



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale  
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile - Indirizzo Strutturale  
Tesi di Laurea in Ingegneria Civile conseguita il 4/07/2018

# Il caso studio delle Procuratie Vecchie di Venezia: un esempio di recupero di un bene architettonico vincolato con valutazioni sulla rigidezza di piano

Relatore di Tesi:  
Prof. Renato Vitaliani



Ing. Sonia Bellin



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Bando per l'assegnazione di tre premi di laurea del Collegio Ingegneri di Venezia  
- Macrosettore: Ingegneria Civile e Ambientale -  
5 Ottobre 2019



INGEGNERIA CIVILE,  
EDILE E AMBIENTALE  
CIVIL, ARCHITECTURAL AND  
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

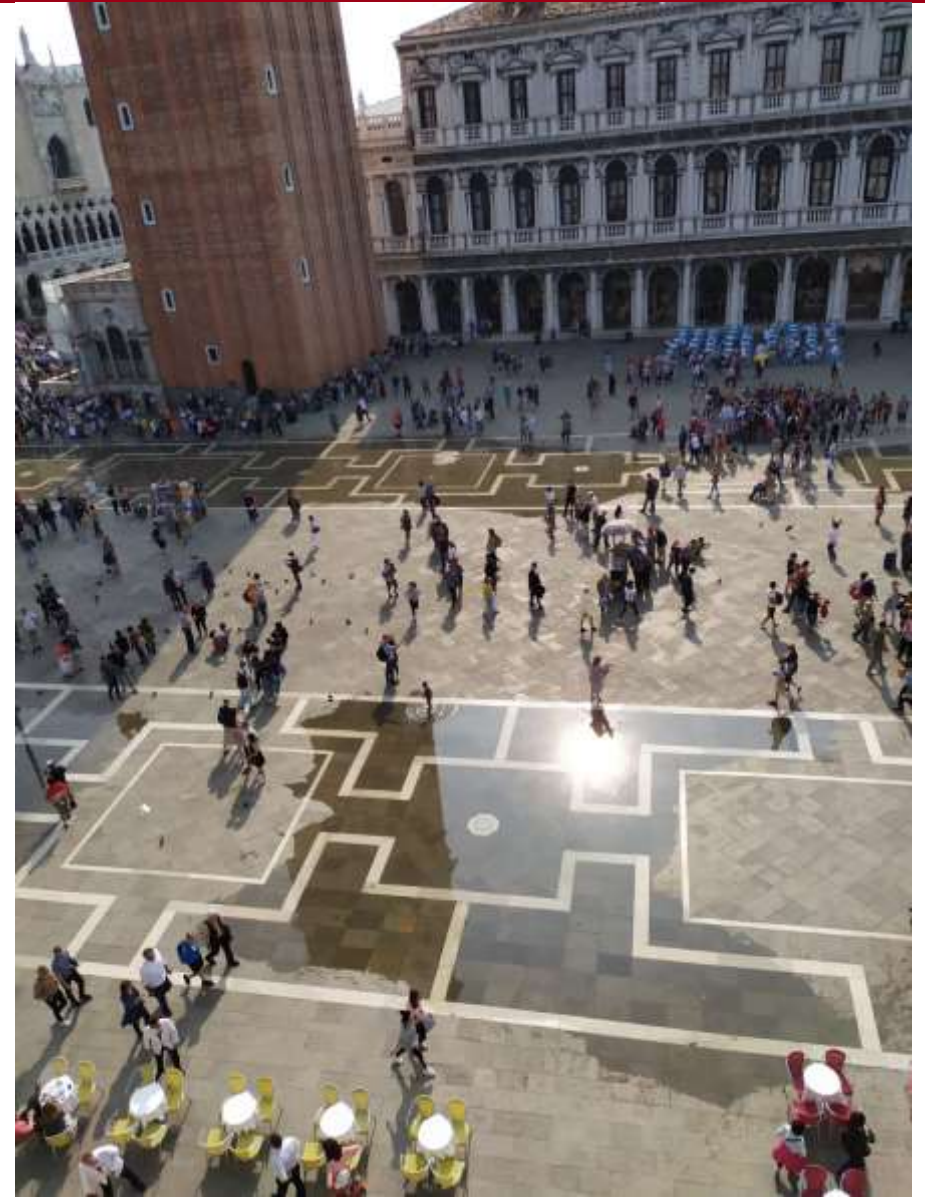


ORDINE DEGLI INGEGNERI  
DELLA PROVINCIA DI VENEZIA



# Sommario

- Ricostruzione storico-critica degli eventi legati alla fabbrica e rilievo architettonico;
- Prove di caratterizzazione dei materiali e indagini in situ compatibili con il vincolo di tutela;
- Modello Globale agli elementi finiti e scelta di analisi **LINEARI**;
- Verifiche Statiche;
- Verifiche Sismiche;
- Modelli Locali per valutazioni sulla rigidezza di piano dei solai e sulla rigidezza delle pareti;
- Calcolo e verifica *dell'intervento di irrigidimento limitato* per solai lignei.





UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

# Le Procuratie Vecchie in Piazza San Marco

**Oggi:** uffici aperti al pubblico e museo al piano terzo

**Ieri:** residenze dei 9 Procuratori di Venezia

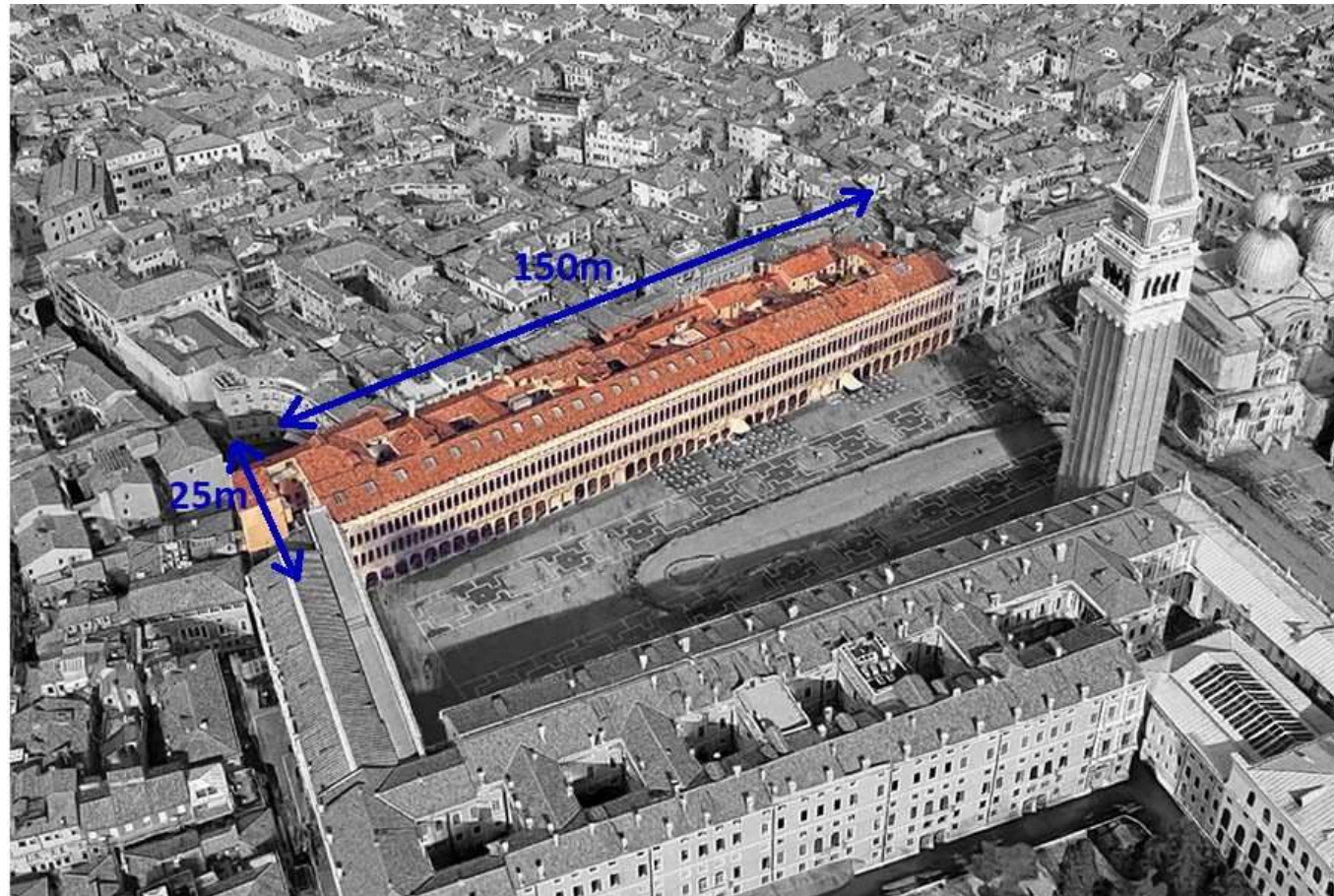


**Cambiamento di destinazione funzionale**



**Valutazione del rischio sismico con progettazione degli interventi di miglioramento**

- Edificazione nel XII secolo;
- Vari interventi di restauro nella storia;
- Edificio in muratura portante di mattoni pieni;
- Estensione notevole in pianta;
- Dotato di 8 piani fuori terra di cui 4 piani nobili, 3 di ammezzato e un piano delle soffitte.





# Il Modello GLOBALE

- 1) Modellazione dei soli allineamenti murari  
(**verifiche statiche**)
- 2) Modellazione dei solai con travetti a  
sezione equivalente (**modi di vibrare**)



## **IPOTESI:**

- Pilastri del porticato schema a biella;
- Vincolo di incastro alla base.

## **TIPO DI ANALISI:**

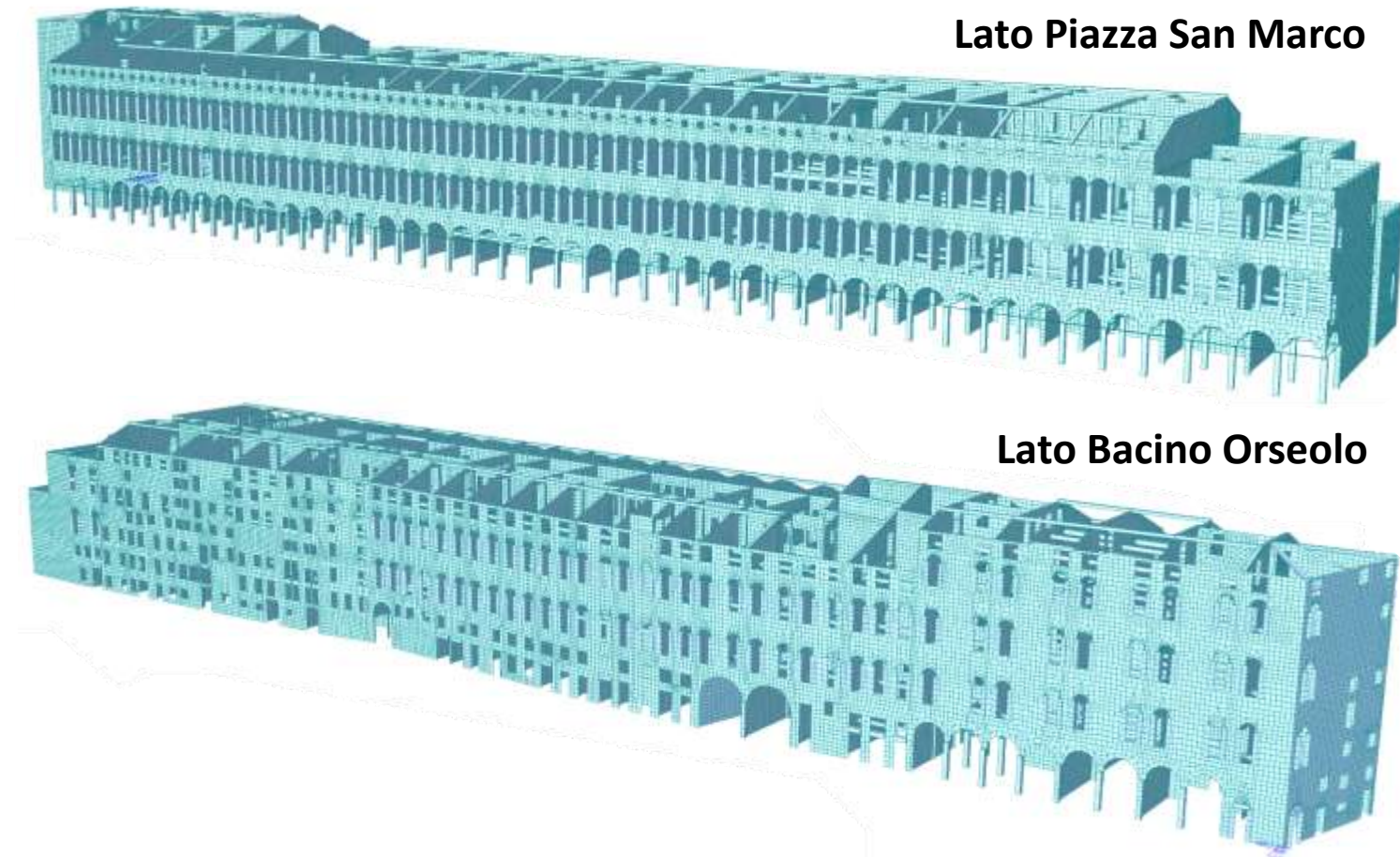
Limitato numero prove eseguibili sui materiali (vincolo Soprintendenza)



Volontà di ottenere risultati controllabili dal Progettista



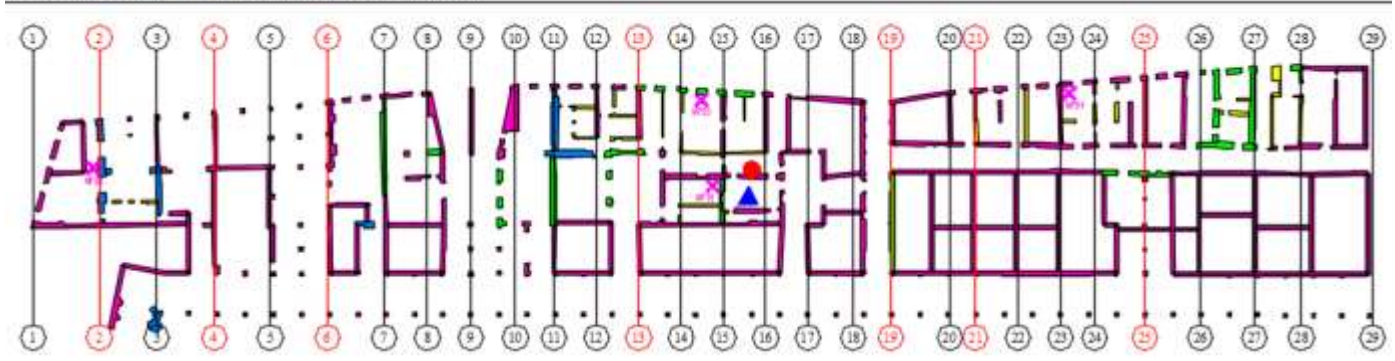
**ANALISI LINEARI**



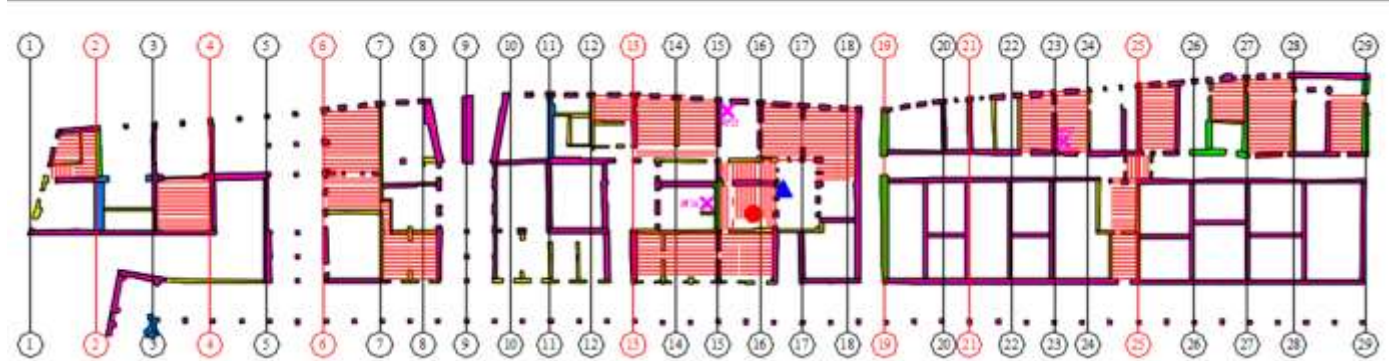







# Verifiche Statiche

Pianta Piano Terra (Quota solaio 0,00m)



Pianta Ammezzato Piano Terra (Quota solaio 2,60m)

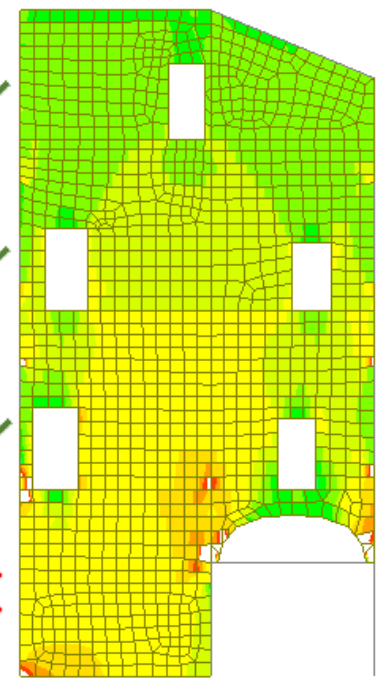
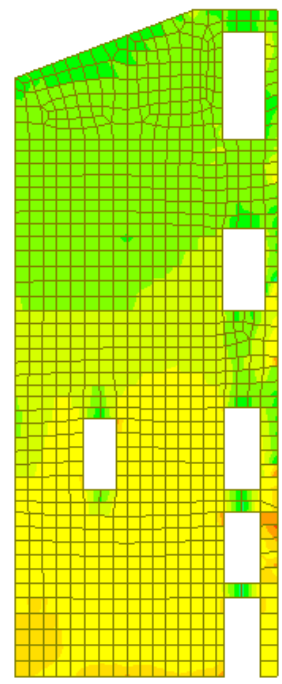


-  Spessore 25cm
-  Spessore 38cm
-  Spessore 51cm
-  Spessore 64cm
-  Solai di ammezzato esistenti

Verifiche statiche allo **Stato di Fatto** secondo NTC 2008



Problema: elevata **SNELLEZZA** dei maschi murari



midas Gen POST-PROCESSOR	
PLN STS/PLT STRS	
SIG-ZZ TOP	
	5.00000e-001
	3.63636e-001
	2.27273e-001
	9.09091e-002
	-4.54545e-002
	-1.81818e-001
	-3.18182e-001
	-4.54545e-001
	-5.90909e-001
	-7.27273e-001
	-8.63636e-001
	-1.00000e+000

CB: GLCB4  
ELEMENT

MAX : 39535  
MIN : 39535

FILE: PROCURAT~  
UNIT: N/mm^2  
DATE: 06/01/2018

VIEW-DIRECTION  
X: -1.000  
Y: 0.000  
Z: 0.000

• riduzione della sezione resistente delle murature al piano terra;

• demolizione solai di mezzanino;

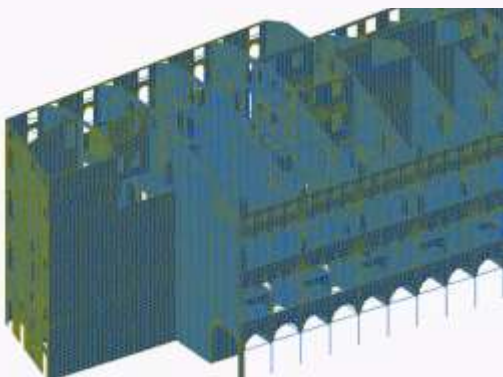
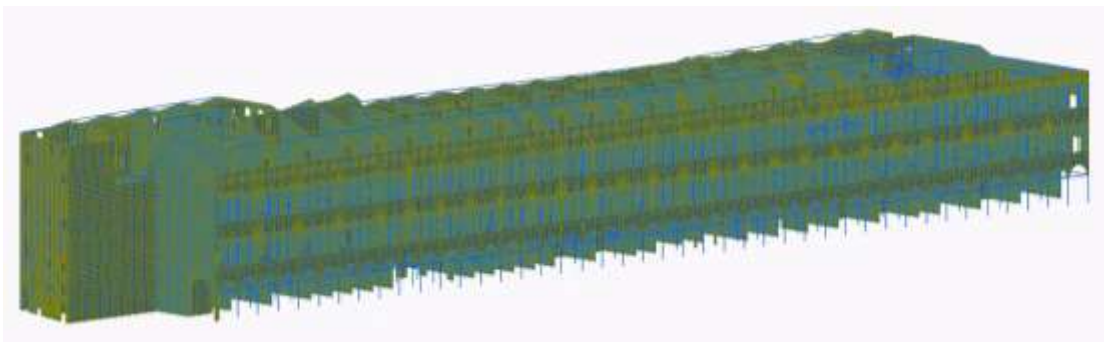
• Interventi di restauro più dannosi che benefici.

# Verifiche Sismiche

1) Applicazione al modello **GLOBALE** del *Modello Meccanico Semplificato (LV1) per palazzi e ville* (D.P.C.M. 9/02/2011);



Valutazione del rischio sismico dell'edificio



- Metodo iterativo;
- Fattore di struttura  $q=2,25$ ;
- Indice di sicurezza sismica.

	DIREZIONE Y						Verifica $I_{s,SLV}$	Verifica $f_{a,SLV}$
	$T_{SLV}$	$T_{R,SLV}$	$I_{s,SLV}$	$a_{SLV}$	$a_{g,SLV}$	$f_{a,SLV}$		
Terra - 2.60 m	274,86	712,00	0,39	0,06	0,080	0,73	✗	✗
Ammezzato Terra-Primo - 5.20 m	141,40	712,00	0,20	0,05	0,080	0,60	✗	✗
Primo - 7.80 m	201,00	712,00	0,28	0,05	0,080	0,68	✗	✗
Ammezzato Primo-Secondo - 10.20 m	177,25	712,00	0,25	0,05	0,080	0,65	✗	✗
Secondo - 12.30 m	147,44	712,00	0,21	0,05	0,080	0,61	✗	✗
Ammezzato Secondo-Terzo - 15.00 m	352,84	712,00	0,50	0,07	0,080	0,91	✗	✗
Terzo - 18.60 m	1158,65	712,00	1,63	0,10	0,080	1,20	✓	✓
Quarto - 21.40 m	>2475	712,00	>5.2	>0.122	0,080	>1.72	✓	✓

2) Verifiche di meccanismi locali di collasso (scala **LOCALE**)

Meccanismi prevalentemente di ribaltamento:

- Tratti copertura spingente;
- Ribaltamento cantonale;
- Ribaltamento facciata su San Marco.

# Pianificazione degli interventi

Interventi pianificati:

- Posizionamento e ripristino sezione di tiranti e catene;
- Ripristino ammorsamenti pareti;
- **Creazione diaframmi di piano.**

Tasselli angolare-  
muratura

Chiodatura sul  
tavolato



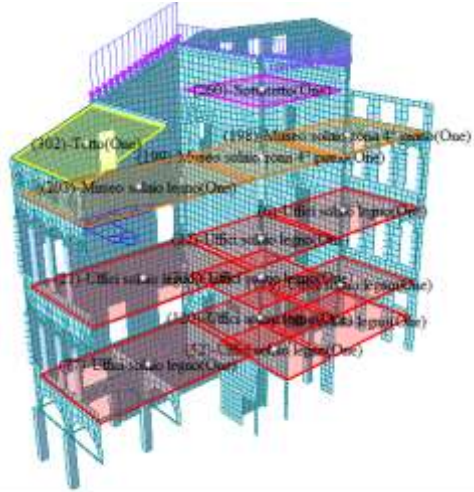
Angolare a L



Bandelle  
metalliche a 45°

# I Modelli LOCALI

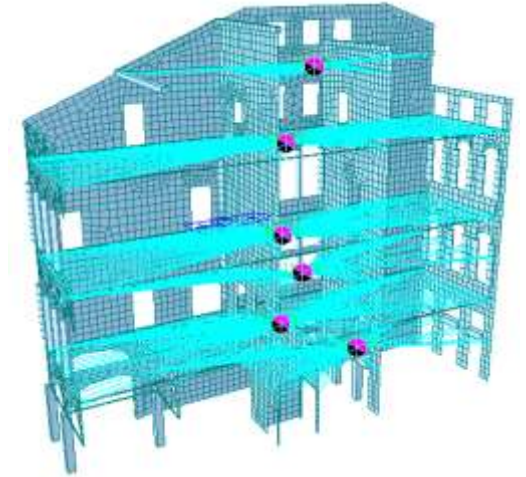
**MODELLO 1: SOLO MURATURA**



## RIGIDEZZA e RESISTENZA dei solai

- Stima rigidezza pareti, rigidezza modello locale e stima rigidezza solaio senza test sperimentali

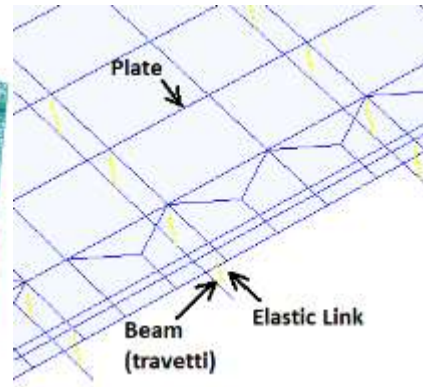
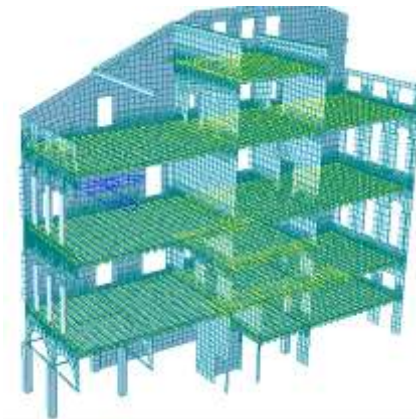
**MODELLO 5: PIANI INFINITAMENTE RIGIDI**



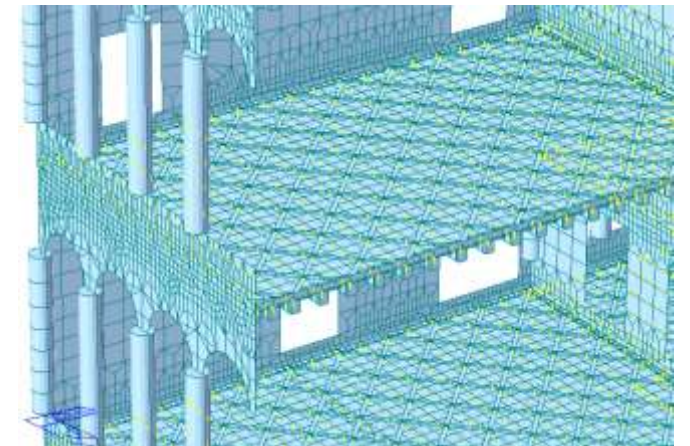
**MODELLO 2: SOLI TRAVETTI LIGNEI**



**MODELLO 3: STATO DI FATTO**



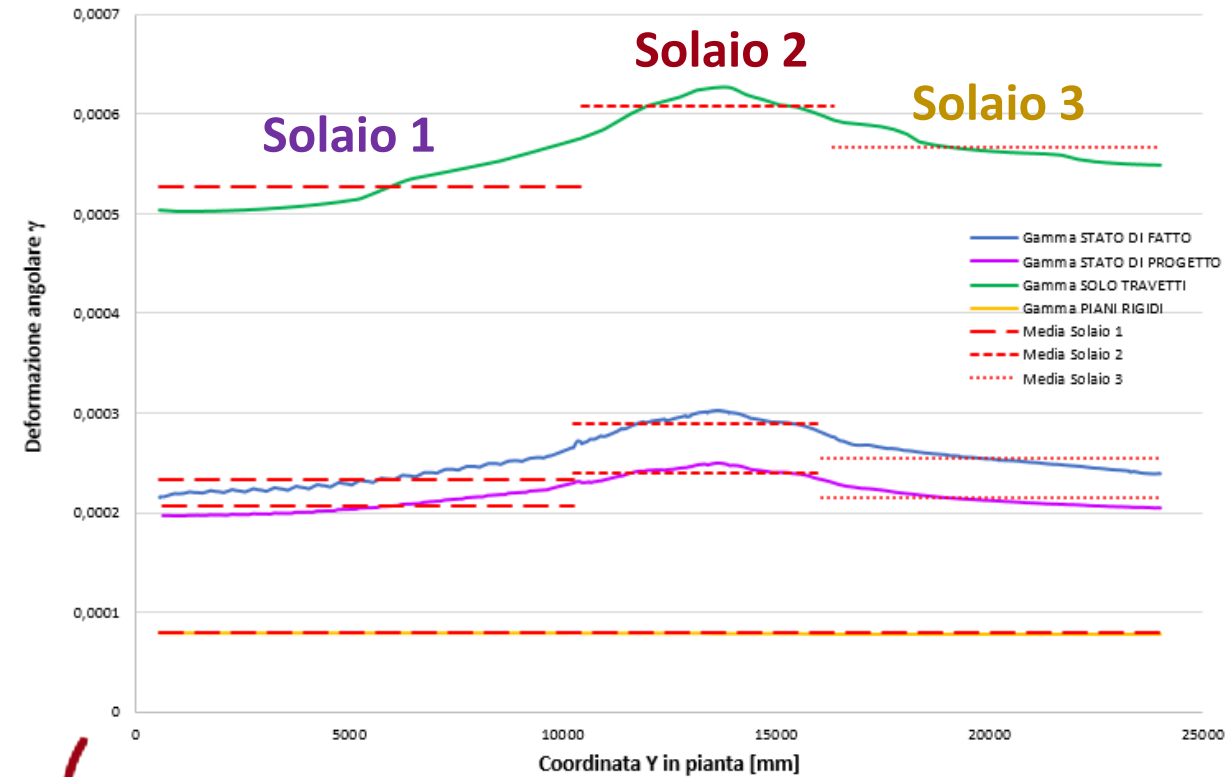
**MODELLO 4: STATO DI PROGETTO**





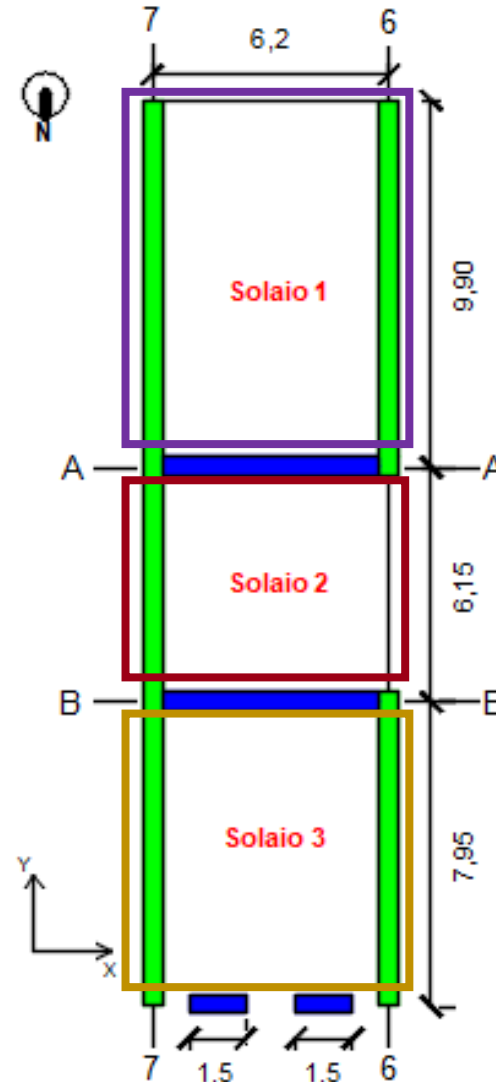
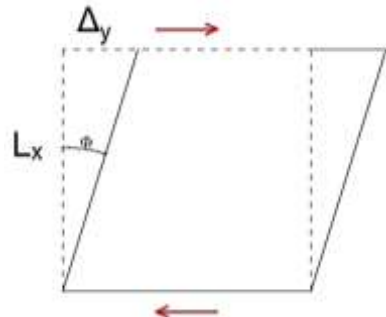
# Stima della rigidezza dei diaframmi di piano

Confronto funzione scorrimento angolare  $\gamma$  - Allineamenti in Y



Deformazione angolare  
(azione sismica lungo Y):

$$\gamma_{xy} = \frac{\Delta_y}{L_x}$$

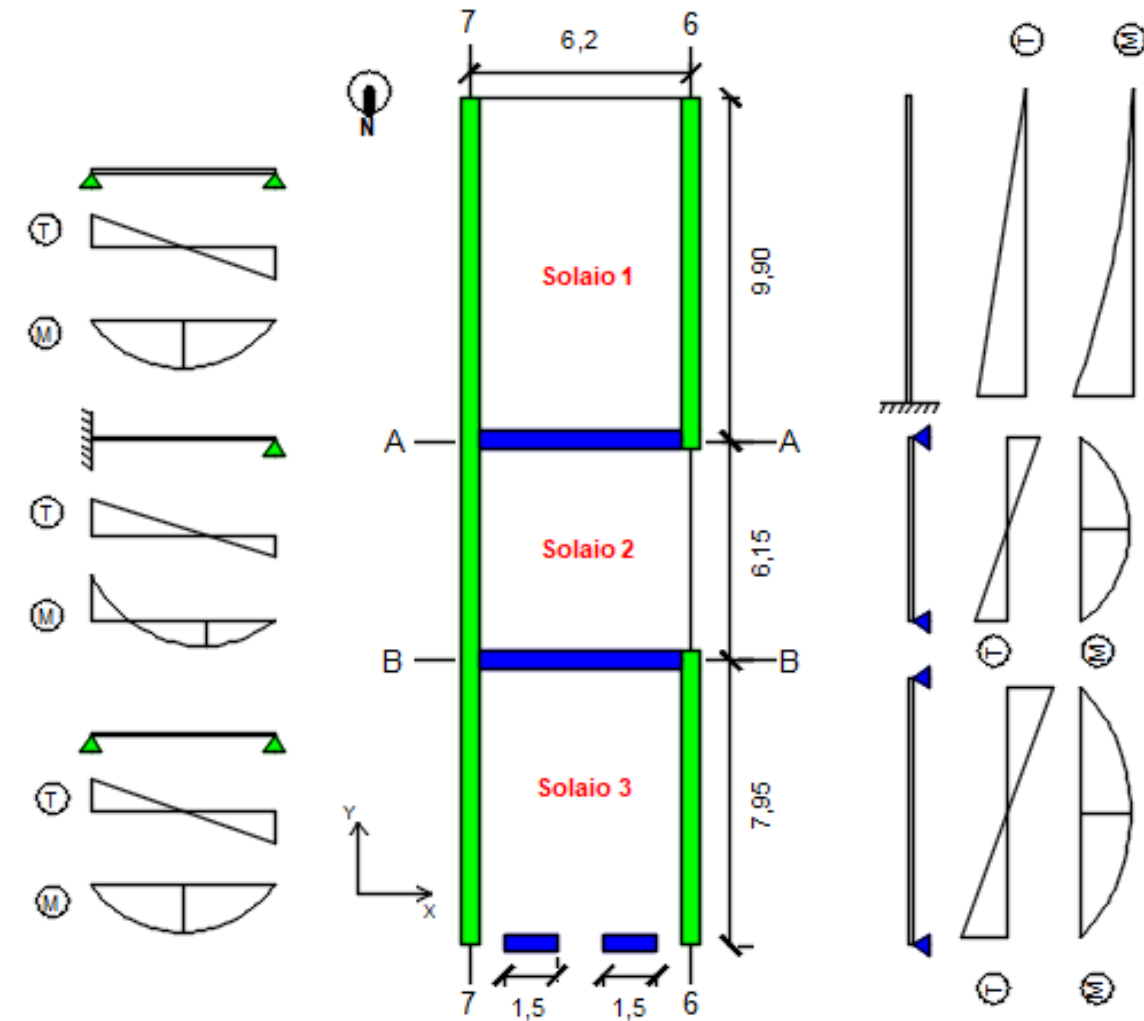


- Tavolato ligneo riduce di almeno il 53% la deformabilità tagliante;
- Riduzione di deformabilità tagliante del 67% tra stato di progetto e modello a piani rigidi



Dimostra l'intervento di irrigidimento limitato

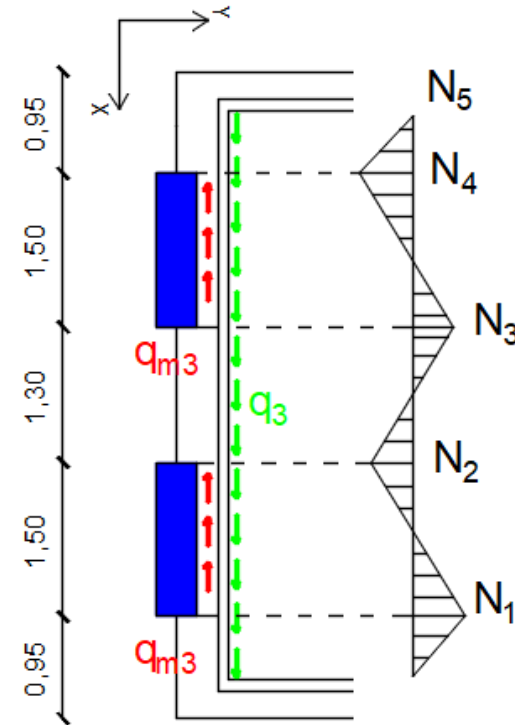
# Schemi di calcolo per l'intervento



Dimensionamento delle componenti dell'intervento di irrigidimento limitato secondo le loro funzioni:

- ✓ CORRENTI
  - ✓ LESENE (o ripartitori)
  - ✓ BANDELLE METALLICHE
  - ✓ CONNETTORI ANGOLARE-MURATURA
  - ✓ CONNETTORI TAVOLATO-TRAVETTI
- } Angolare L

Verifiche a SLE e SLU del solaio ligneo secondo NTC 2008 e EUROCODICE 5



# Il cantiere attuale



- Intervento realizzato sui solai



- Rilievi geometrici integrativi



- Prove di carico sui solai consolidati





# Conclusioni

- Il percorso delineato vuole essere una guida per il Progettista che si trovi a studiare il comportamento statico e sismico, nonché una soluzione **efficace** per un edificio storico, eventualmente con vincolo di tutela, a fronte di un cambiamento di destinazione d'uso dei locali interni e di una necessità di miglioramento sismico.

**REALIZZABILITA' CAPILLARE SUL TESSUTO URBANO**

**SOLUZIONE DI PROBLEMI MULTIDISCIPLINARI**

**METODOLOGIA PER IL SUPERAMENTO DI  
MANCANZE CONOSCITIVE**





UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**Grazie per l'attenzione.**

