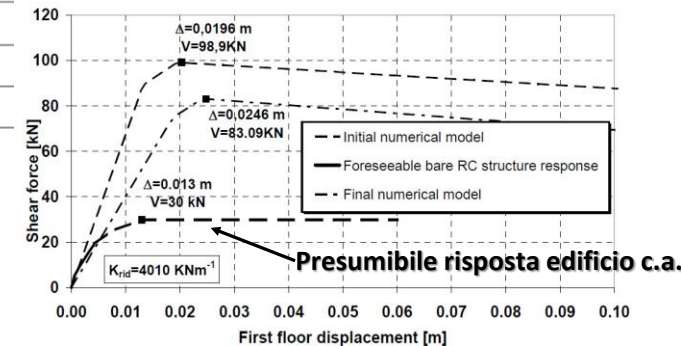
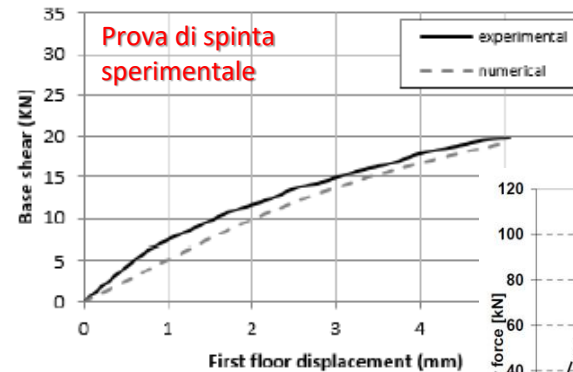


Specimen	Unit weight	Elastic modulus	Strength
n.	(kg/m ³)	(MPa)	(MPa)
1	2244	17692.0	20.5
2	-	16666.7	21.0
3	2235	16129.2	19.9
Average	2239	16829.3	20.5

Analisi FEM

Calibrazione comportamento sperimentale edificio al vero in c.a.

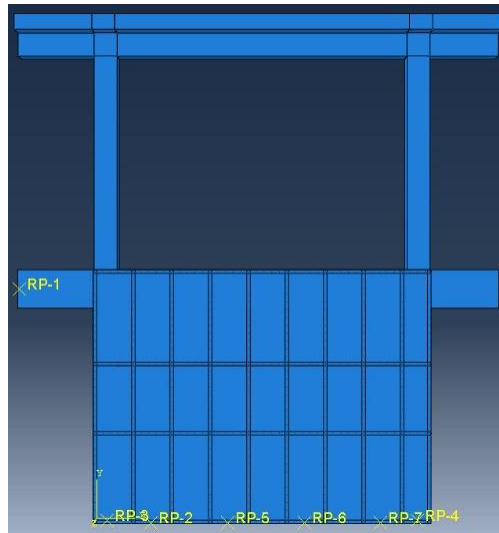
Campagna sperimentale ILVA-IDEM (2000-2005) (Mazzolani, 2005)



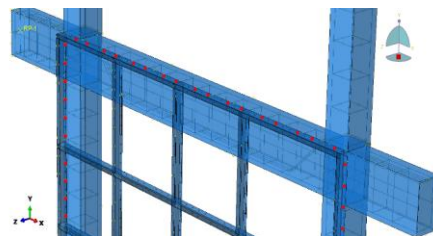
Analisi FEM

Calibrazione comportamento sperimentale edificio al vero in c.a.

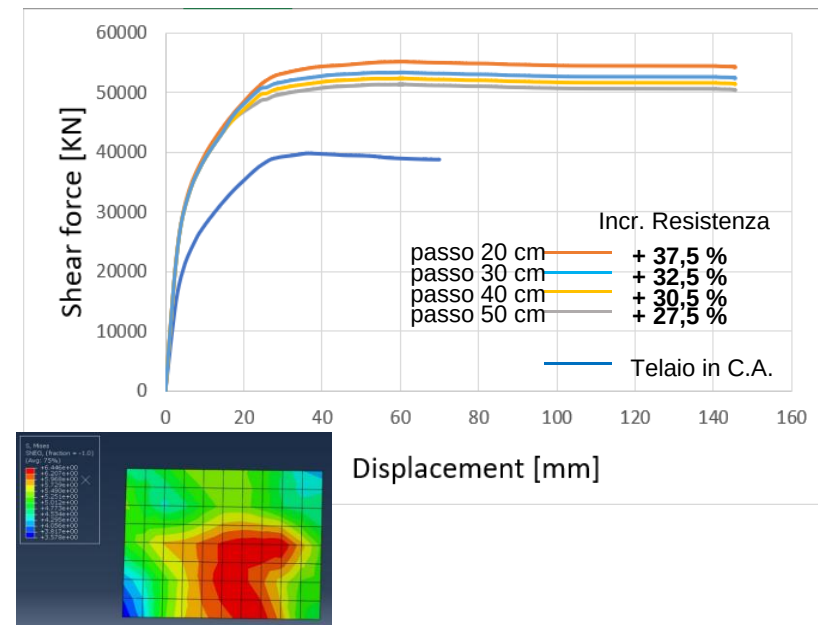
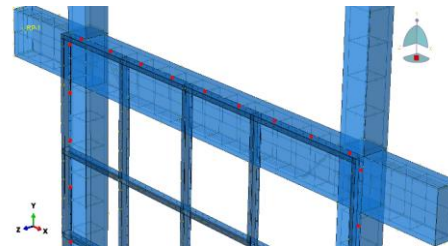
Analisi FEM con software ABAQUS



Passo connettori 20 cm

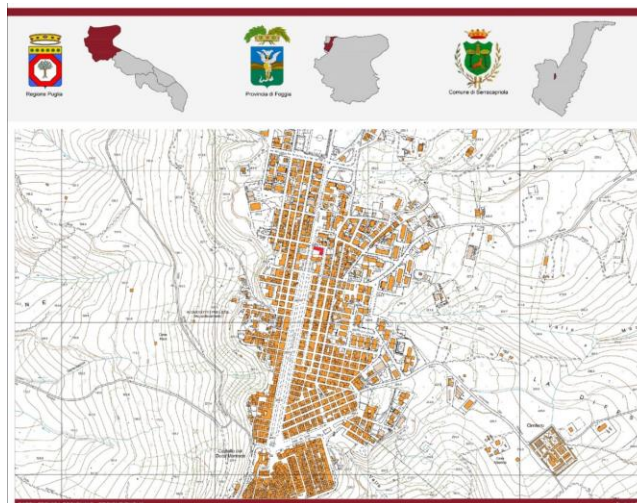


Passo connettori 50 cm



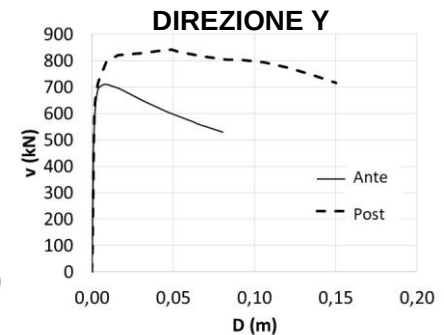
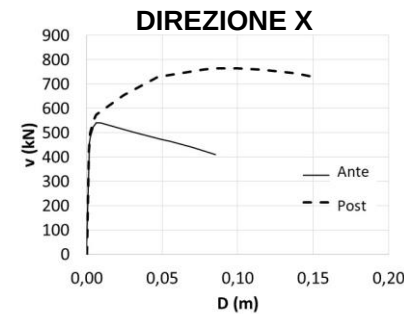
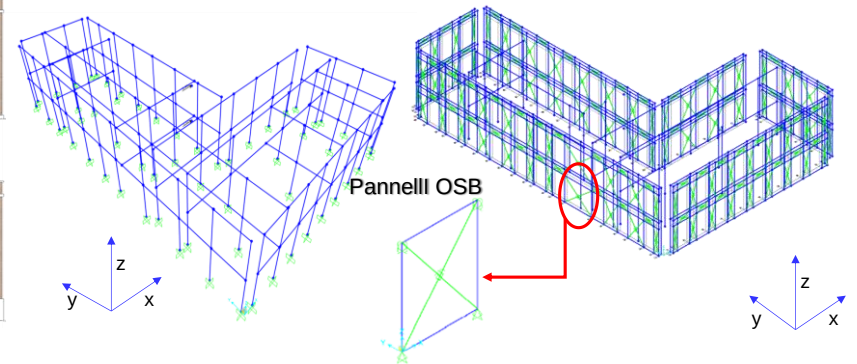
Intervento su un edificio murario

Progetto UEFA-ELENA – Interventi integrati su edifici pubblici
Responsabile: Prof. S. Pampanin (Università di Roma La Sapienza)



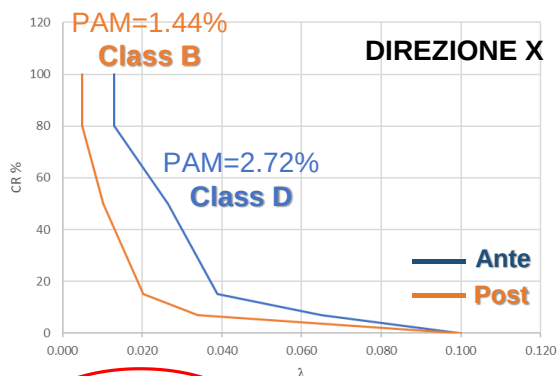
Intervento su un edificio murario

L'ISTITUTO LICCIOTTI A SERRACAPRIOLA (FG)



Intervento su un edificio murario

CLASSE DI RISCHIO SISMICO



PAM=1.85%
Class C

DIREZIONE Y

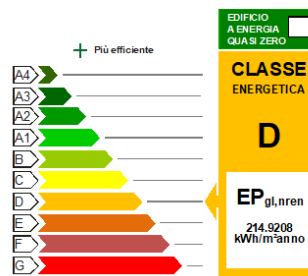
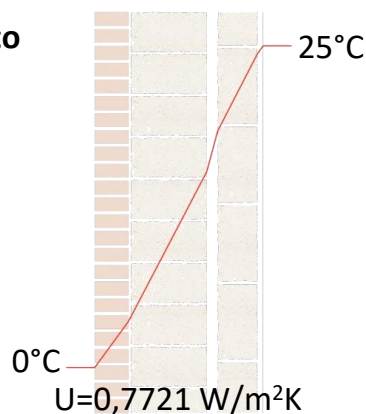
PAM=2.45%
Class D

**PASSAGGIO DI 1
CLASSE DI RISCHIO
SISMICO**

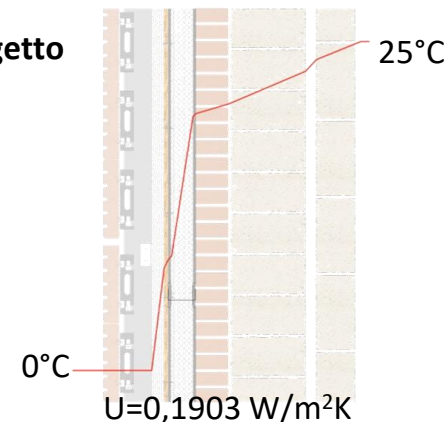
Ante
Post

CLASSE ENERGETICA

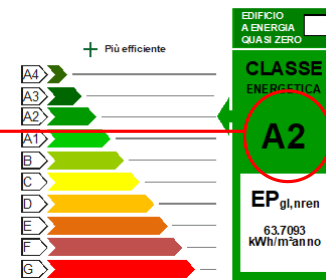
**Stato di Fatto
(ANTE)**



**Stato di Progetto
(POST)**



**CAPPOTTO+INFISSI:
RIDUZIONE DI 5
CLASSI
ENERGETICHE**

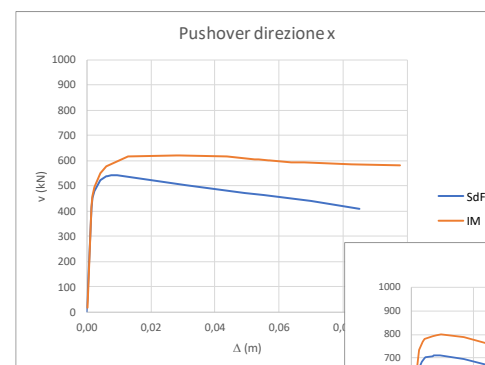
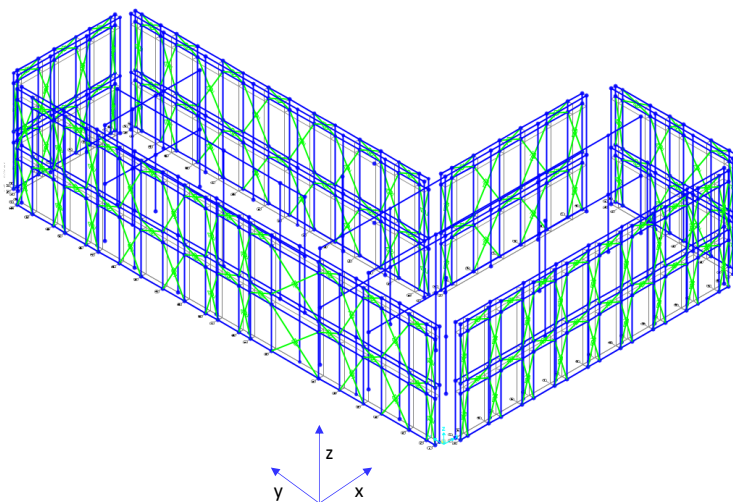
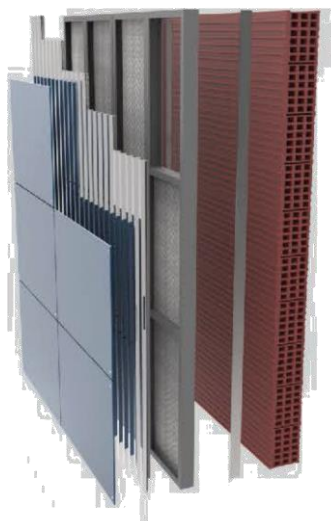


Intervento su un edificio murario

Progetto UEFA-ELENA – Interventi integrati su edifici pubblici

Responsabile: Prof. S. Pampanin (Università di Roma La Sapienza)

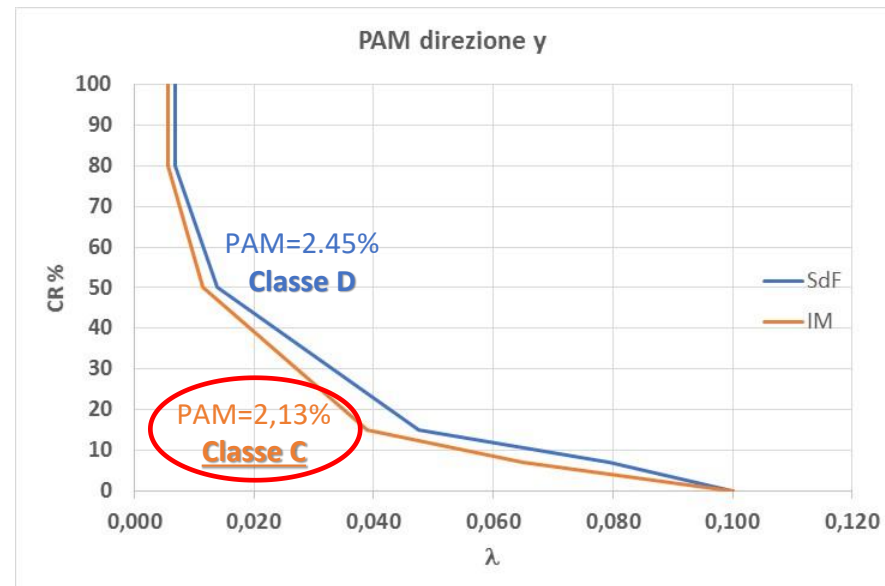
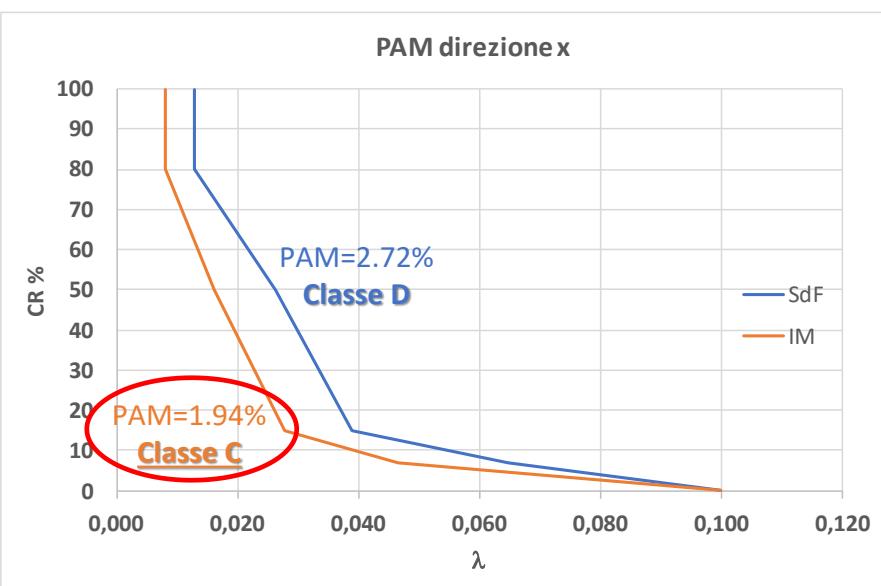
Caso studio: Istituto Leccisotti a Serracapriola (FG) – Analisi FEM con SAP2000 (lamiera AL)



Intervento su un edificio murario

Progetto UEFA-ELENA – Interventi integrati su edifici pubblici
Responsabile: Prof. S. Pampanin (Università di Roma La Sapienza)

Caso studio: Istituto Leccisotti a Serracapriola (FG) – Analisi PAM (lamiera AL)

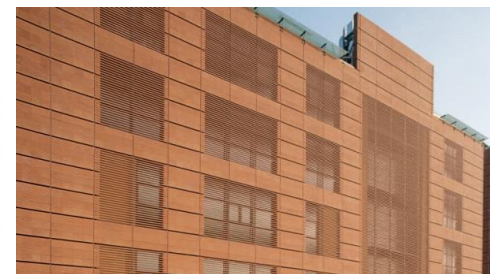


Intervento su un edificio murario

Progetto UEFA-ELENA – Interventi integrati su edifici pubblici

Responsabile: Prof. S. Pampanin (Università di Roma La Sapienza)

Caso studio: Istituto Leccisotti a Serracapriola (FG) – Render intervento



Intervento su un edificio in c.a.

Progetto UEFA-ELENA – Interventi integrati su edifici pubblici
Responsabile: Prof. S. Pampanin (Università di Roma La Sapienza)
Caso studio: Liceo scientifico Volta a Foggia



Caso studio:
Liceo scientifico
Volta a Foggia

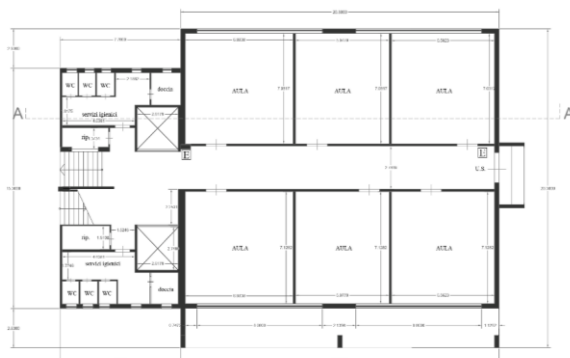


Anno di realizzazione: 1971-72
6 corpi di fabbrica con struttura
portante in c.a.

Intervento su un edificio in c.a.

Progetto UEFA-ELENA – Interventi integrati su edifici pubblici
Responsabile: Prof. S. Pampanin (Università di Roma La Sapienza)

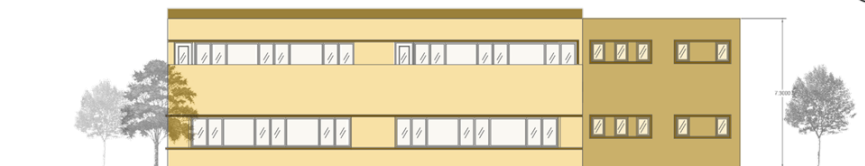
Caso studio: Liceo scientifico Volta a Foggia



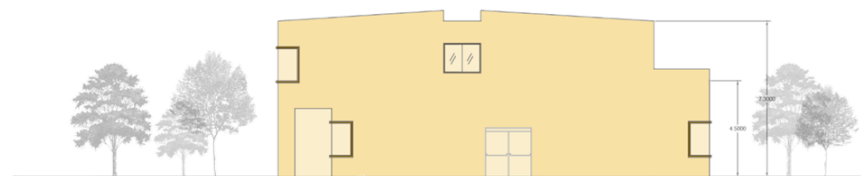
PIANTA PIANO TERRA - SCALA 1:100



PIANTA PRIMO PIANO - SCALA 1:100



PROSPETTO SUD-OVEST - SCALA 1:100



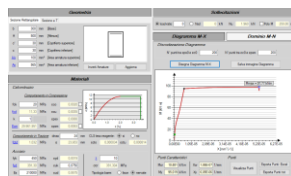
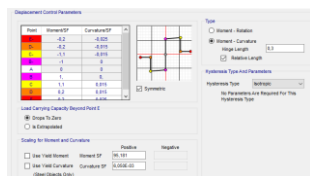
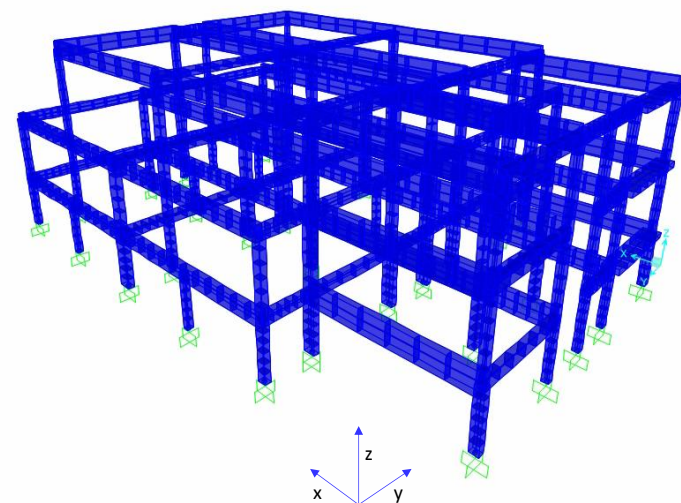
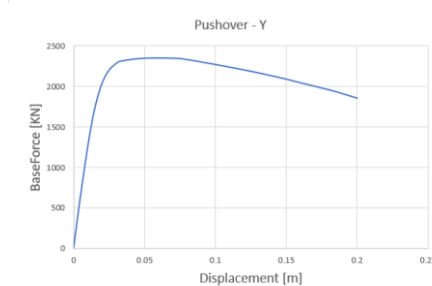
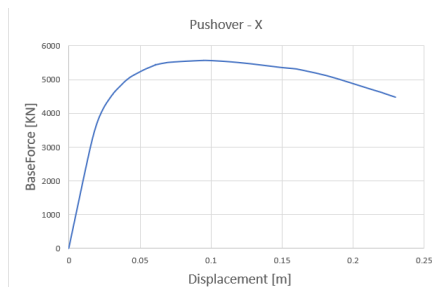
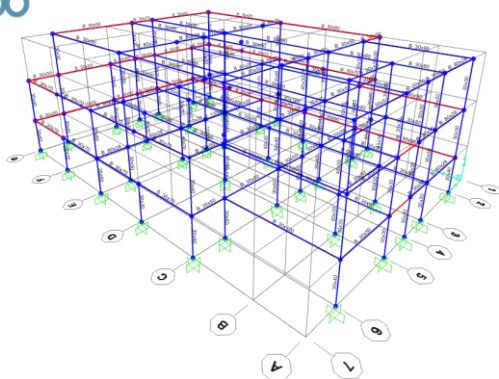
PROSPETTO NORD - SCALA 1:100

Intervento su un edificio in c.a.

Progetto UEFA-ELENA – Interventi integrati su edifici pubblici
Responsabile: Prof. S. Pampanin (Università di Roma La Sapienza)

Caso studio: Liceo scientifico Volta a Foggia – Analisi FEM con SAP2000

SAP2000®

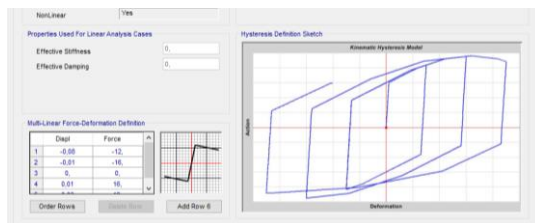
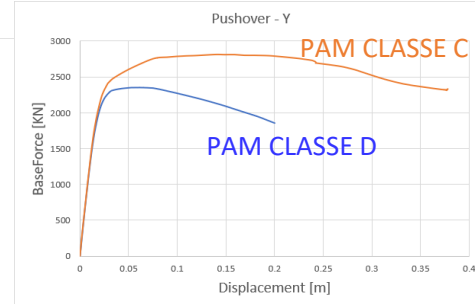
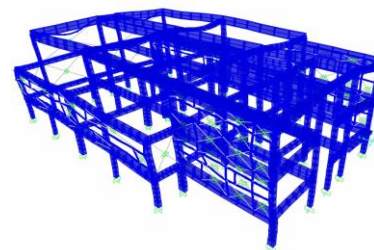
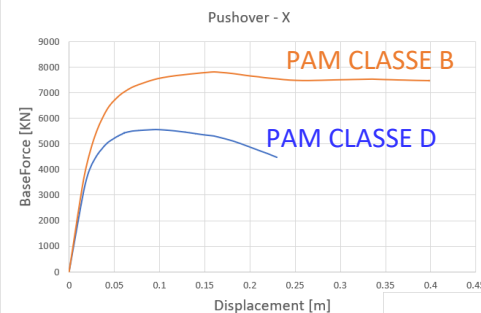
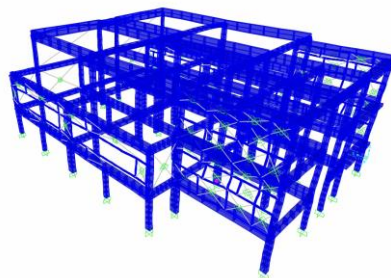
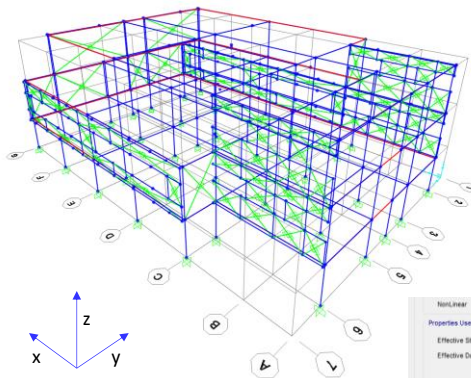


Intervento su un edificio in c.a.

Progetto UEFA-ELENA – Interventi integrati su edifici pubblici
Responsabile: Prof. S. Pampanin (Università di Roma La Sapienza)

Caso studio: Liceo scientifico Volta a Foggia – Analisi FEM con SAP2000

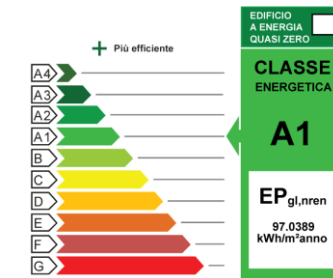
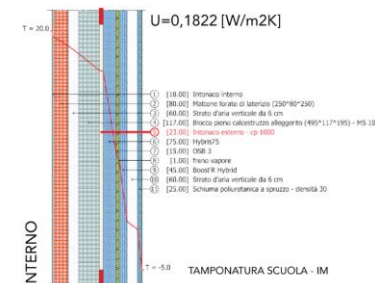
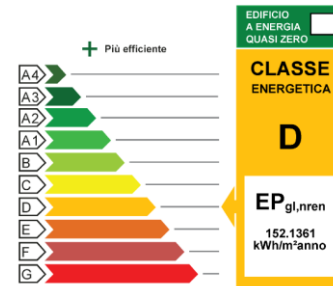
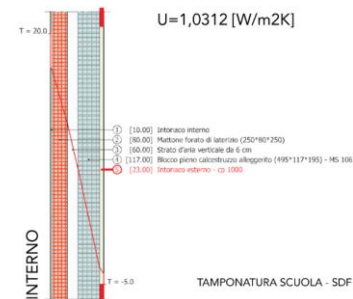
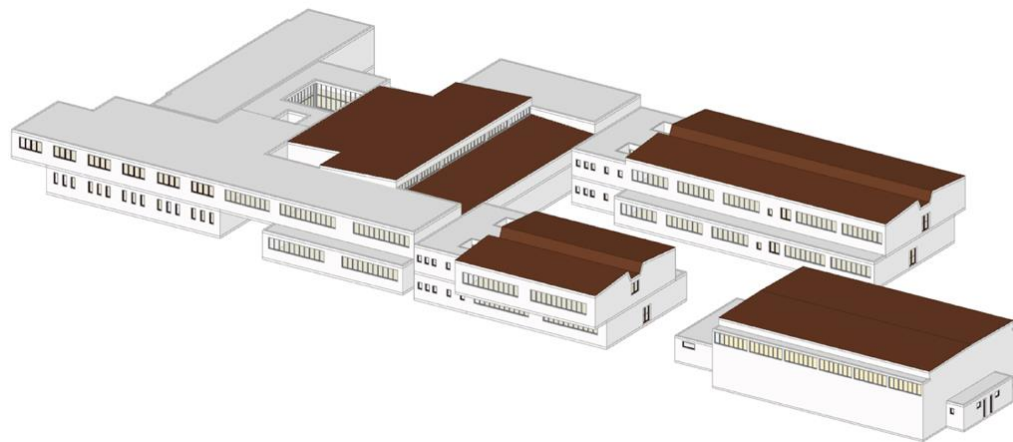
SAP2000®



Intervento su un edificio in c.a.

Progetto UEFA-ELENA – Interventi integrati su edifici pubblici
Responsabile: Prof. S. Pampanin (Università di Roma La Sapienza)

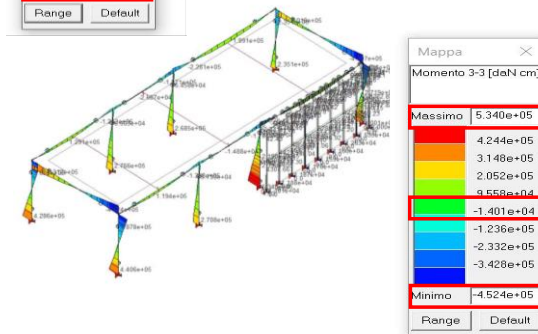
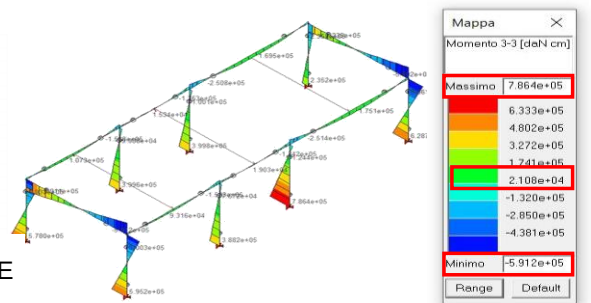
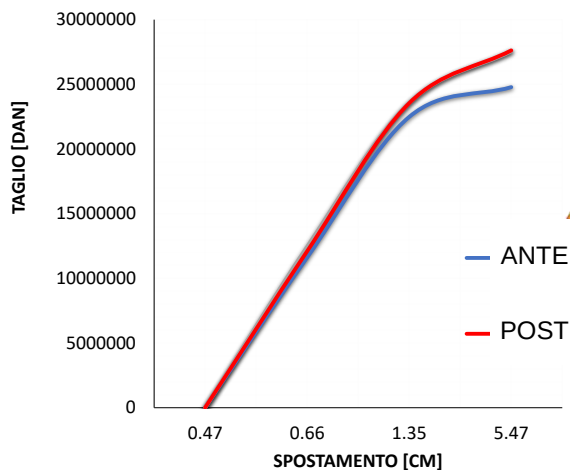
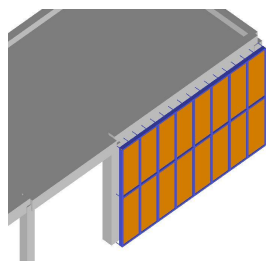
Caso studio: Liceo scientifico Volta a Foggia – Analisi energetica



Analisi di dettaglio sui collegamenti

Riduzione delle sollecitazioni sugli elementi di una struttura in c.a.

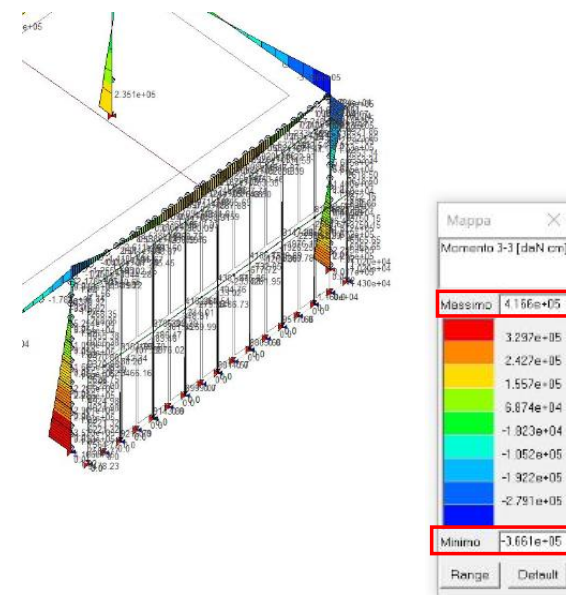
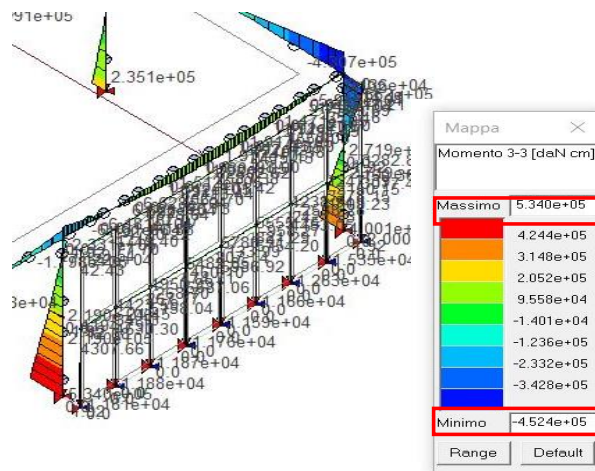
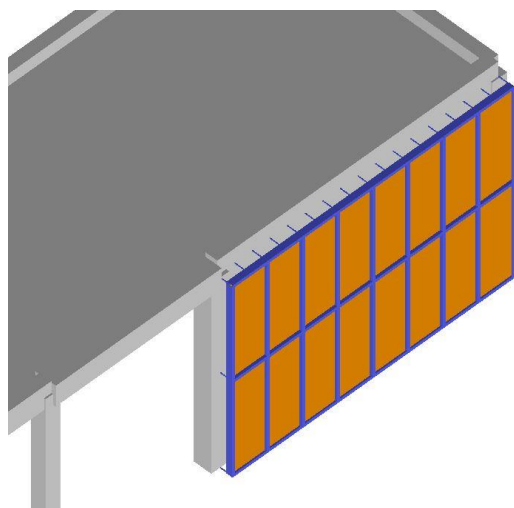
Collegamento del cappotto sismico DUO SYSTEM alla trave di un edificio in c.a.



Analisi di dettaglio sui collegamenti

Riduzione delle sollecitazioni sugli elementi di una struttura in c.a.

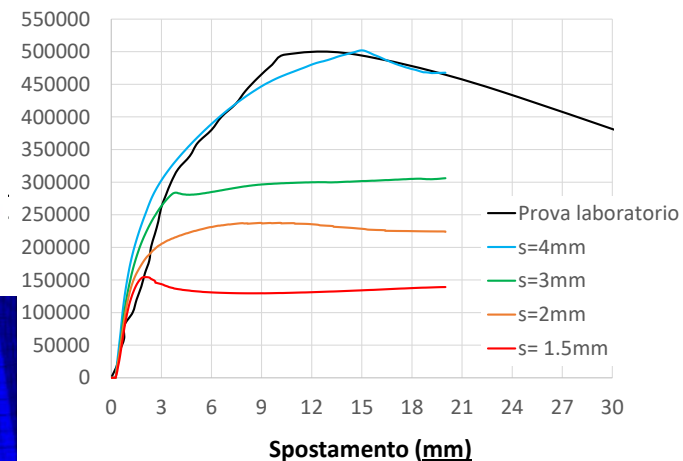
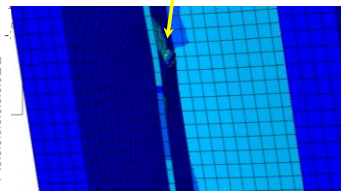
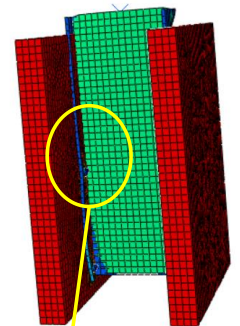
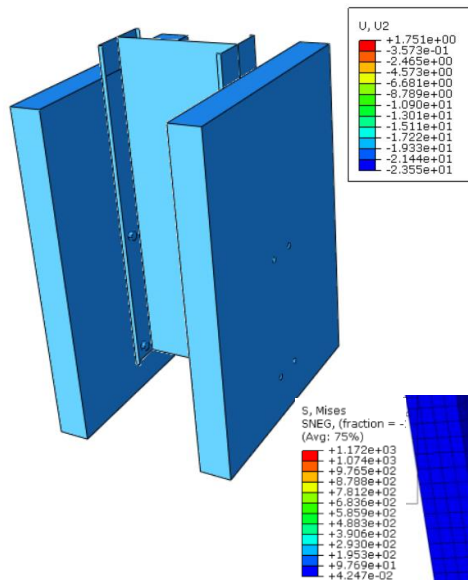
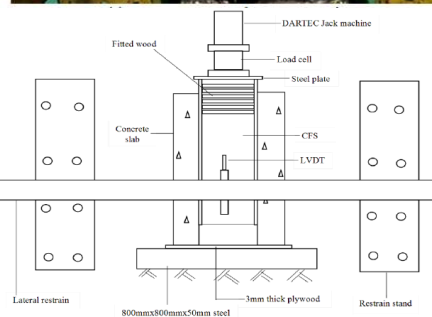
Collegamento del cappotto sismico DUO SYSTEM a trave e pilastri di un edificio in c.a.



Analisi di dettaglio sui collegamenti

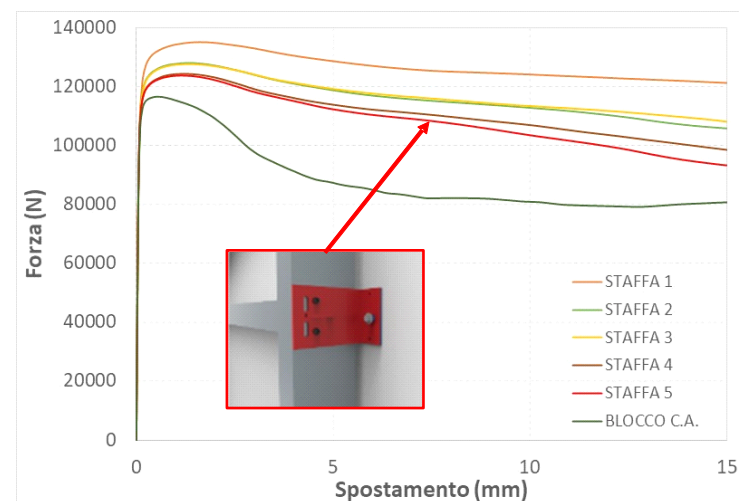
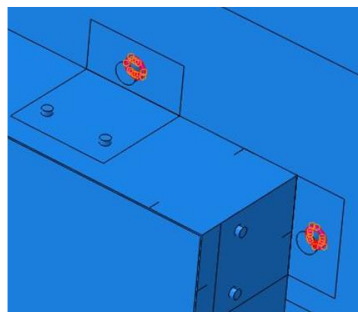
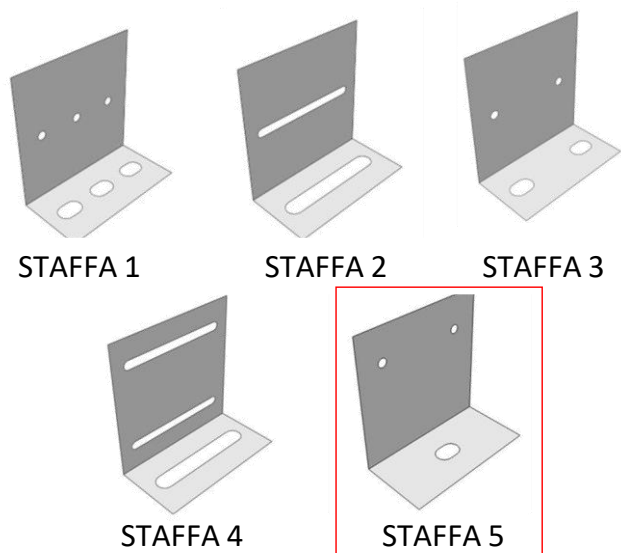
Influence of Shear Connector Size on Ultimate Strength in Composite Construction with Cold-Formed Steel Channel Lipped Section (Tahir et al., 2016)

Calibrazione numerica prova sperimentale sui collegamenti CFS-clt ed analisi parametrica (ABAQUS)



Analisi di dettaglio sui collegamenti

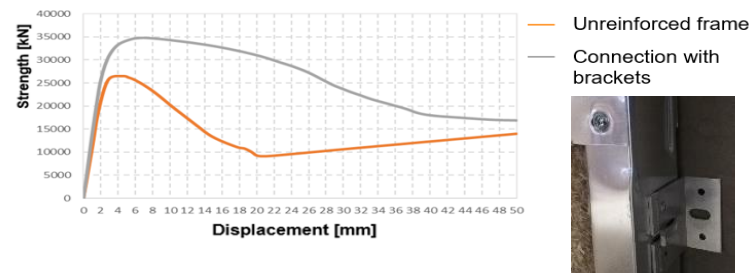
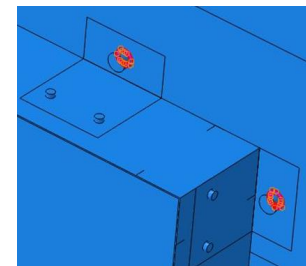
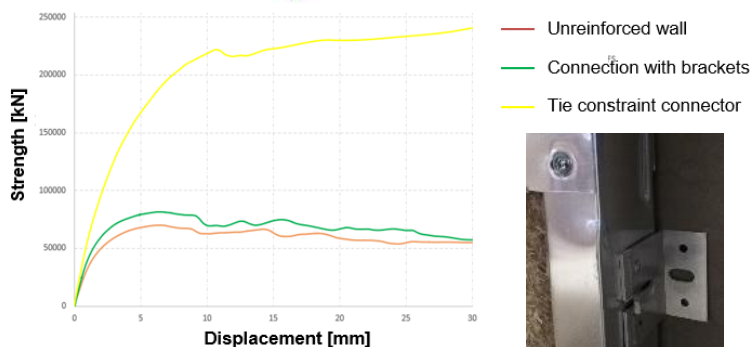
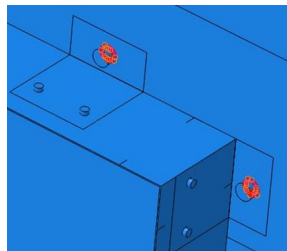
Sistemi di connessione con la struttura esistente
Collegamenti con squadrette e tasselli (ABAQUS)



Analisi di dettaglio sui collegamenti

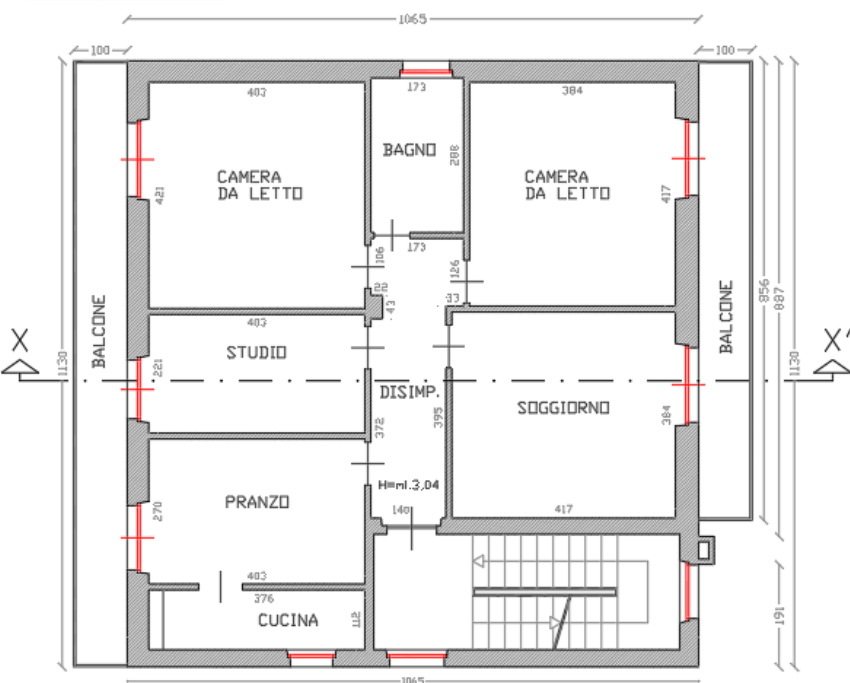
Sistemi di connessione con la struttura esistente

Collegamenti con squadrette e tasselli (ABAQUS)

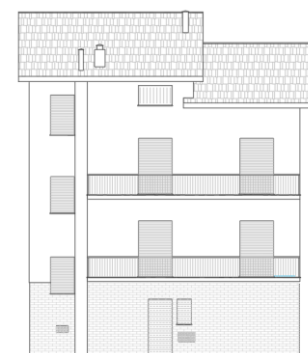


Un intervento su un edificio residenziale

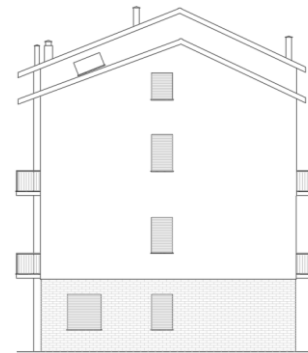
Pianta primo livello



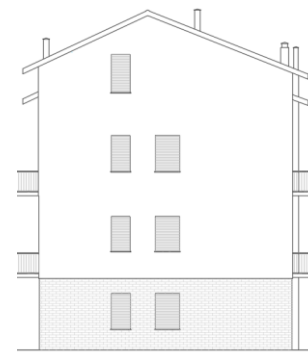
Prospetto SUD/OVEST



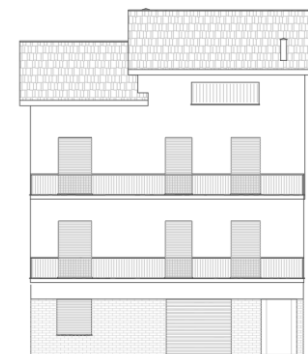
Prospetto SUD/EST



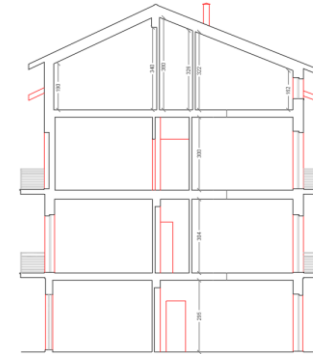
Prospetto NORD/OVEST



Prospetto NORD/EST

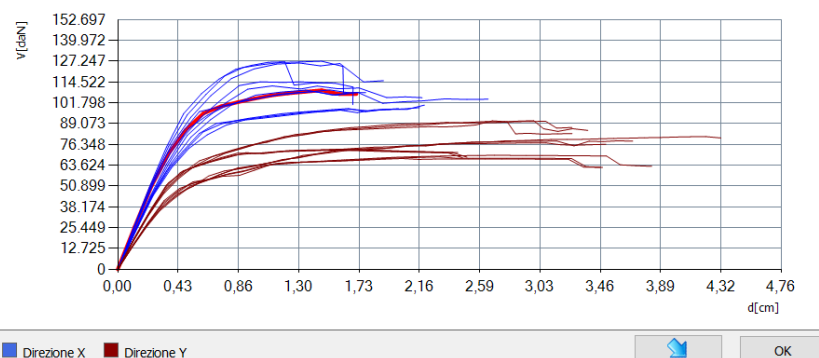
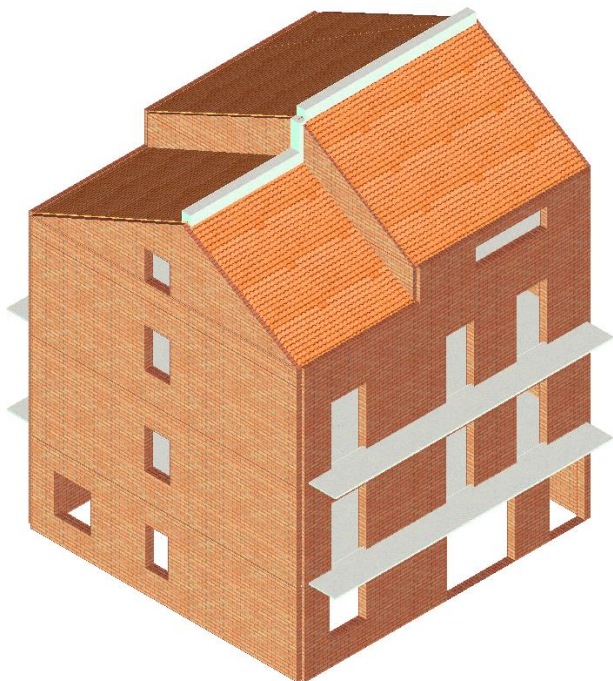


Sezione X-X'



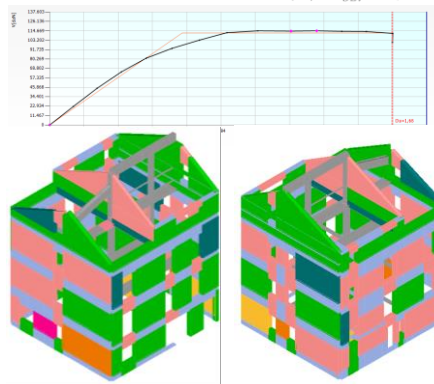
Un intervento su un edificio residenziale

Stato di fatto (SDF)



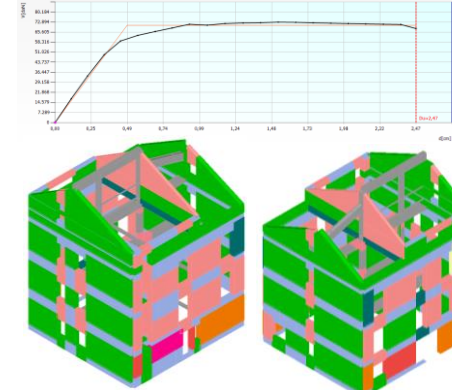
Analisi sismica SDF
Direzione X

Analisi 15 (-X) - $\alpha_{SLV} = 0,664$



Direzione Y

Analisi 22 (-Y) - $\alpha_{SLV} = 0,745$



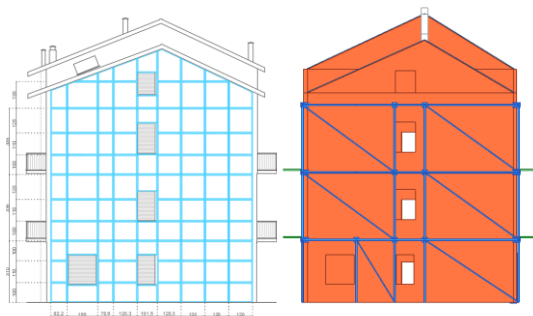
Legenda

Flussatura	CA
☒ Integro	☒ Integro
☒ Incrinca plasticità	☒ Rottura per taglio
☒ Plastica per taglio	☒ Plastica presso flessione
☒ Incrinca rottura per taglio	☒ Incrinca rottura presso flessione
☒ Rottura per taglio	☒ Rottura presso flessione
☒ Plastica presso flessione	☒ Cricca grave
☒ Incrinca rottura presso flessione	☒ Rottura per compressione
☒ Rottura presso flessione	☒ Rottura per trazione
☒ Cricca grave	☒ Rottura in fase elastica
☒ Rottura per compressione	☒ Elemento non efficace
☒ Rottura per trazione	
☒ Rottura per taglio	
☒ Rottura per taglio (armatura diagonale ca...)	

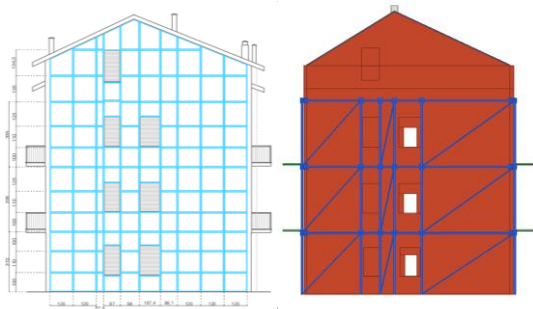
Un intervento su un edificio residenziale

Stato di progetto (SDP)

Prospetto SUD/EST



Prospetto NORD/OVEST

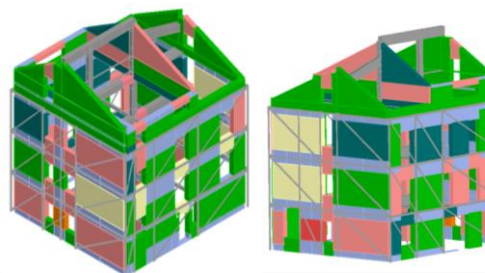
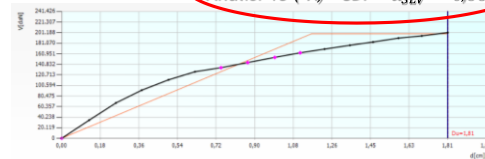


Analisi sismica SDP

Direzione X

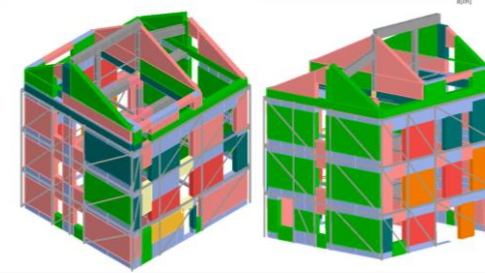
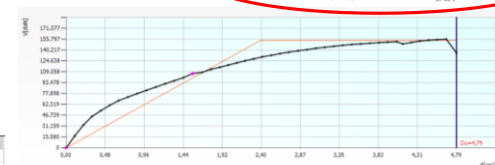
MIGLIORAMENTO SISMICO: INCREMENTO DEL COEFFICIENTE DI SICUREZZA ALMENO DI 0.1 IN ENTRAMBE LE DIREZIONI

Analisi 9 (+X) - SDP - $\alpha_{SLV} = 0,836$
Analisi 15 (-X) - SDF - $\alpha_{SLV} = 0,664$



Direzione Y

Analisi 6 (+Y) - SDP - $\alpha_{SLV} = 0,889$
Analisi 22 (-Y) - SDF - $\alpha_{SLV} = 0,745$



Legenda

Huratura	
☒	Integro
☒	Incompleta plastotà
☒	Plastico per taglio
☒	Incompleta rottura per taglio
☒	Rottura per taglio
☒	Plastico presso flessione
☒	Incompleta rottura presso flessione
☒	Rottura presso flessione
☒	Cine grave
☒	Rottura per compressione
☒	Rottura per trazione
☒	Rottura in fase elastica
☒	Elemento non efficace

C.A.	
☒	Integro
☒	Rottura per taglio
☒	Plastico presso flessione
☒	Rottura presso flessione
☒	Rottura per compressione
☒	Rottura per trazione
☒	Rottura per taglio (armatura diagonale ca...)

Un intervento su un edificio residenziale

La fase esecutiva





Associazione Italiana Software Tecnico

www.aistonline.it

GRAZIE PER LA CORTESE ATTENZIONE
Contatti: antoform@unina.it