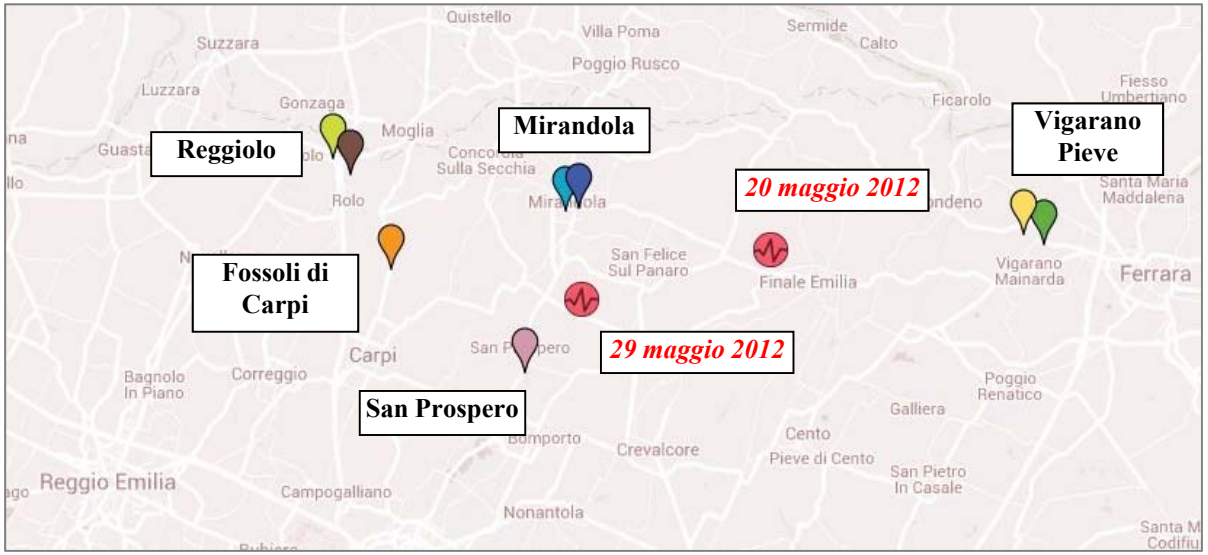
Realizzazione di indagini sperimentali in situ su pareti di edifici in muratura nei comuni dell'Emilia colpiti dal sisma del 2012



Gruppo di Lavoro:

Prof. Ing. Marco Savoia, Prof. Ing. Claudio Mazzotti, Prof. Ing. Barbara Ferracuti

IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Obiettivi della campagna sperimentale

Mirandola, Emilia 2012 earthquake

IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

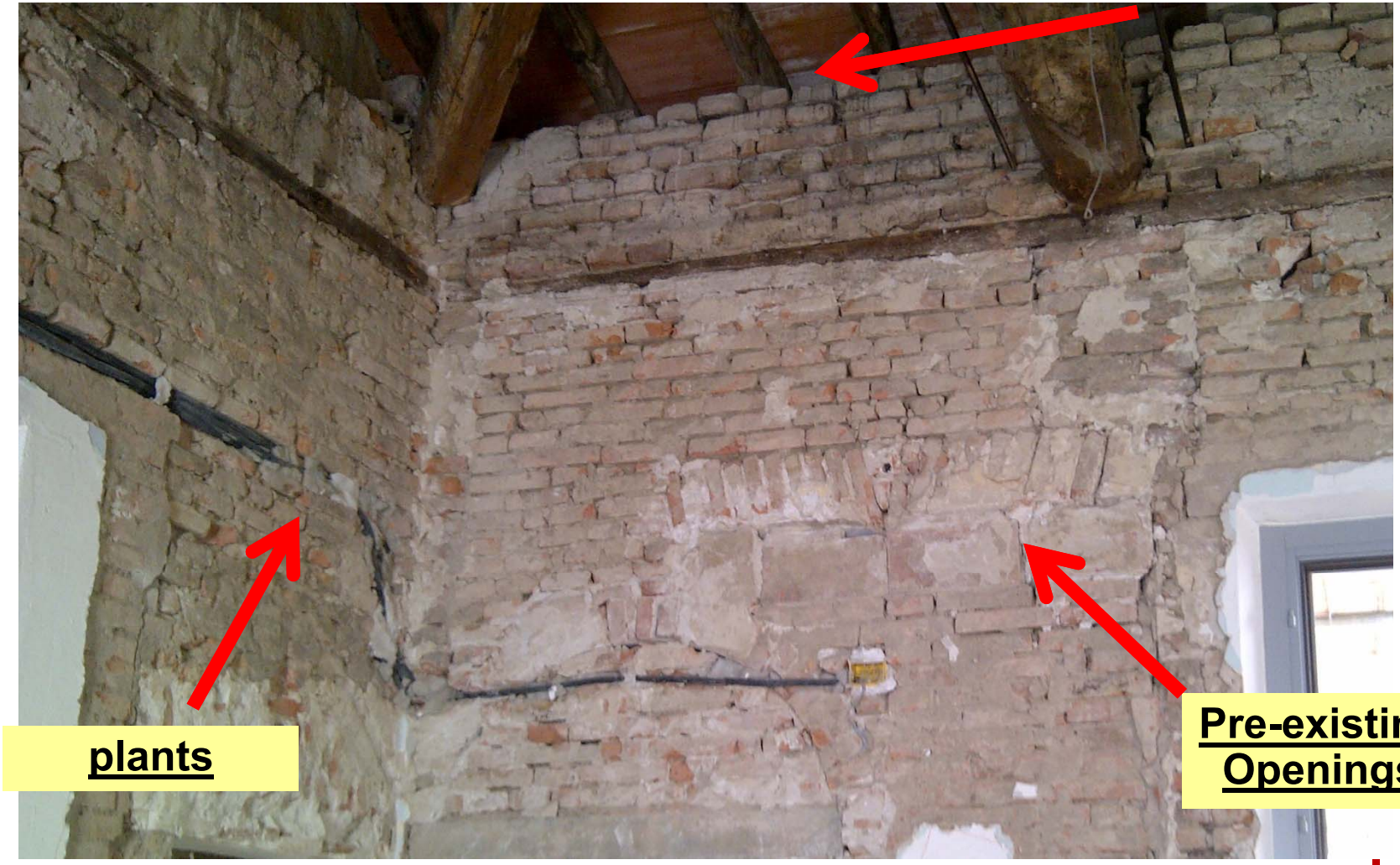
Obiettivi della campagna sperimentale

BRICKS

- Heterogeneity in the mixture
- Heterogeneity in the firing process

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Obiettivi della campagna sperimentale



IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Obiettivi della campagna sperimentale

Murature nuove

§ 4.5.3

The characteristic strengths f_k e f_{vk0} are determined through experimental tests on masonry panels or, with some limitations, considering the mechanical properties of the components (bricks and mortar). The methodologies for the determination of the characteristic strengths and the elastic moduli are reported in Section § 11.10.3 (NTC08)

Tabella 11.10.V - *Valori di f_k per murature in elementi artificiali pieni e semipieni (valori in N/mm^2)*

Resistenza caratteristica a compressione f_{bk} dell'elemento N/mm^2	Tipo di malta			
	M15	M10	M5	M2,5
2,0	1,2	1,2	1,2	1,2
3,0	2,2	2,2	2,2	2,0
5,0	3,5	3,4	3,3	3,0
7,5	5,0	4,5	4,1	3,5
10,0	6,2	5,3	4,7	4,1
15,0	8,2	6,7	6,0	5,1
20,0	9,7	8,0	7,0	6,1
30,0	12,0	10,0	8,6	7,2
40,0	14,3	12,0	10,4	--

IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Obiettivi della campagna sperimentale

Edifici esistenti

Circolare 2 Feb. 2009 - Table C8A.2.1

Tipologia di muratura	f_m (N/cm^2) Min-max	τ_0 (N/cm^2) min-max	E (N/mm^2) min-max	G (N/mm^2) min-max	w (kN/m^3)
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadrati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22

Reference values of mechanical parameters (minimum and maximum) and mean self weight for different masonry typologies, referred to weak mortar, uncoursed masonry, absent connections between wall leaves, texture following the "rule of the art" in case of regular elements;

f_m = mean compressive strength of masonry; τ_0 = mean shear strength of masonry; E = mean value of the elastic modulus; G = mean value of the shear modulus; w = mean self weight of masonry.

IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Obiettivi della campagna sperimentale

Circolare 2 Feb. 2009 **-** Table C8A.2.2

For historic masonries, the values reported in Table C8A.2.1 refer to masonry made of two leaves which are not connected, low quality mortar in layers which are not too thin and the lack of elements giving regularity to the layout.

The code prescribes the use of corrective coefficients, reported in Table C8A.2.2, if the characteristics of the masonry are different from the reference ones

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con paramen-to di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

Corrective coefficients of the mechanical parameters indicated in the previous table to be applied in presence of: high-quality mortar, thin mortar joints, transversal connections between wall leaves, poor internal core, strengthening interventions such as mortar injections or reinforced plaster.

IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Descrizione della Campagna Sperimentale

Obiettivi

L'**obiettivo** della campagna sperimentale è stato quello di **valutare le caratteristiche meccaniche delle murature emiliane**, nelle tre macro-aree colpite dal terremoto del 2012, attraverso un'articolata campagna sperimentale, caratterizzata da:

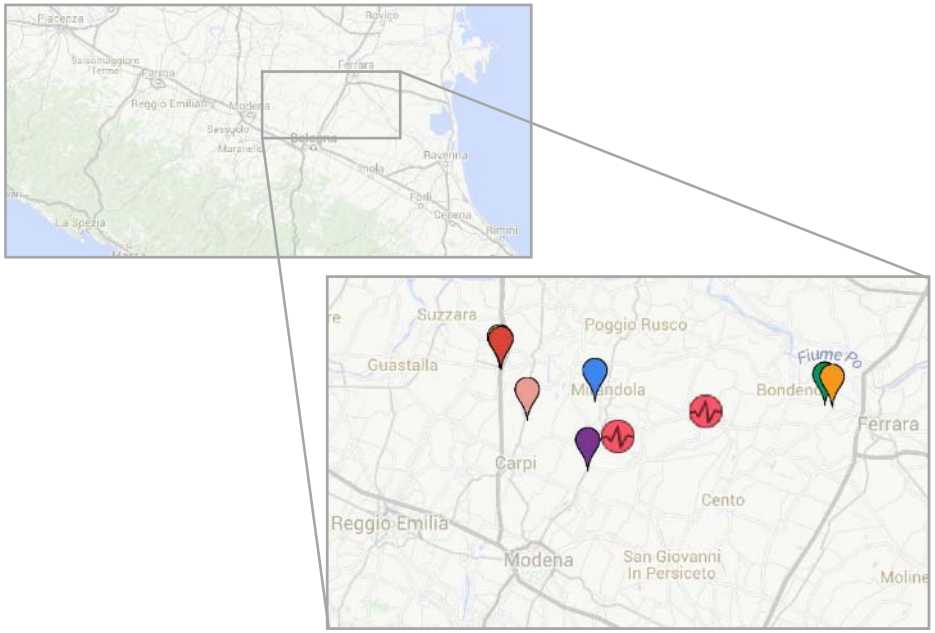
- **PROVE NON DISTRUTTIVE e SEMI-DISTRUTTIVE**
  - Prove Soniche
  - Carotaggi e prelievo di laterizi e malte da testare poi in laboratorio
  - Prove di scorrimento del mattone su giunto di malta
  - Martinetti piatti singoli e doppi
- **PROVE DISTRUTTIVE**
  - Prova di compressione diagonale (CD), anche su muratura rinforzata
  - Prova di taglio – compressione (NT)

Attraverso i risultati delle prove, si è cercato di stabilire una **correlazione tra i risultati delle prove distruttive e semi-distruttive**.

IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Campagna sperimentale

Edifici investigati



IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Programma delle indagini

Numerosità delle prove eseguite

INDAGINI VISIVE e *SAGGI DEMOLITIVI* sono stati condotti in maniera diffusa in modo da identificare l'organismo strutturale e lo stato di danno al fine di programmare le successive prove.

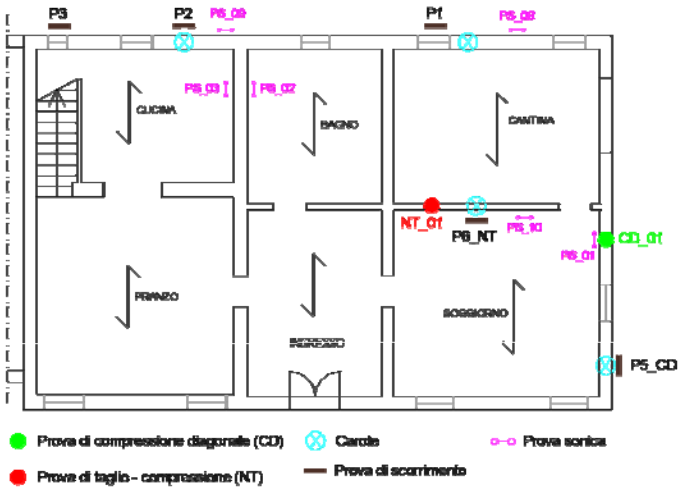


Tabella 1. Numerosità prove semi-distruttive.

Edificio	Prove Soniche	Prove di Scorrimento	Prove laterizi	Prove malte	Prove Carote		Prelievo Blocco	Martinetti
					Giunto inclinato	Giunto Orizz.		
Ed. 1	6	5	61	38	25	-	1	-
Ed. 2	4	2	84	27	14	-	-	-
Ed. 3	2	7	108	22	21	-	-	-
Ed. 4	3	5	40	35	34	-	1	-
Ed. 5	4	6	60	28	19	-	-	-
Ed. 6	-	6	72	34	13	6	-	1
Ed. 7	4	9	70	33	8	-	-	1
Ed. 8	4	6	99	42	12	4	1	-
Totale	**27**	**46**	**594**	**259**	**146**	**10**	**3**	**2**

Tabella 2. Numerosità prove distruttive.

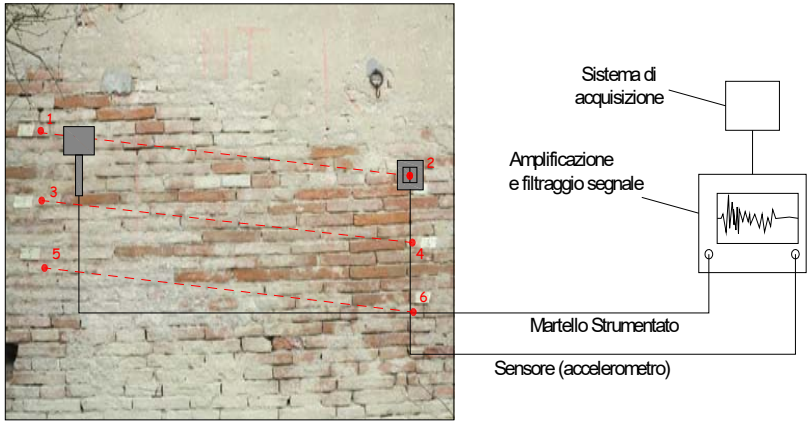
	Prove distruttive su muratura non rinforzata		Prove CD su muratura rinforzata
Edificio	**Prova CD**	**Prova NT**	
Edificio 1	1	1	-
Edificio 2	1	1	2
Edificio 3	1	1	-
Edificio 4	1	1	-
Edificio 5	1	1	-
Edificio 6	1	1	-
Edificio 7	1	1	-
Edificio 8	1	1	-
Totale	**8**	**8**	**2**

IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Prove meccaniche non distruttive

Prove soniche

PROVE SONICHE - EDIFICIO 1					
Codice prova	Misura	Lunghezza [mm]	Tempo [µs]	Velocità [m/s]	V Media [m/s]
PS_01	1-2	1530	846	1809	1606
	3-4	1500	754	1989	
	5-6	1480	1078	1373	
	5-6 bis	1500	1222	1227	
	7-8	1480	906	1634	
PS_02	1-2	1600	934	1713	1686
	3-4	1600	964	1660	
PS_03	3-4	1520	1378	1103	1130
	5-6	1510	1306	1156	
PS_08	1-2	1980	1464	1352	1295
	3-4	1940	1436	1351	
	5-6	1960	1660	1181	
PS_09	1-2	1600	1132	1413	1535
	3-4	1580	954	1656	
PS_10	1-2	1660	882	1882	1687
	3-4	1670	1048	1594	
	5-6	1670	1054	1584	



Le prove soniche permettono di acquisire informazioni per la caratterizzazione e descrizione qualitativa della muratura e della sua omogeneità.

IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Prove meccaniche semi-distruttive

Prove di resistenza dei materiali

MATTONI

Prove di compressione monoassiale

MALTE

Prove di doppio punzonamento

Resistenza a compressione e modulo elastico della muratura (EC6)

$$f_k = K \cdot f_{bN,M}^{\alpha} \cdot f_{dp,M}^{\beta}$$

$$E = 1000 \cdot f_k$$

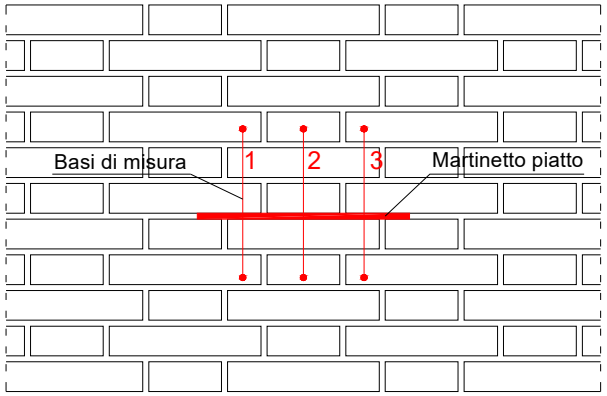
- $f_{bN,M}$: *resistenza media normalizzata dei mattoni*
- $f_{dp,M}$: *resistenza media delle malte*
- *K, α, β : costanti*

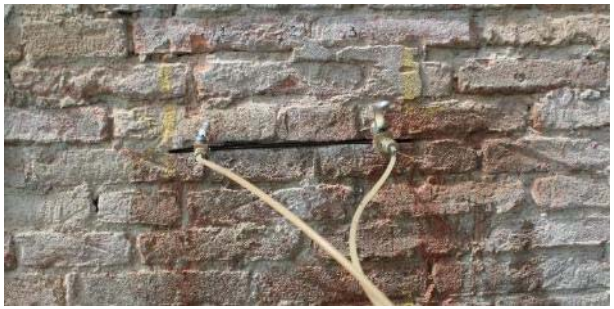
IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Prove meccaniche semi-distruttive

Prove di resistenza della muratura
MARTINETTI PIATTI SINGOLI E DOPPI

Prove con martinetto piatto singolo

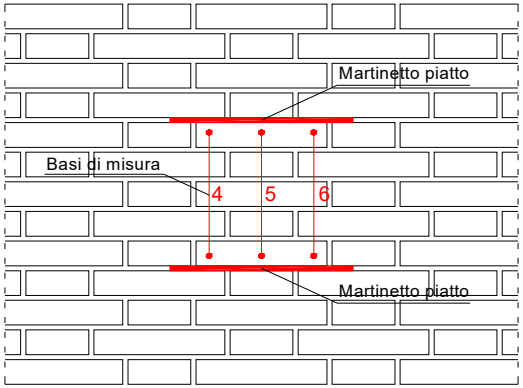


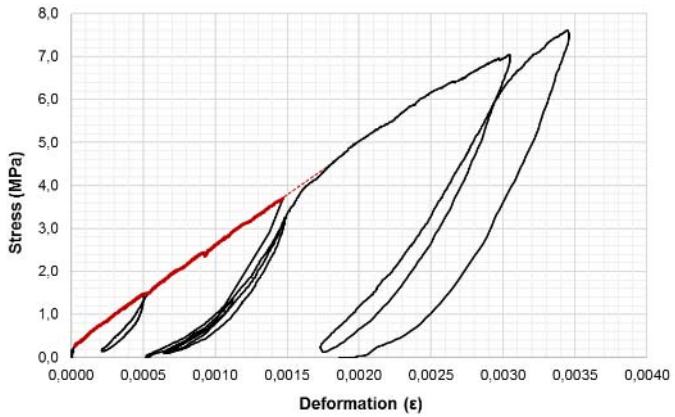


Stato di sollecitazione di compressione nella muratura

$$\sigma = K_m \cdot K_a \cdot p$$

Prove con martinetti piatti doppi





Resistenza a compressione
Modulo Elastico

IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Prove meccaniche semi-distruttive

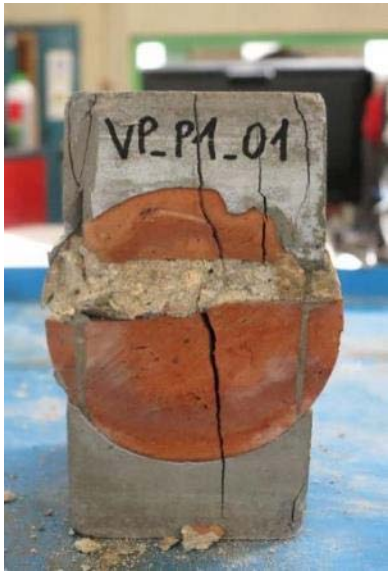
Prove di resistenza della muratura
PROVE DI COMPRESSIONE

Prove di compressione su carote con giunto orizzontale

$$f_{c,core} = \frac{F_{max}}{d \cdot l}$$

$$f_m = \frac{f_{c,core}}{1.62}$$

(Sassoni et al. 2014)



Prove di compressione su campioni di muratura estratti in situ

$$f_m = \frac{F_{max}}{A}$$

IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Prove meccaniche semi-distruttive

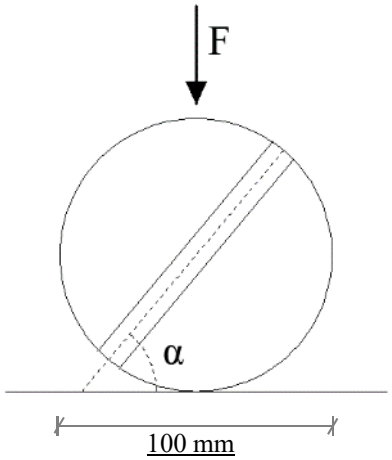
Prove di resistenza della muratura

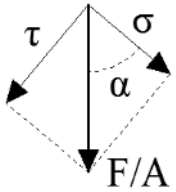
PROVE DI COMPRESSIONE SU CAROTE CON GIUNTO INCLINATO

- Numero di prove eseguite

Edificio	Prove su carote con giunto inclinato
01	25
02	14
03	21
04	34
05	19
06	13
07	8
08	12
Totale	**146**

- Stato tensionale lungo il giunto di malta

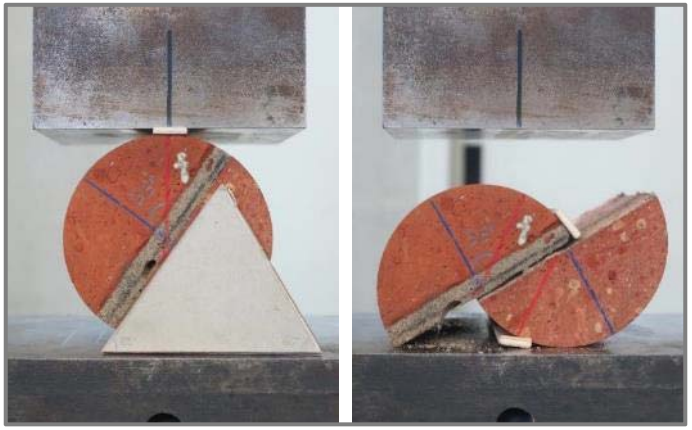




$$\sigma = \frac{F_{max}}{A} \cdot \cos\alpha$$

$$\tau = \frac{F_{max}}{A} \cdot \sin\alpha$$

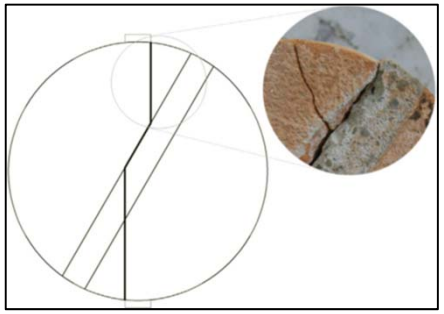
- Scelta dell'angolo di inclinazione α



45° - 50° - 55°: Rottura per scorrimento

Modalità di rottura da evitare (Mazzotti et al. 2014)

< 40° : Rottura per Splitting



> 60° : Distacco delle estremità del mattone

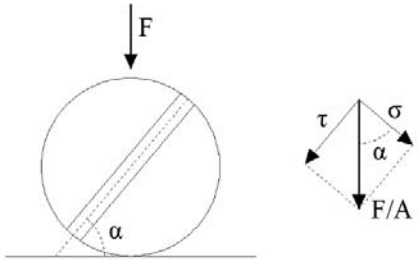
IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

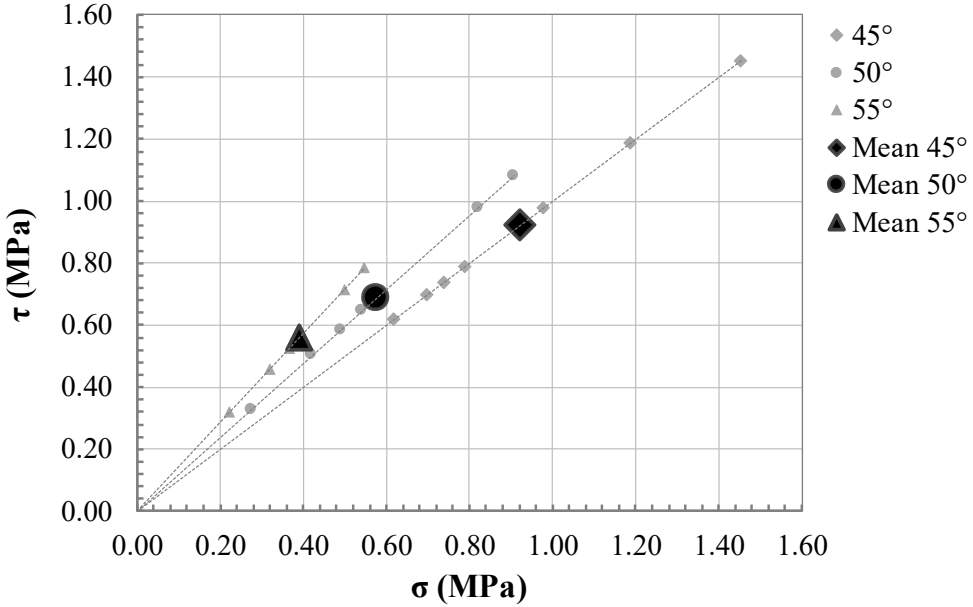
Prove meccaniche semi-distruttive

Prove di resistenza della muratura

PROVE DI COMPRESSIONE SU CAROTE CON GIUNTO INCLINATO

- I risultati delle prove di compressione su carote con giunto inclinato possono essere rappresentati come punti (σ ; τ) sul piano di Mohr
- I risultati, per un dato angolo di inclinazione del giunto di malta α, sono allineati lungo rette aventi inclinazione tan(α)
- Sono stati considerati i valori medi per ogni inclinazione





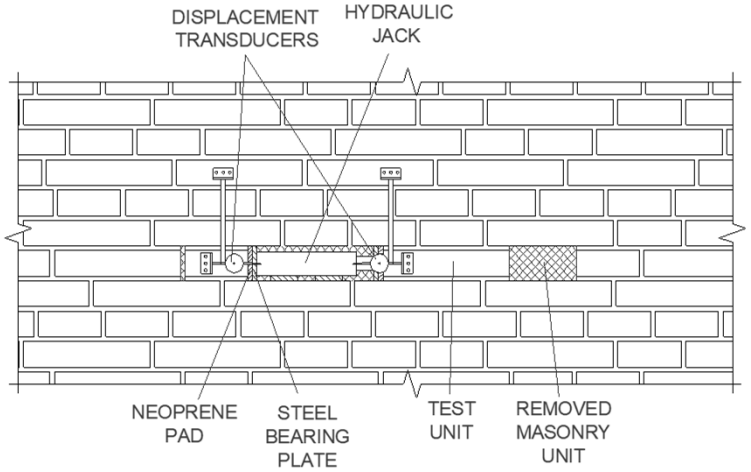
IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Prove meccaniche semi-distruttive

Prove di resistenza della muratura

PROVA DI SCORRIMENTO SU GIUNTO DI MALTA

- Setup e stato tensionale lungo il giunto



Standard
ASTM 1531-09

σ : Analisi dei carichi o martinetto piatto

$$\tau = \frac{F_{max}}{A_i}$$

- Numero di prove eseguite

Edificio	Prove di scorrimento n°
01	5
02	2
03	7
04	5
05	6
06	6
07	9
08	6
Totale	**46**

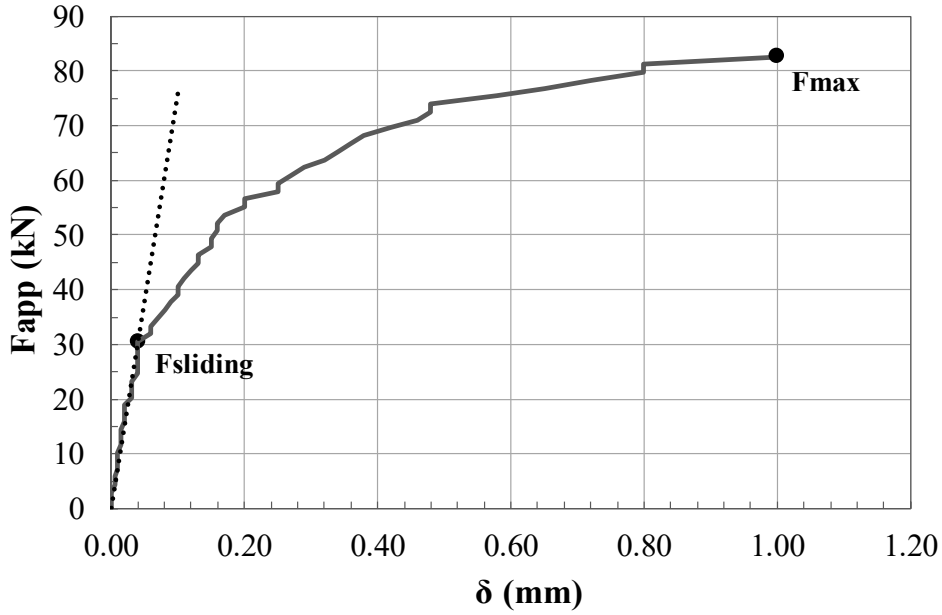
- Modalità di rottura

IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Prove meccaniche semi-distruttive

Prove di resistenza della muratura

PROVA DI SCORRIMENTO SU GIUNTO DI MALTA



- Considerando il valore massimo F_{max}, le coppie di valori (σ ; τ) alla rottura si discostano molto dai risultati delle prove su carote con giunto inclinato e delle prove distruttive
- La forza massima F_{max} si registra in corrispondenza di valori di scorrimento tangenziale molto elevati e non compatibili con la natura fragile di questo tipo di prova

→ Si ritiene opportuno considerare un valore di capacità ridotto $F_{sliding}$, corrispondente al punto in cui la curva F-δ devia dall'iniziale tratto pseudo-elastico.

IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

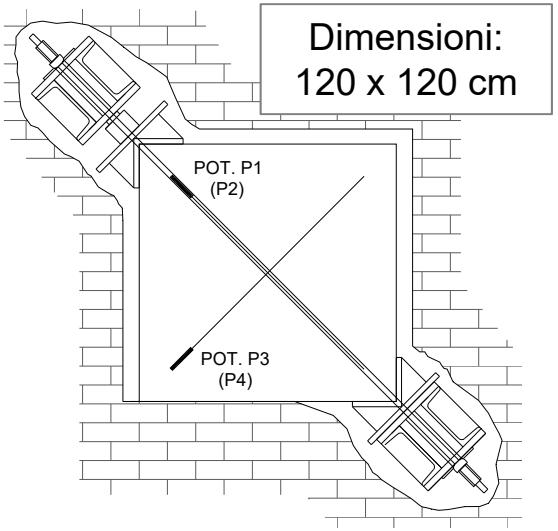
Prove distruttive

Campagna sperimentale Prova di Compressione Diagonale

IL PRESENTE MATERIALE E RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITA DI BOLOGNA E NON PUO ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Prove distruttive

Prova di Compressione Diagonale



Setup di prova - Fronte

Setup di prova - Retro

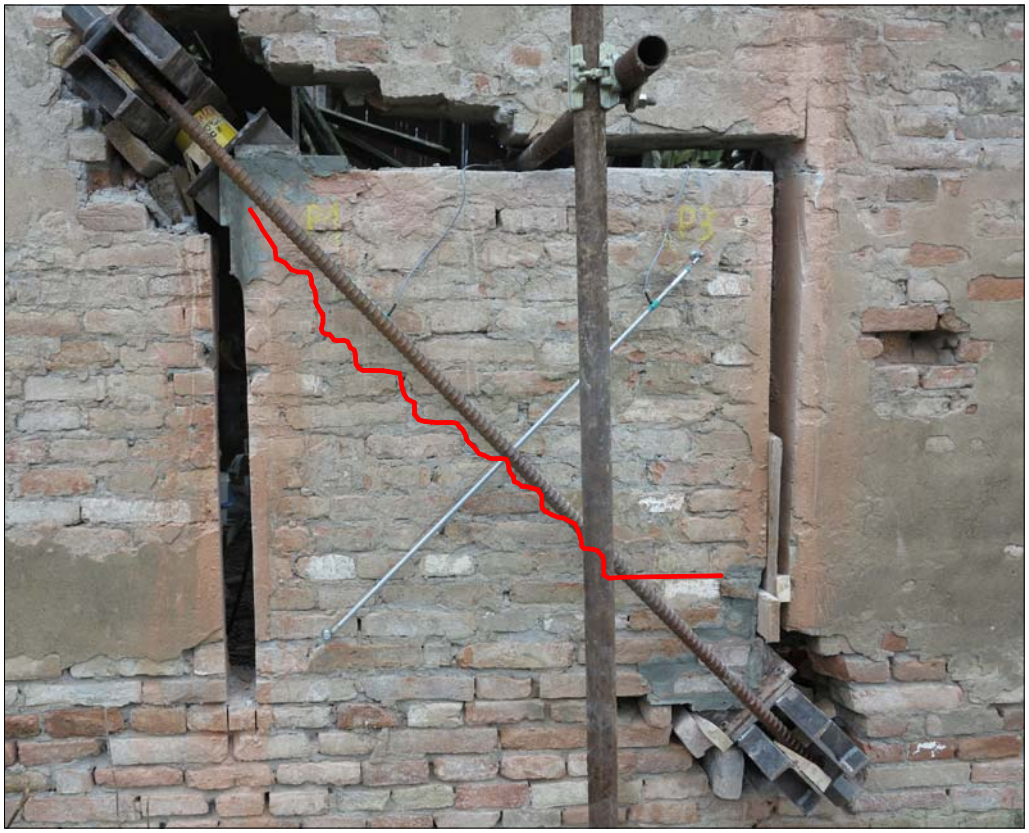
Particolari della carpenteria e dei potenziometri

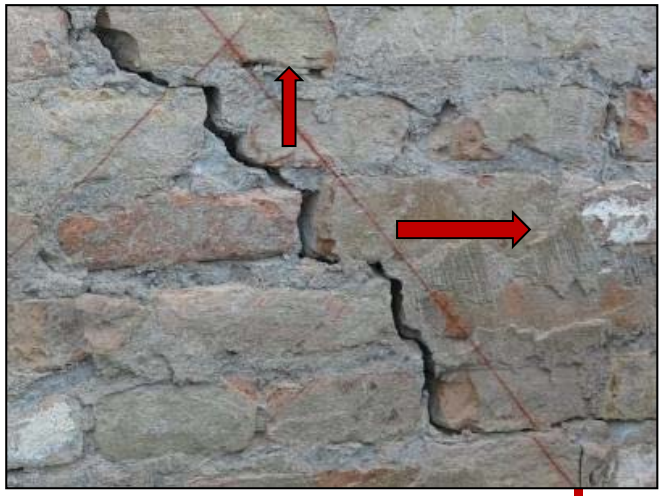
IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Prove distruttive

Prova di Compressione Diagonale

Modalità di rottura

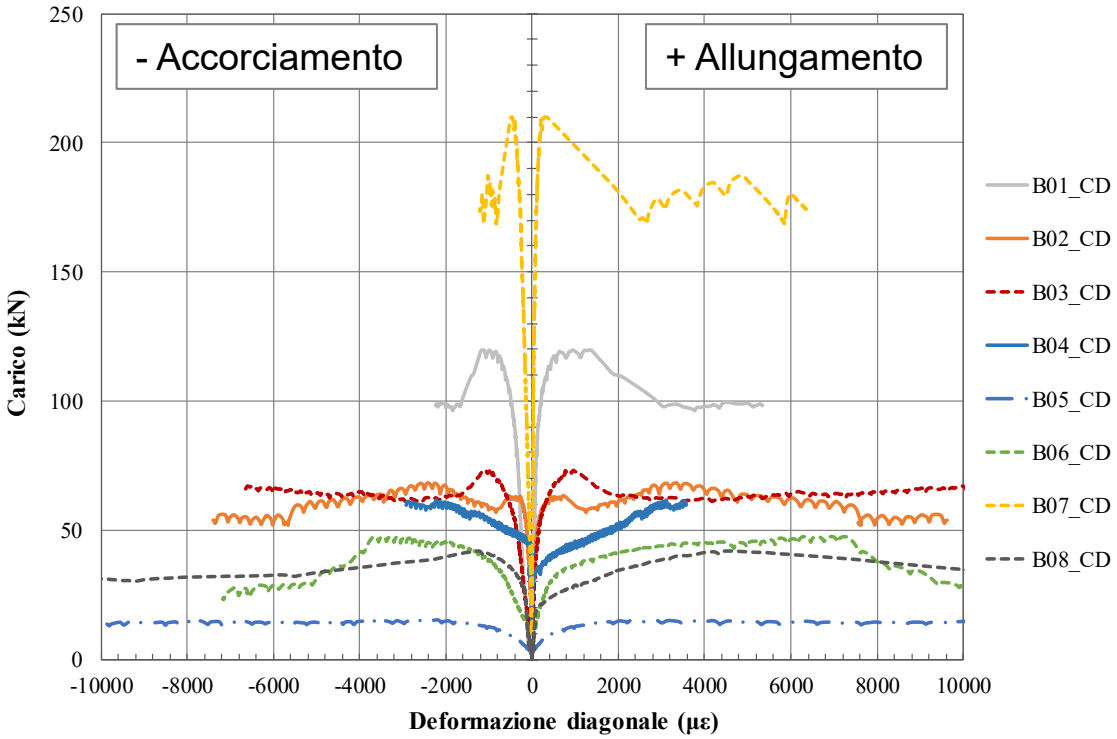




IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Prove distruttive

Prova di Compressione Diagonale



- Comportamento simile lungo le due diagonali nella prima parte della prova
- Allungamenti più significativi e in aumento nella seconda parte della prova, per via dell'apertura delle fessure
- Comportamento non lineare più marcato per pannelli murari costituiti da materiali di scarsa qualità

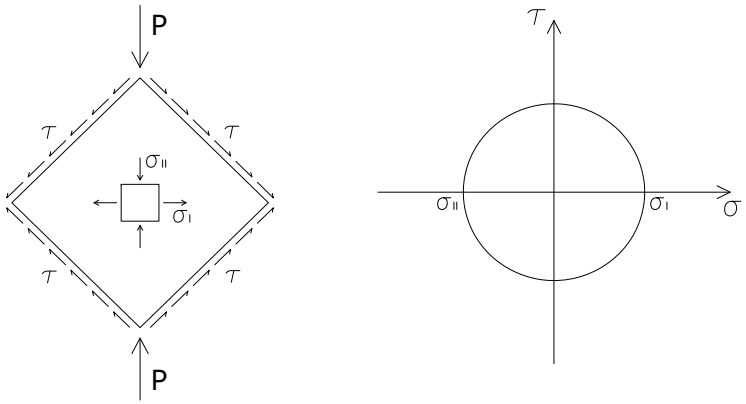
IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Prove distruttive

Prova di Compressione Diagonale

Interpretazione della prova

Secondo l'interpretazione fornita dall'ASTM (ASTM E519-10), lo stato di tensione al centro del pannello si può considerare di taglio puro.



La resistenza a taglio in assenza di compressione può essere calcolata come:

$$f_{v0} = 0.707 \cdot \frac{P_u}{A_n}$$

- P_u : *carico di rottura*
- A_n : *area netta*

Edificio	Cross section dimensions (cm^2)	P_u (kN)	$f_{v0,ASTM}$ (MPa)
B01_CD	120 x 30	119.8	0.24
B02_CD	120 x 29	63.4	0.13
B03_CD	120 x 31	73.1	0.14
B04_CD	120 x 35	34.0	0.06
B05_CD	120 x 32	15.2	0.03
B06_CD	120 x 28	47.5	0.10
B07_CD	120 x 27.5	210.0	0.45
B08_CD	120 x 27	41.9	0.09

IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Prove distruttive

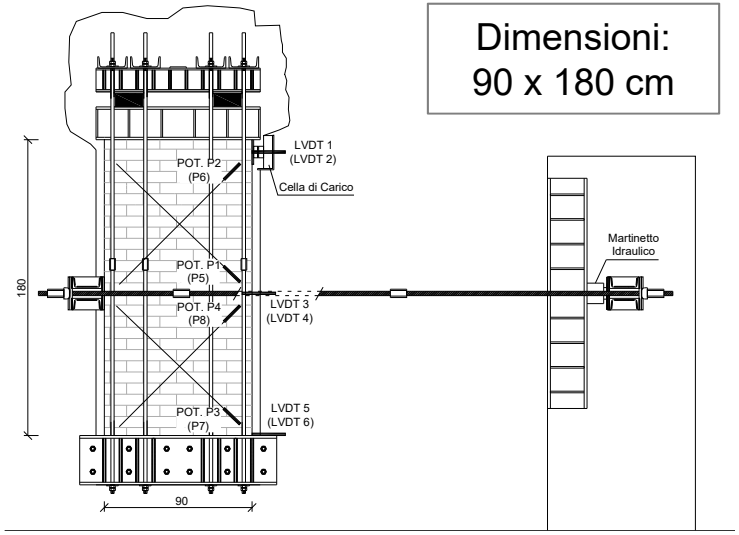
Prova di Taglio-Compressione
Fasi di preparazione della prova

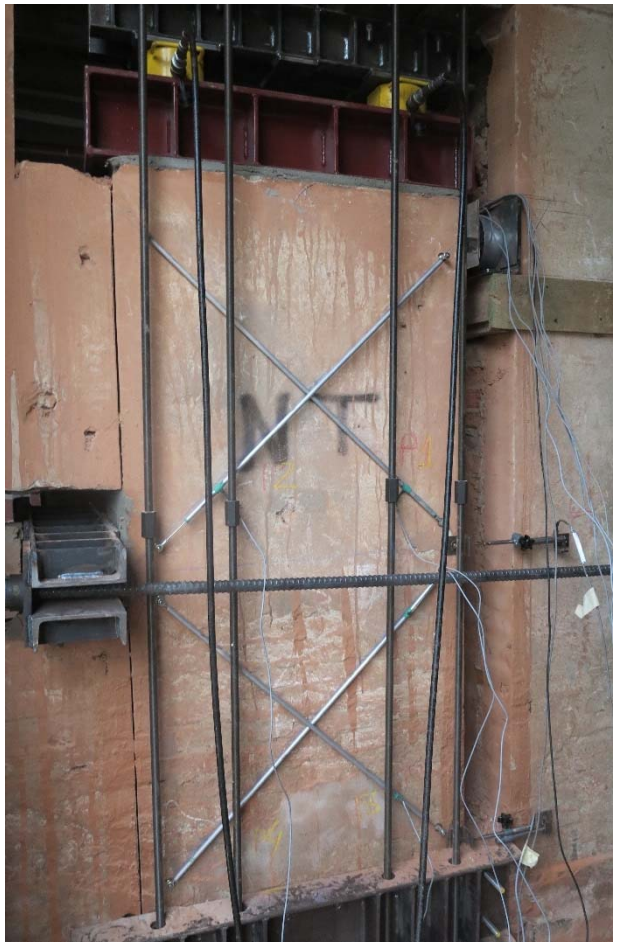
IL PRESENTE MATERIALE E RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Prove distruttive

Prova di Taglio – Compressione
TIPO A

Dimensioni:
90 x 180 cm





Setup di prova - Fronte

Setup di prova - Retro

IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Prove distruttive

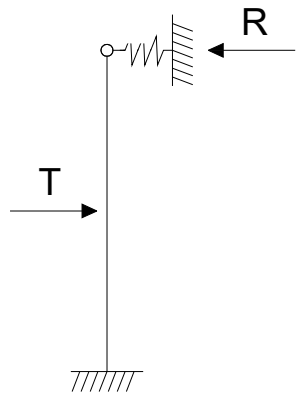
Prova di Taglio – Compressione
TIPO A

VANTAGGI:

- Carico di compressione assegnato

SVANTAGGI:

- Prevalente comportamento flessionale osservato durante la prova
- Difficoltà nell'interpretazione dello schema statico



$$\tau_{sup} = \frac{R}{A}$$

$$\tau_{inf} = \frac{T - R}{A}$$

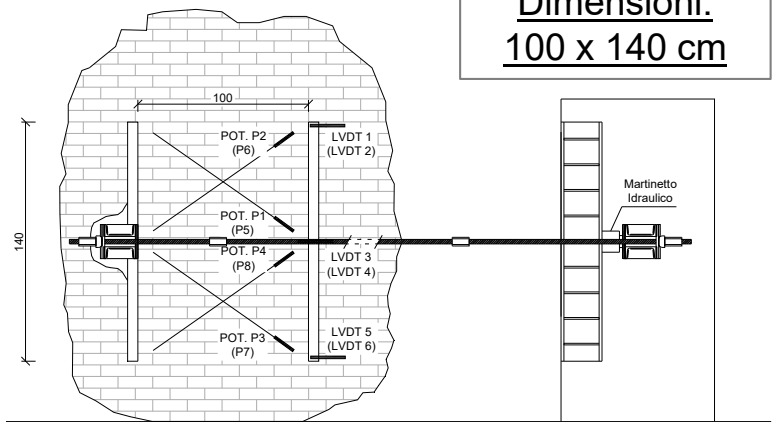
A

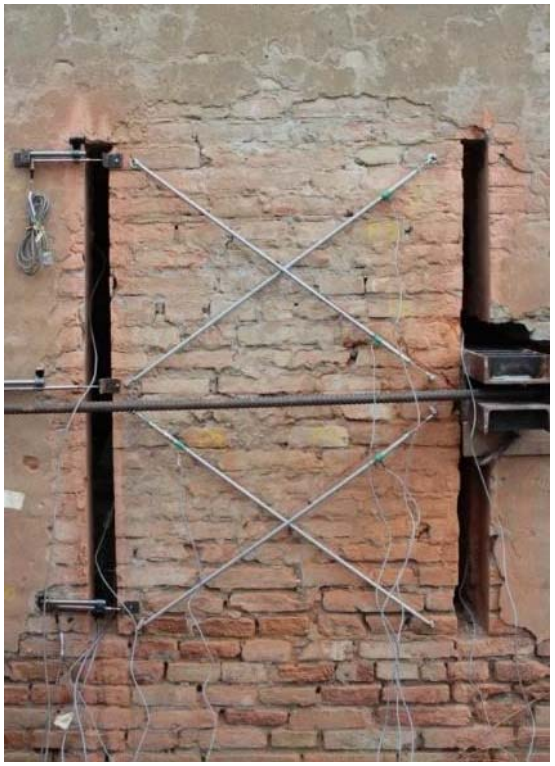
IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Prove distruttive

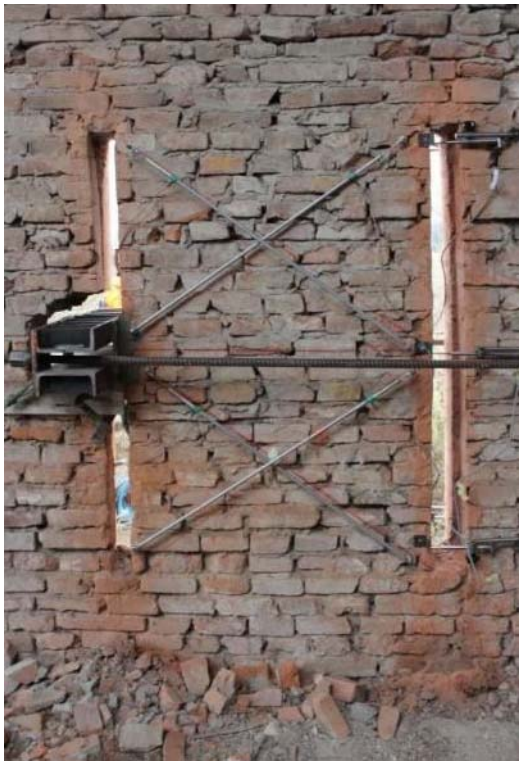
Prova di Taglio – Compressione
TIPO B

Dimensioni:
100 x 140 cm





Setup di prova - fronte

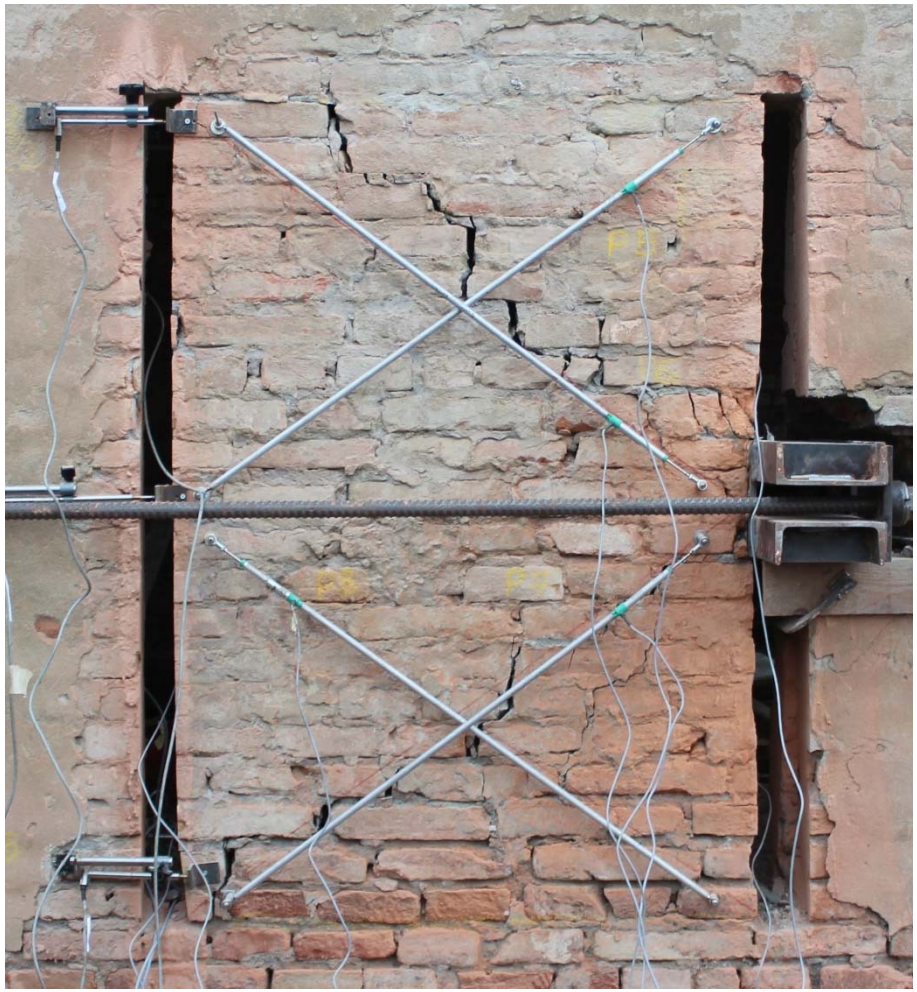


Setup di prova - retro

IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Prove distruttive

Prova di Taglio – Compressione
TIPO B

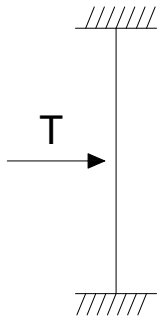


VANTAGGI:

- Rottura a taglio del pannello
- Schema statico assimilabile ad incastro-incastro

SVANTAGGI:

- Carico di compressione stimato da analisi dei carichi



$$\tau = \frac{T}{2A}$$

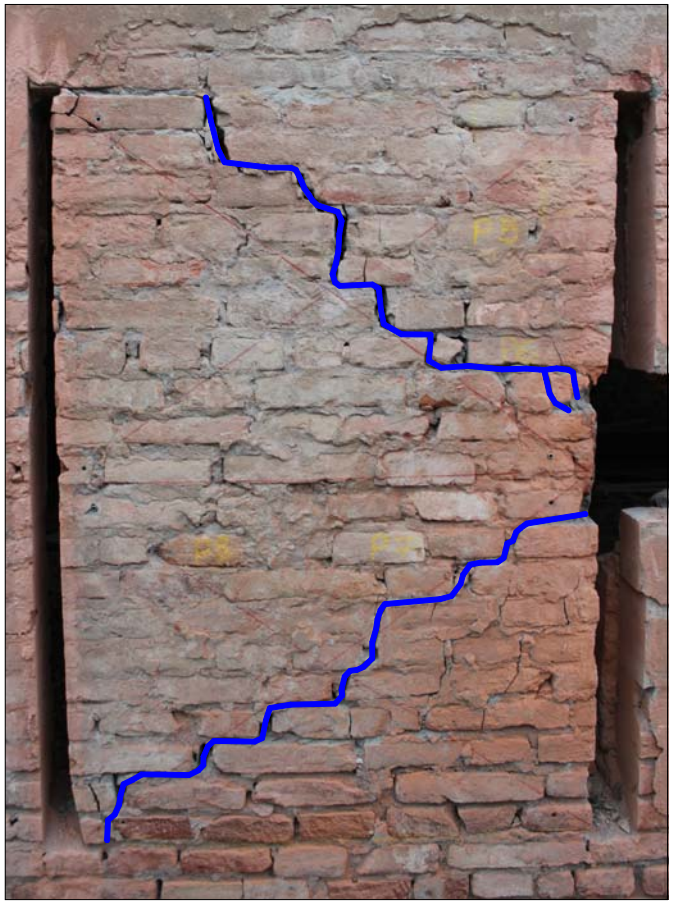
B

IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Prove distruttive

Prova di Taglio – Compressione

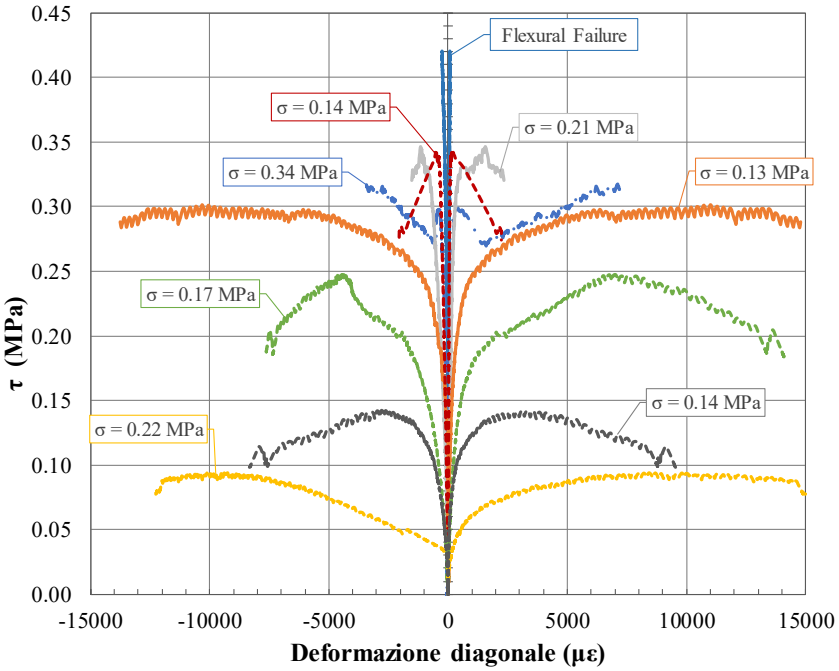
Modalità di rottura

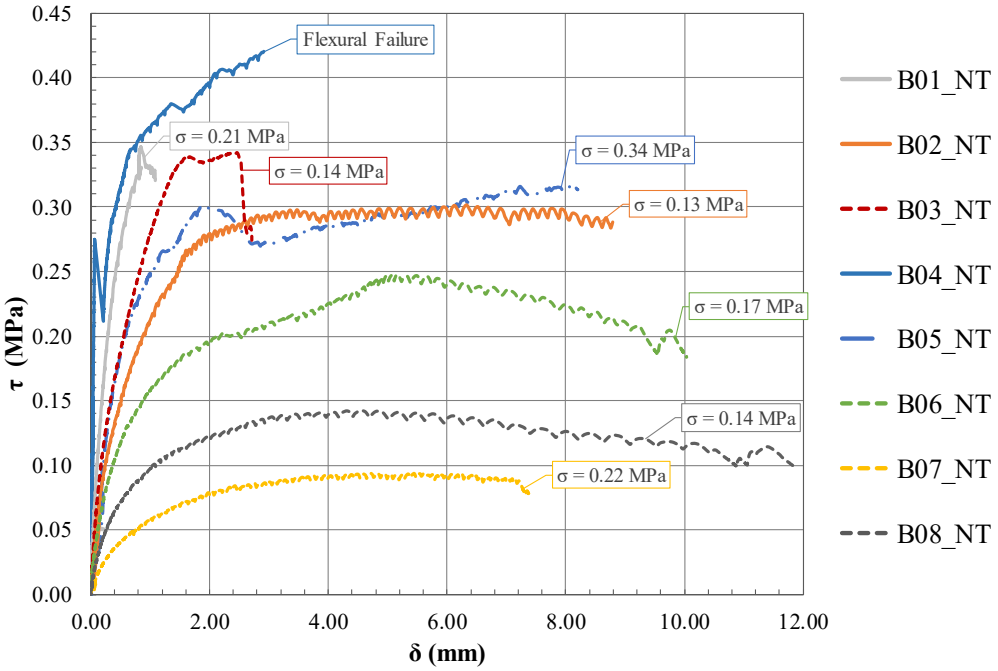


IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Prove distruttive

Prova di Taglio - Compressione





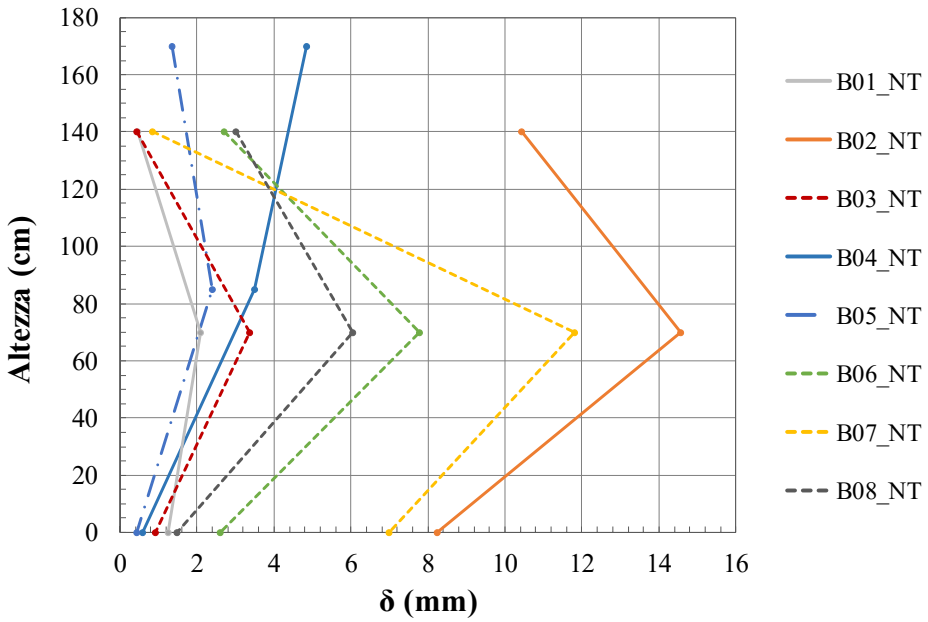
- A una maggior compressione verticale non corrisponde sempre una maggiore capacità a taglio del pannello, segno che la qualità muraria è un parametro che ha grande influenza sul risultato della prova
- Evidente comportamento non lineare
- Modalità di rottura non fragile

IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

Prove distruttive

Prova di Taglio - Compressione

- Andamento delle deformate
  → Confermato lo schema statico utilizzato e il comportamento simmetrico dei pannelli
  (eccetto per prova B04_NT in cui si è avuto un prevalente comportamento flessionale)



- Risultati riportati in termini di tensione verticale e tangenziale media sulla sezione alla rottura

Edificio	Dimensioni Sezione (cm^2)	$\sigma_{f,NT}$ (MPa)	$\tau_{f,NT}$ (MPa)
B01_NT	100 x 15	0.21	0.35
B02_NT	100 x 29	0.13	0.30
B03_NT	100 x 32	0.14	0.34
B04_NT	90 x 35	Flexural Failure	
B05_NT	90 x 32	0.34	0.30
B06_NT	100 x 30	0.17	0.25
B07_NT	100 x 29	0.22	0.09
B08_NT	100 x 31	0.14	0.14

IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

GRAZIE DELL'ATTENZIONE

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Prof. Ing. Marco Savoia

marco.savoia@unibo.it

University of Bologna
DICAM – Department of Civil, Chemical, Environmental and Materials Engineering
www.dicam.unibo.it

IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI