

Seminario Vione Laboratorio Permanente - 11/11/2023



Riabilitazione strutturale negli edifici storici montani *Prof. Fausto Minelli*



fausto.minelli@unibs.it



UNIVERSITY
OF BRESCIA



UNIVERSITY
OF BRESCIA

Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it



1

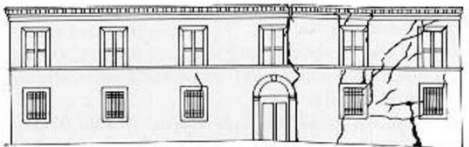
ORDINE
DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA
DI BRESCIA

Prof. Fausto Minelli

Dissesti nelle strutture murarie

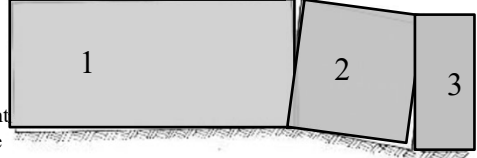
Classificazione fessure:

- vecchie (scure con cigli fessurativi consumati) e nuove (bianche e frastagliate);
- stuccate - riaperte
- passanti o superficiali
- pronunciate o cavillature



Rappresentazione:

- Isolare i quadri fessurativi di differente severità su differenti Layer.
(La visualizzazione dei soli layer contenenti le fessure più severe consente in generale di interpretare il quadro fessurativo).
- isolamento blocchi rigidi



Rimedi:

- Eliminazione delle cause, a meno che il fenomeno non sia esaurito

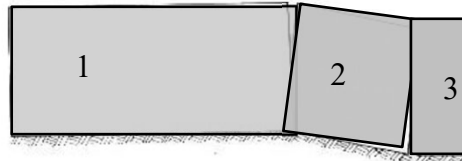
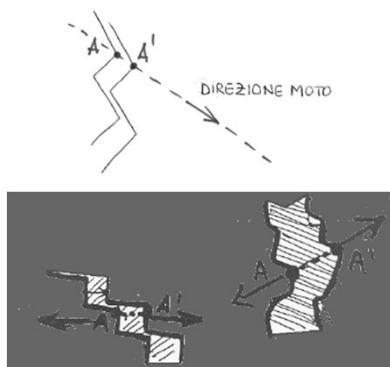
UNIVERSITY
OF BRESCIA

Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

2

Dissesti nelle strutture murarie

SCOMPOSIZIONE IN BLOCCHI



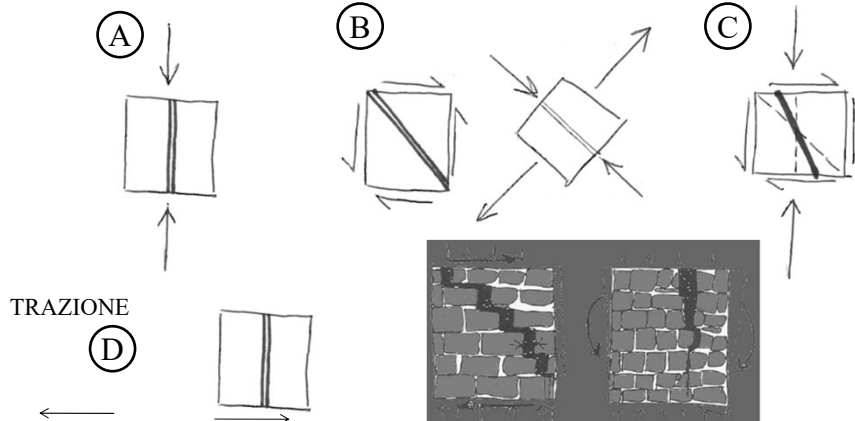
3

Interpretazione dei quadri fessurativi

QUADRI FESSURATIVI

COMPRESSIONE SEMPLICE
COMPRESSIONE E TAGLIO

TAGLIO



TRAZIONE



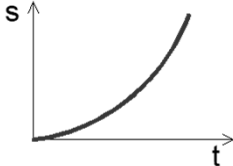
4

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA Prof. Fausto Minelli

Rilievo dei quadri fessurativi

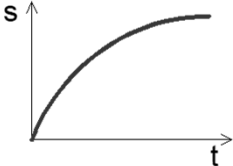
Monitoraggio delle strutture
Spostamenti verticali e orizzontali, fuori piombo, apertura di fessura

-Operazione necessaria per la verifica della presenza di cedimenti in atto.
-Prima durante e dopo l'intervento di recupero. Importante per la verifica della corretta rimozione delle cause scatenanti i dissesti.



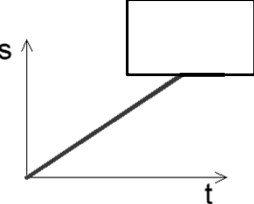
Progressione accelerata

Quadro fessurativo in evoluzione



Progressione Ritardata

Quadro fessurativo in evoluzione



Progressione inizialmente uniforme, poi stabile

Quadro fessurativo stabilizzato

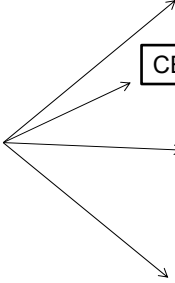
UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

5

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA Prof. Fausto Minelli

Interpretazione dei quadri fessurativi

CAUSE DEI DISSESTI



CARICHI VERTICALI

CEDIMENTI IN FONDAZIONE

CARICO TERMICO

CARICHI ORIZZONTALI
 Archi e volte
 Coperture spingenti
 Sisma

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

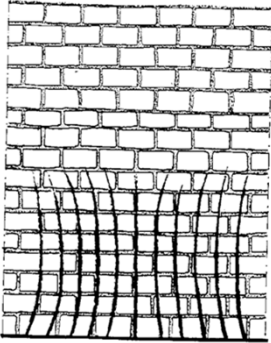
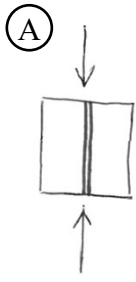
6

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA

Prof. Fausto Minelli

Carichi verticali

Schiacciamento per peso proprio

[Ref. 2]

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
 Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

7

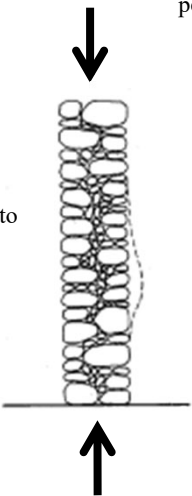
ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA

Prof. Fausto Minelli

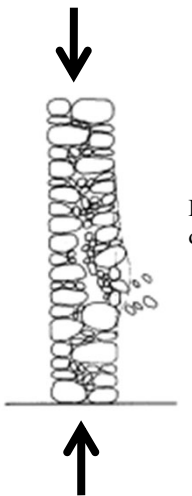
Carichi verticali

Schiacciamento per peso proprio

Marcato spanciamento di un paramento



Disfacimento di un paramento



[Ref. 3]

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
 Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

8

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA

Prof. Fausto Minelli

Carichi verticali

Schiacciamento per sovraccarichi localizzati

[Ref. 1]

[Ref. 1]

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

9

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA

Prof. Fausto Minelli

Carichi verticali

Pressoflessione

↑

↑

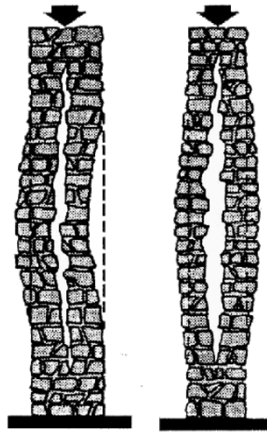
[Ref. 1]

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

10

Carichi verticali

Instabilità degli elementi verticali compressi



[Ref. 1]



UNIVERSITY
OF BRESCIA

Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it



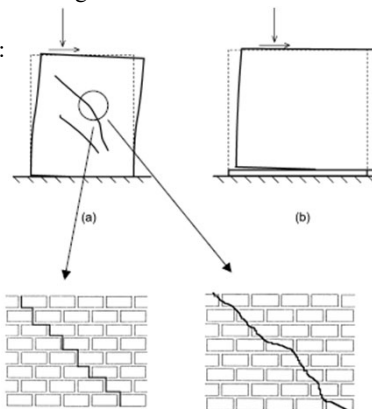
11

Carichi verticali

Rottura per sollecitazioni taglianti

Si distinguono due principali modalità di rottura:

- a) per **fessurazione diagonale**
- b) per **taglio-scorrimento**



[Ref.6]

fessurazione
diagonale con
giunti deboli

fessurazione
diagonale con
giunti resistenti



UNIVERSITY
OF BRESCIA

Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it



12

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA Prof. Fausto Minelli

Carichi verticali

CONCENTRAZIONE DEGLI SFORZI SUL RIVESTIMENTO

① muratura
② materiale non coeso

$E1 \gg E2$

Il carico è sostenuto dai paramenti di muratura esterni

① marmo
② muratura

$E1 \gg E2$

Il carico è sostenuto dal rivestimento
Rischio di instabilizzazione ed espulsione della lastra di marmo

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

13

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA Prof. Fausto Minelli

Cedimenti in fondazione

IN POSTO

SOLIDO SEDE CEDIMENTO

COMPONENTI DEL MOTO:

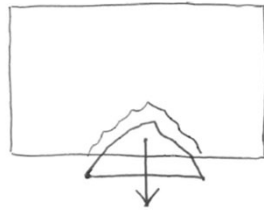
- TRASLAZIONE VERTICALE (la "fessura scende verso il corpo in posto")
- ROTAZIONE (origine di fuori-piombo)
- TRASCINAMENTO – TRASLAZIONE ORIZZONTALE

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

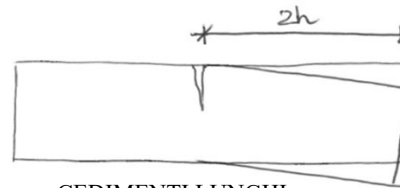
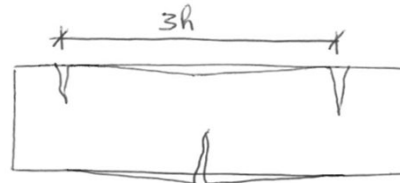
14

Cedimenti in fondazione

IN FUNZIONE DI L/H – CLASSIFICAZIONE DI CEDIMENTI LUNGI O CORTI



CEDIMENTI CORTI
PREDOMINA IL TAGLIO



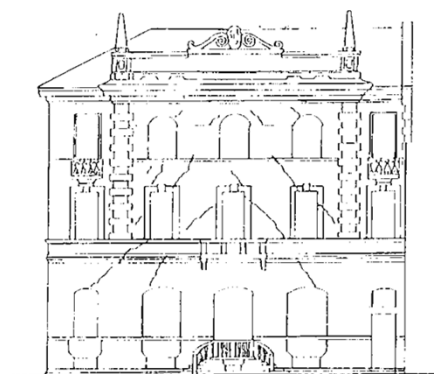
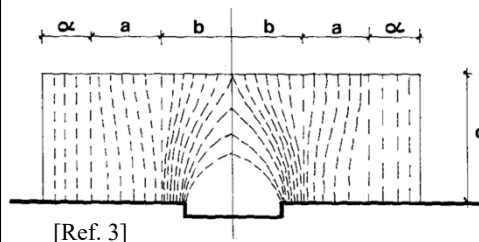
CEDIMENTI LUNGI
PREDOMINA LA
FLESSIONE



15

Cedimenti in fondazione

Traslazione verticale intermedia



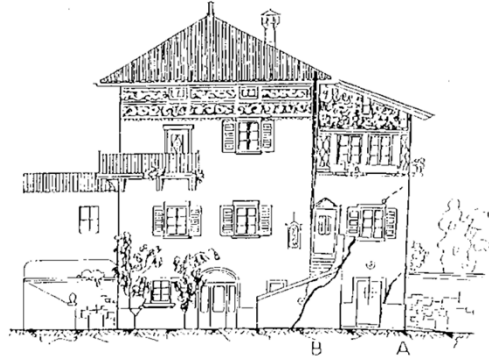
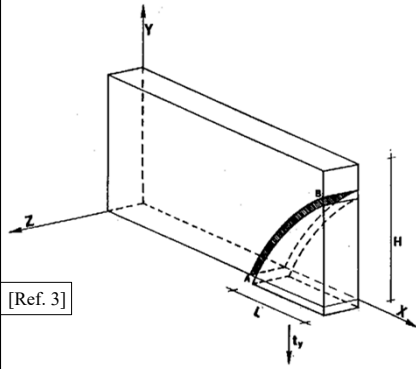
(da Sito Vigili del Fuoco di Bergamo)



16

Cedimenti in fondazione

Traslazione verticale terminale



(Ing. De Angelis - Sito Vigili del Fuoco di Bergamo)



Cedimenti in fondazione

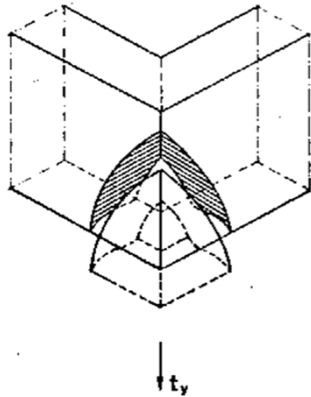


[Ref. 4]



Cedimenti in fondazione

Cedimento d'angolo

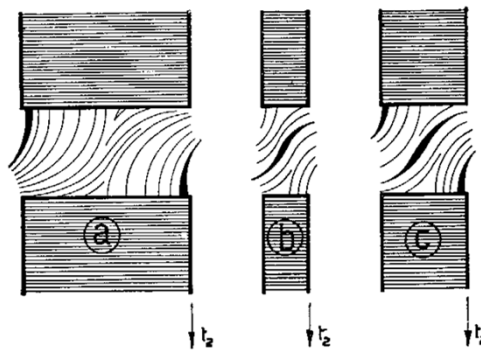


[Ref. 4]



Cedimenti in fondazione

RUOLO DELLA DIMENSIONE DELLE APERTURE



FLESSIONE

TAGLIO

andamento
intermedio

[Ref. 3]



ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA

Prof. Fausto Minelli

Cedimenti in fondazione

RUOLO DELLA DIMENSIONE DELLE APERTURE

FESSURAZIONE PER TAGLIO

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

21

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA

Prof. Fausto Minelli

Cedimenti in fondazione

RUOLO DELLA DIMENSIONE DELLE APERTURE

FESSURAZIONE PER FLESSIONE

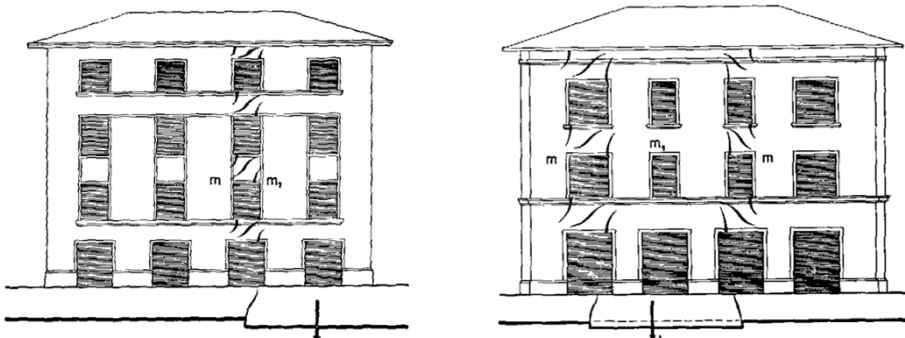
UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

22

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA Prof. Fausto Minelli

Cedimenti in fondazione

CEDIMENTI IN PRESENZA DI APERTURE





[Ref. 3]

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

23

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA Prof. Fausto Minelli

Cedimenti in fondazione

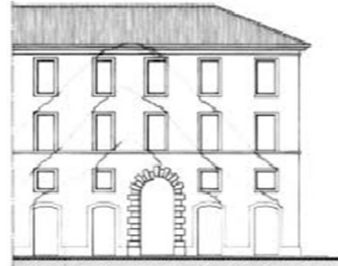
(Lagomarsino)
Lesione sotto ad una finestra

(Lagomarsino)
Lesione sopra ad una porta

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

24

Cedimenti in fondazione



[Ref. 2]

(Lagomarsino)



UNIVERSITY
OF BRESCIA

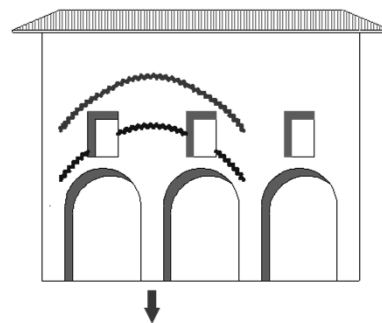
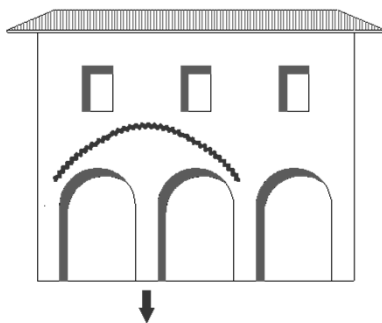
Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it



25

Cedimenti in fondazione

CEDIMENTO DEL PIEDRITTO DI UN ARCO



UNIVERSITY
OF BRESCIA

Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it



26

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA Prof. Fausto Minelli

Cedimenti in fondazione

ANALISI DEL QUADRO FESSURATIVO DI EDIFICI ADIACENTI

$W_1 < W_2$

STRUTTURE COSTRUITE CONTEMPORANEAMENTE

$W_1 < W_2$

W1 COSTRUITA DOPO W2
SU TERRENO NON CONSOLIDATO

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

27

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA Prof. Fausto Minelli

Cedimenti in fondazione

TRASLAZIONE ORIZZONTALE TRASVERSALE

Fig. 15

CEDIMENTI LUNGHI

CEDIMENTI CORTI

[Ref. 3]

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

28

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA Prof. Fausto Minelli

Cedimenti in fondazione

TRASLAZIONE ORIZZONTALE TRASVERSALE

Fig. 17

CEDIMENTI LUNGHI

Fig. 19

CEDIMENTI CORTI

[Ref. 3]

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
 Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

29

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA Prof. Fausto Minelli

Cedimenti in fondazione

ROTAZIONE

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
 Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

30

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA Prof. Fausto Minelli

Carico termico

Pareti continue

$L = 15 - 30 \text{ m}$

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

31

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA Prof. Fausto Minelli

Carichi orizzontali

Spinta di archi e volte

Massima inflessione
Centro Spinta

[Ref. 2]

[Ref. 1]
Mezzeria
S

F_1
 F_v
 F_a

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

32

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA

Prof. Fausto Minelli

Carichi orizzontali

Coperture spingenti

[Ref. 5]

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

33

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA

Prof. Fausto Minelli

Carichi orizzontali

Copertura spingente: spinta delle travi di displuvio, dei puntoni
spinta su muro a doppio paramento

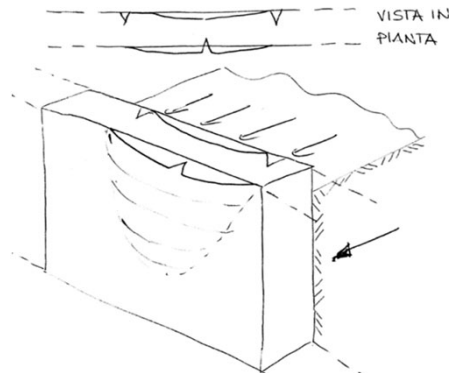
[Ref.5]

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

34

Carichi orizzontali

Spinta di terrapieni



Riferimenti bibliografici

1. prof. Giuseppina Uva. Lezione su Dissesti degli edifici in muratura. Politecnico di Bari- Facoltà di Architettura. Venerdì 19 Dicembre 2004
2. G. Cigni. Il consolidamento murario. Tecniche di intervento. Ed. kappa. Roma 1978
3. S. Mastrodicasa. Dissesti statici delle strutture edilizie. Hoepli Ed. Milano, 1983.
4. Manuale Regione Umbria. Guerrieri (a cura di). Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione post-sismica degli edifici. Regione Umbria. DEL. Tipografia del Genio Civile, 1999.
5. Manuale Regione Marche. Repertorio dei meccanismi di danno, delle tecniche di intervento e dei relativi costi negli edifici in muratura, Sisma Marche 1997, Decreto del Commissario Delegato per gli interventi di Protezione Civile n. 28 del 10 aprile 2002, Regione Marche, 2007.
6. Prof. Ing. Guido Magenes. EDIFICI CON STRUTTURA MURATURA. Lezione presso l'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bergamo. IX CORSO DI AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE "L'Ingegneria e la Sicurezza Sismica" Novembre 2003



ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA

Prof. Fausto Minelli

TECNICHE DI INTERVENTO

APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE

- Analisi del danno, individuazione e interpretazione dei meccanismi attivati
- Analisi delle carenze e delle vulnerabilità dell'edificio (meccanismi attivabili)
- Verifica dell'edificio allo stato di fatto per i carichi (statici o dinamici) progetto

- Identificazione della strategia di intervento
 - Progetto dell'intervento
- Verifica dell'edificio dopo l'intervento allo stato di progetto

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

37

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA

Prof. Fausto Minelli

TECNICHE DI INTERVENTO

Obiettivo del progetto:
Conservazione della materia e del funzionamento strutturale accertato

Criteri generali per la scelta dell'intervento:

- massima **reversibilità** (intervento "per aggiunte" e non "per rimozioni");
- minima **invasività**;
- criterio del **minimo intervento**;
- **riconoscibilità**: conservare l'**autenticità dell'opera** - evitare le imitazioni in stile;
- **compatibilità** meccanica, chimica e fisica;
- studio di alcuni interventi di consolidamento **passivo ed attivo** (meglio se reversibile).
- **durabilità** degli interventi

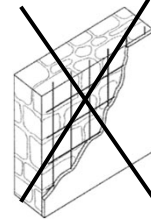
UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

38

Criteri generali per la scelta dell'intervento:

Evitare variazione nella distribuzione delle rigidzze:

- Gli interventi di consolidamento vanno applicati in modo regolare ed uniforme alle strutture.
- Interventi locali possono peggiorare il comportamento globale dell'edificio.



L'intervento deve essere giustificato. Devono essere dimostrate:

- La carenza dello stato attuale del fabbricato
- Il beneficio prodotto dall'intervento.

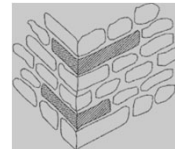
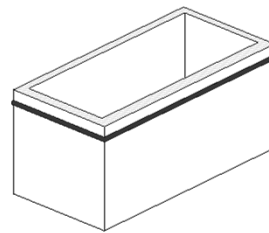
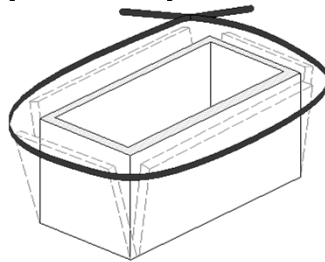
**Principio della
CALIBRAZIONE DEGLI
INTERVENTI:**
uniformità del livello di sicurezza
raggiunto per tutti i macroelementi.

“giudizio sarà espresso in termini globali, non solo sulla base di un confronto numerico tra accelerazione di collasso e accelerazione attesa nel sito (ISS indice di sicurezza sismica), ma anche considerando altri aspetti che sono stati valutati qualitativamente e che non possono essere considerati esplicitamente nel calcolo”



INTERVENTI VOLTI A RIDURRE LE CARENZE DEI COLLEGAMENTI INCATENAMENTI

Principio: ripristinare il comportamento scatolare



Messa in opera di catene perimetrali.
(in generale non si impiegano FRP)



ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA

Prof. Fausto Minelli

TECNICHE DI INTERVENTO

INTERVENTI VOLTI A RIDURRE LE CARENZE DEI COLLEGAMENTI INCATENAMENTI

Principio: ripristinare il comportamento scatolare

Messa in opera di catene perimetrali.
(in generale non si impiegano FRP)

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

41

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA

Prof. Fausto Minelli

CATENE PERIMETRALI

- Le catene possono essere esterne, oppure alloggiare entro scanalature di qualche centimetro di profondità o, raramente, entro fori praticati con la carotatrice. I dispositivi di ancoraggio devono essere studiati con attenzione
- Le catene possono essere attive, passive, aderenti o non aderenti. Le catene attive con debole pretensione e non aderenti limitano la fessurazione e rendono l'intervento quasi reversibile. Devono essere protette dalla corrosione.
- La tesatura si pratica con martinetto o con sistemi a vite.

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

42

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA

Prof. Fausto Minelli

CATENE PERIMETRALI

t_{min}

L_x

Catene perimetrali
inefficaci per
 $L_x/t_{min} > 10$

t_{min}

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

43

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA

Prof. Fausto Minelli

DIAFRAMMI DI PIANO O DI FALDA

DIAFRAMMI DI PIANO E DI FALDA

Diaframmi di piano

Diaframmi di falda

Comportamento scatolare

Meccanismo attivabile
dopo l'intervento:
Flessione fuori piano.

W_c

W_m

W_c'

W_2

W_1

H

h

b

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

44

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA Prof. Fausto Minelli

DIAFRAMMI DI PIANO

sez. A diaframma di piano parete parallela al sisma setto resistente a taglio

F_o L H f M V F_c

OBIETTIVO: organizzare nello spessore del solaio un diaframma che, opportunamente collegato alle pareti perimetrali, trasferisca l'azione sismica dell'impalcato e delle murature di competenza ai setti resistenti al taglio.

sez. A azione sismica dell'impalcato p_m p_s diaframma di piano h_i parete ortogonale al sisma zona di competenza azione sismica delle murature nella zona di competenza

pannello corrente $F_c = M/H$

SUDDIVISIONE DEI COMPITI:

- momento flettente ai correnti
- taglio al pannello d'anima

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

45

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA Prof. Fausto Minelli

DIAFRAMMI DI PIANO

sez. A diaframma di piano parete parallela al sisma setto resistente a taglio

F_o L H f M V F_c

spinotti lesena corrente tiranti spinotti

pannello F_s

$R = V$
 $V = F_s/2$

tiranti possibile strappo della parete

Il diaframma raccoglie le forze inerziali e le trasferisce ai setti resistenti al sisma:

A) Organizzazione del diaframma

- **CORDOLI**
- **PANNELLO D'ANIMA**
- **LESENE**

B) Organizzazione dei collegamenti

- Impedire lo strappo delle pareti caricate fuori piano >>> **TIRANTI**
- Trasferimento dell'azione di taglio tra impalcato e muratura >>> **SPINOTTI**

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

46

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA Prof. Fausto Minelli

DIAFRAMMI DI PIANO

FORMAZIONE DI DIAFRAMMI DI PIANO

progressivamente si riduce l'effetto irrigidente rispetto ai carichi verticali (1-2-3), ci si muove verso un intervento di solo miglioramento sismico

1
cappa c.a.
connettori

Lastra sottile in c.a. ordinario oppure ad alte prestazioni

fasce metalliche chiodate
pannello multistrato
assito esistente

(a) Diaframma in pannelli di legno multistrato

lastra di acciaio 3-5 mm
assito esistente
connettori a spinotto
spinotto
saldature

(b) Diaframma in sottili lastre di acciaio

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

47

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA Prof. Fausto Minelli

TIPOLOGIE DI DIAFRAMMA ANTISISMICO DI IMPALCATI LIGNEI

LASTRA IN CLS E RETE ELETTROSALDATA

spinotti
doppia rete
armatura di collegamento
cordolo

LASTRA IN MALTA DI CALCE E RETE IN FIBRA DI VETRO

Corrente in acciaio
Lasta in malta di calce
Rete in fibra di vetro
Spinotti
Assito

Corrente in acciaio
Lasta in malta di calce
Rete in fibra di vetro
Spinotti
Assito

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

48

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA Prof. Fausto Minelli

TIPOLOGIE DI DIAFRAMMA ANTISMICO DI IMPALCATI LIGNEI

PANNELLI IN MULTISTRATO FENOLICO

plywood panels
existing planks
nailed steel straps

DOPPIO ASSITO

RINFORZO CON FLANGE METALLICHE CHIODATE

VANTAGGI →

- + materiali della tradizione
- + buon aumento di rigidezza
- + limitato aumento di carico
- + reversibilità
- + facilità di realizzazione

VANTAGGI →

- + buon aumento di rigidezza
- + limitato aumento di carico
- + reversibilità
- + nessun aumento di spessore

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

49

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA Prof. Fausto Minelli

Caso studio

Prova di carico per la valutazione del consolidamento di un solaio tipo SAP mediante cappa in UHPFRC

$\frac{L}{h_0} = \frac{1}{25}$

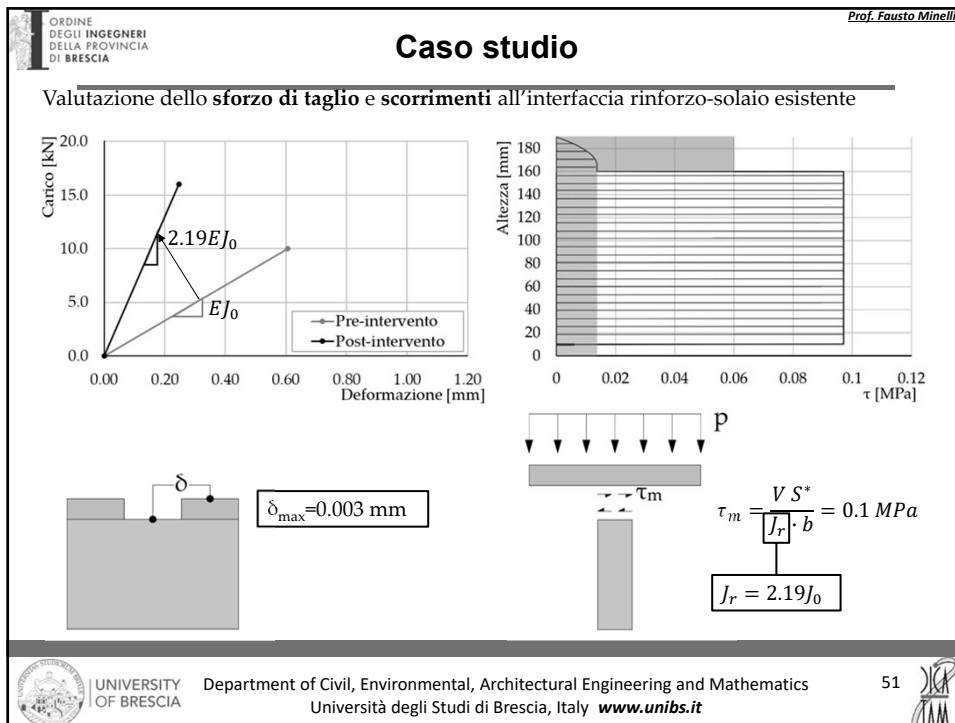
$\frac{L}{h} = \frac{1}{21}$

Carico [kN]

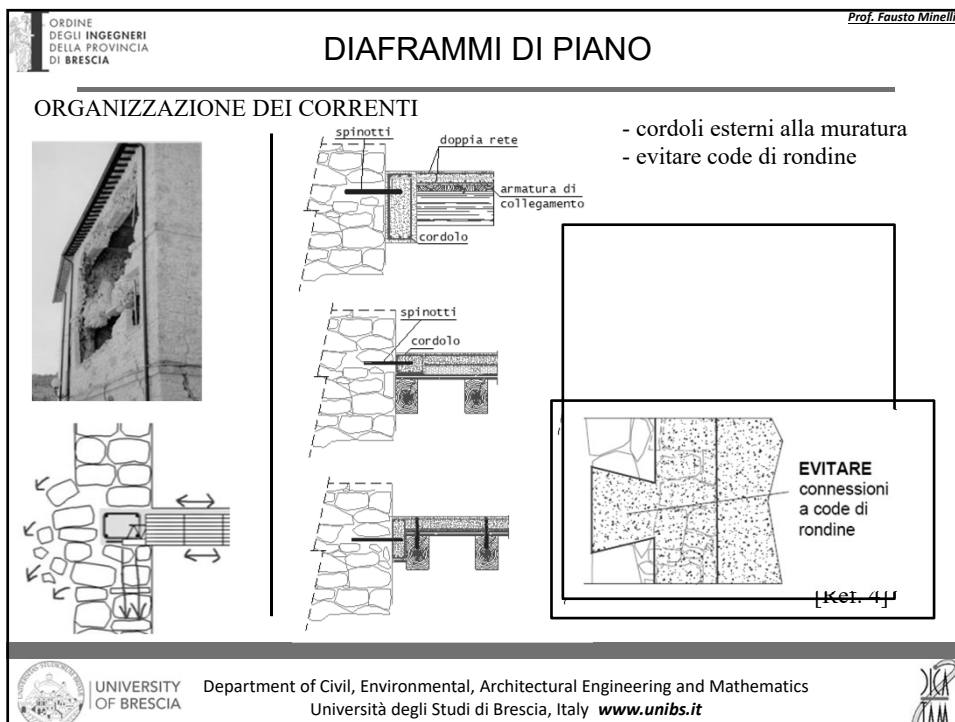
Carico [kN]

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

50



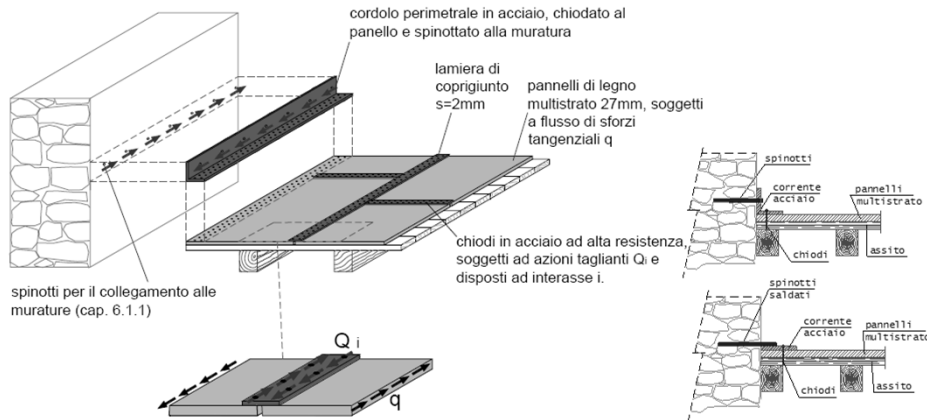
51



52

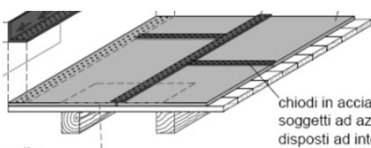
DIAFRAMMI DI PIANO

DIMENSIONAMENTO DEL DIAFRAMMA DI PIANO in MULTISTRATO FENOLICO

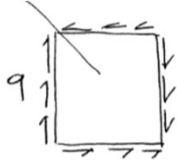


DIAFRAMMI DI PIANO

DIMENSIONAMENTO DEL DIAFRAMMA DI PIANO in MULTISTRATO FENOLICO



PANNELLO
Pannello agli appoggi soggetto al
flusso massimo

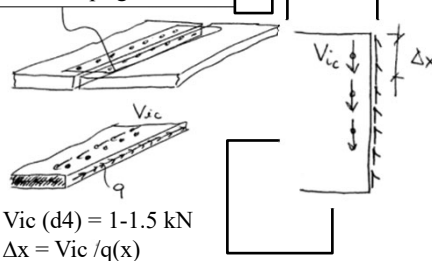


$$s = q^3 / \tau ES$$

(SCOMM = 27.5 mm,
 $\tau ES = 1 \text{ MPa}$)

COLLEGAMENTO PANNELLO-PANNELLO

Fasce di coprigiunto

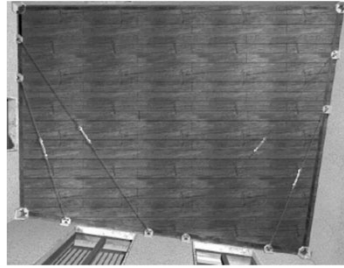
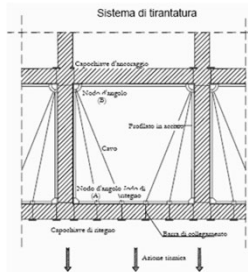


$$V_{ic} (d_4) = 1-1.5 \text{ kN}$$

$$\Delta x = V_{ic} / q(x)$$

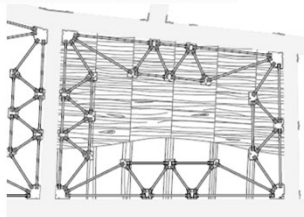


ALTRE SOLUZIONI PROPOSTE IN LETTERATURA



Introduzione di stralli
metallici

- Verificare che gli sforzi non siano eccessivamente concentrati

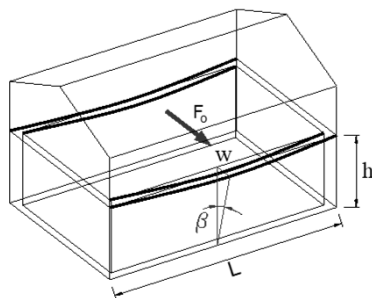


Travi reticolari in acciaio realizzate nello spessore del solaio

- Concentrazione degli sforzi
- Difficoltoso l'eventuale collegamento alle murature

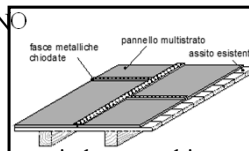


VERIFICA DI DEFORMABILITA' DEI DIAFRAMMI DI PIANO

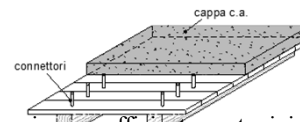


VERIFICA DI DEFORMABILITA':

La rigidezza del diaframma tale da escludere eccessivi spostamenti fuori piano delle pareti.



Nel caso di diaframma in legno multistrato è necessaria la verifica della massima inflessione



Il diaframma in c.a. sufficientemente rigido da escludere la necessità di verifiche di deformabilità



ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA

Prof. Fausto Minelli

COPERTURE SCATOLARI

FORMAZIONE DI DIAFRAMMI DI FALDA – COPERTURE SCATOLARI

stato di fatto

vincolo offerto dalla copertura scatolare

copertura scatolare

formazione della copertura scatolare: introduzione di un vincolo allo spostamento orizzontale

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

57

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA

Prof. Fausto Minelli

COPERTURE SCATOLARI

FORMAZIONE DI DIAFRAMMI DI FALDA – COPERTURE SCATOLARI

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

58

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA

Prof. Fausto Minelli

COPERTURE SCATOLARI

FORMAZIONE DI DIAFRAMMI DI FALDA – COPERTURE SCATOLARI

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

59

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI BRESCIA

Prof. Fausto Minelli

COPERTURE SCATOLARI

FORMAZIONE DI DIAFRAMMI DI FALDA – COPERTURE SCATOLARI

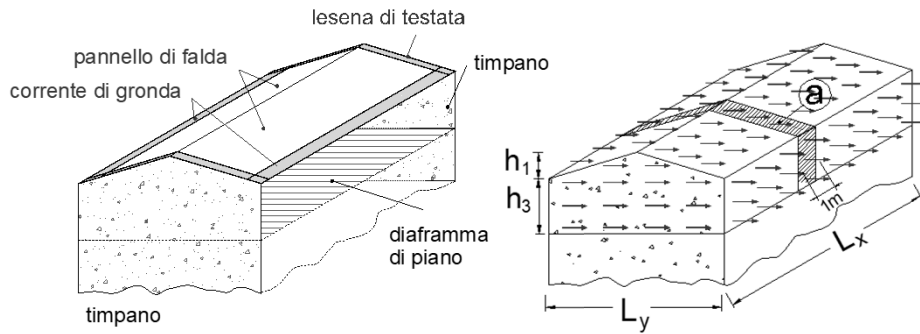
UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

60

COPERTURE SCATOLARI

COPERTURE SCATOLARI – CRITERI DI PROGETTAZIONE

- metodo semplificato basato sul criterio di resistenza



- componenti principali della copertura scatolare

- distribuzione dei carichi



UNIVERSITY OF BRESCIA

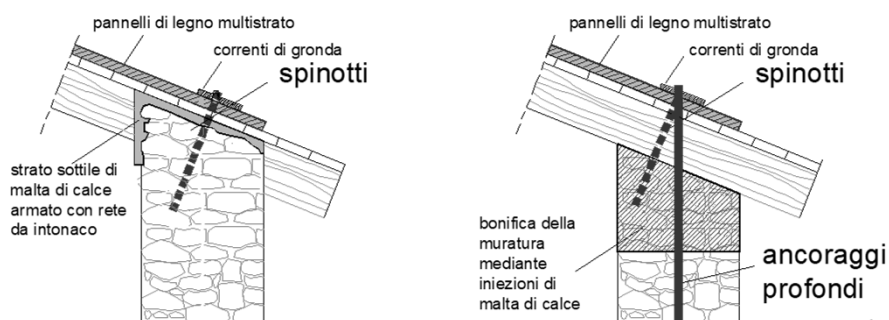
Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it



61

COPERTURE SCATOLARI

COLLEGAMENTO DELLA COPERTURA SCATOLARE CON LE PARETI PERIMETRALI



UNIVERSITY OF BRESCIA

Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

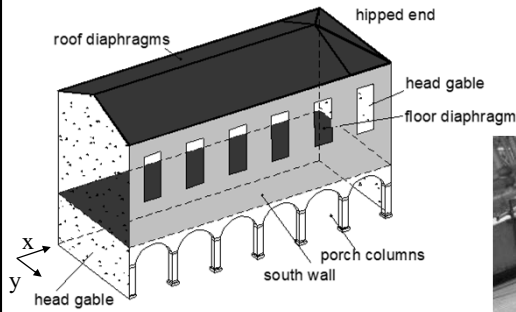


62

COPERTURE SCATOLARI

APPLICAZIONI STRUTTURALI

(progetto: prof. ing. E.Giuriani)



Palazzo Calini ai Fiumi, Brescia,
Facoltà di Legge



UNIVERSITY
OF BRESCIA

Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it



63

COPERTURE SCATOLARI

APPLICAZIONI STRUTTURALI



San Faustino, Segreteria Studenti
dell'Università degli studi di Brescia



(progetto: prof. ing. E. Giuriani)



UNIVERSITY
OF BRESCIA

Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it



64

Rinforzo di murature



65

EXPERIMENTAL PROGRAM

PROPERTIES OF THE FULL-SCALE BUILDING

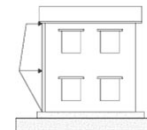


TYPE OF UNITS



Thickness=200mm;
vertical holes 60%

LOADING DISTRIBUTION



Proportional to
floor mass

OPENING CONFIGURATION



1 door + 8 windows



66

EXPERIMENTAL PROGRAM

TESTS ON FULL-SCALE MASONRY BUILDING



STRUCTURE

- Hollow-clay unit masonry
- Wooden floors and roof
- Seismic floor diaphragms

LOADS

- Quasi-static reverse cyclic test

RETROFITTING: SFRM coating

- on the external surface
- 30 mm thick
- Anchored in foundation



UNIVERSITY OF BRESCIA

Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

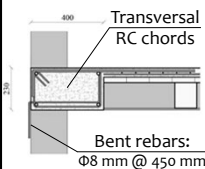
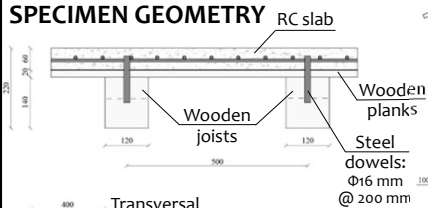
67



67

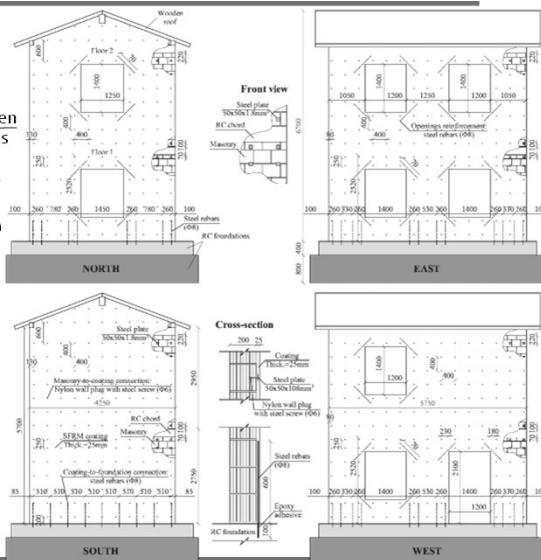
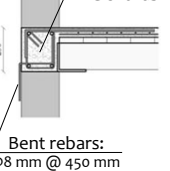
EXPERIMENTAL PROGRAM

SPECIMEN GEOMETRY



SEISMIC FLOOR DIAPHRAGM

Longitudinal RC chords



UNIVERSITY OF BRESCIA

Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

68

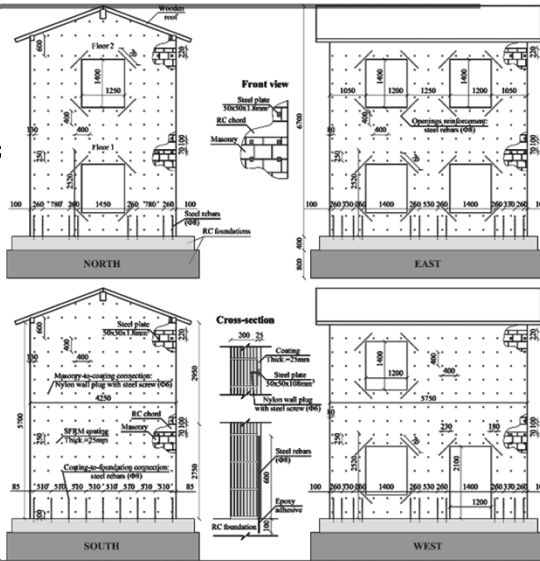


68

EXPERIMENTAL PROGRAM

OPENING REINFORCEMENT

- CONNECTIONS embedded in SFRM;
- Series of layers of SFRM up to 25 mm;
 - Priming or waterproofing;
 - Finishing and curing;
 - Steam curing (meritless rough surface);
 - 5...



UNIVERSITY OF BRESCIA

Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

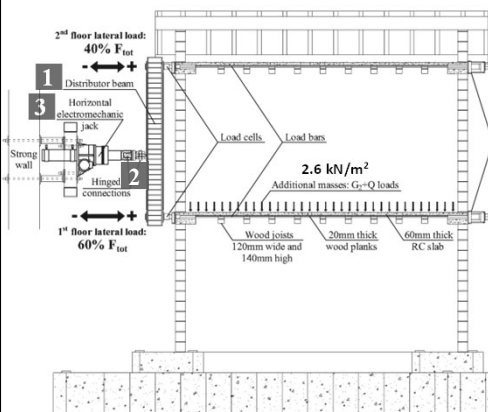
69



69

EXPERIMENTAL PROGRAM

TEST SET-UP



$$\text{Drift (\%)} = \frac{\delta_2}{h_2} = \frac{\frac{(H_2SW - BSW) + (H_2SE - BSE)}{2}}{h_2} = \frac{\text{average top floor displacement}}{\text{height of 2nd floor horizontal load}}$$



UNIVERSITY OF BRESCIA

Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

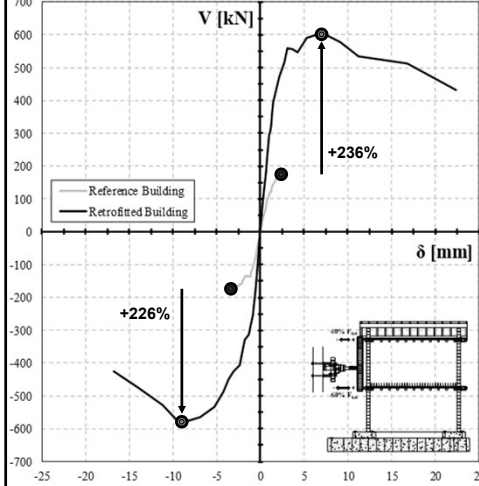


70

EXPERIMENTAL PROGRAM

RETROFITTED vs UNSTRENGTHENED EXPERIMENTAL RESULTS

LATERAL LOAD – DISPLACEMENT ENVELOPES



	MB	MB-R+SR
K_s^+ [kN/mm]	125	283 (+126%)
K_s^- [kN/mm]	132	318 (+141%)
$V_{cracking}^+$ [kN]	120	515 (+329%)
$V_{cracking}^-$ [kN]	128	405 (+216%)
V_{peak}^+ [kN]	● 180	● 605 (+236%)
V_{peak}^- [kN]	● 179	● 584 (+226%)

Strength and stiffness improvement
provided by 30 mm of SFRM on the external surface of the building



UNIVERSITY OF BRESCIA

Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

71

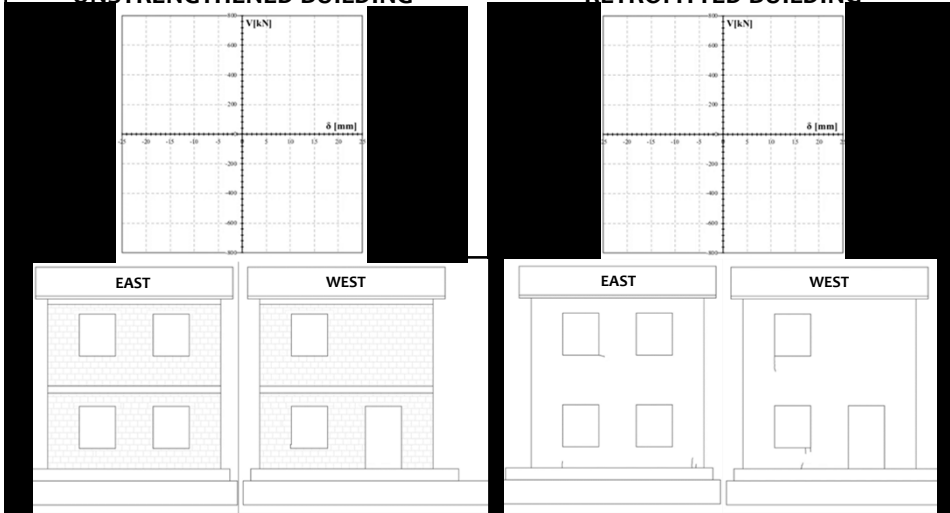


71

EXPERIMENTAL PROGRAM

UNSTRENGTHENED BUILDING

RETROFITTED BUILDING



UNIVERSITY OF BRESCIA

Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

72



72

ORDINE
DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA
DI BRESCIA

Prof. Fausto Minelli

Ringraziamenti

Ringrazio tutto il mio gruppo di ricerca.

Si ringraziano inoltre:

Prof.ssa Alessandra Marini, Università di Bergamo;

Prof. Ezio Giuriani, Emerito UNIBS;

Ing. Stefania Cominelli

per parte del materiale fornito e qui utilizzato

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

73

UNIVERSITAS STUDIORUM BRESCIAE

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA

UNIVERSITY OF BRESCIA Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics
Università degli Studi di Brescia, Italy www.unibs.it

74