

**ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

---

**SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA**

*DICAM – Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali*

*CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE*

**TESI DI LAUREA**

in  
Scienza delle Costruzioni T

**L'INFLUENZA DELLA PRECOMPRESIONE DELLA PROVA A TAGLIO  
DI CAMPIONI IN MURATURA: UNO STUDIO SPERIMENTALE**

CANDIDATO  
MARCO AMATO

RELATORE:  
Prof.ssa Ing. CRISTINA GENTILINI

CORRELATORI  
Prof. Ing. STEFANO DE MIRANDA  
Dott. Ing. ANTONIO MARIA D'ALTRI

Anno Accademico 2015/2016

Sessione II



# Indice

<b>1. Introduzione .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Materiali e metodi .....</b>	<b>5</b>
2.1 Labels.....	5
2.2 Laterizi.....	6
2.2.1 Modulo elastico.....	6
2.3 Malte.....	8
2.3.1 Resistenza a flessione e compressione.....	9
2.3.2 Modulo elastico.....	11
2.4 Triplette .....	12
2.4.1 Resistenza a taglio.....	12
<b>3. Risultati sperimentali.....</b>	<b>17</b>
3.1 Laterizi.....	17
3.1.1 Modulo elastico.....	17
3.1.1.1 Rosso Vivo .....	17
3.1.1.2 Giallo Vivo .....	21
3.1.2 Analisi dei risultati .....	29
3.2 Malte .....	30
3.2.1 Resistenza a flessione e compressione.....	30
3.2.1.1 M2.5 .....	30
3.2.1.2 M10 .....	35
3.2.2 Modulo elastico.....	42
3.2.2.1 M2.5 .....	42
3.2.2.2 M10 .....	51
3.2.3 Analisi dei risultati .....	57
3.3 Triplette .....	58
3.3.1 Resistenza a taglio.....	58
3.3.1.1 M2.5 .....	59

---

3.3.1.2 M10 .....	90
3.3.2 Analisi dei risultati .....	125
<b>4. Conclusioni .....</b>	<b>127</b>
<b>5. Bibliografia .....</b>	<b>135</b>

# 1.

## Introduzione

L'attuale patrimonio edile italiano è per la sua maggior parte costruito in muratura. L'Italia, come è noto, è un territorio soggetto a frequenti azioni sismiche. Tali azioni sollecitano in maniera significativa le opere murarie, lasciando i più visibili e significativi danni lungo i giunti di malta. Pertanto è interessante approfondire il legame tra la malta e il laterizio andandone a quantificare il livello di coesione attraverso una determinata prova: la prova a taglio. Questo studio, all'interno del progetto di ricerca KISADAMA, mira a fornire dei parametri derivanti da campioni incondizionati che secondariamente saranno confrontati con i valori ottenuti da campioni posti nelle medesime condizioni ma con le porosità del tutto riempite da cristalli salini, in modo da emulare una muratura esposta alle intemperie.

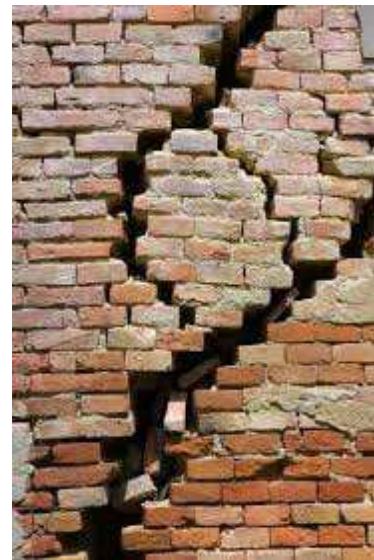
Al fine di conoscere e analizzare la muratura è opportuno innanzitutto approfondire i suoi singoli componenti: il mattone (il laterizio) e il legante (la malta). In questo studio, tramite prove sperimentali, sono state esaminate due diverse tipologie di laterizio, allo scopo di ricercarne la resistenza a compressione e il modulo elastico statico. Sono state altresì provate due tipologie diverse di malta, delle quali sono state studiate la resistenza a flessione, la resistenza a compressione e anche di queste il modulo elastico statico.

Terminata l'analisi delle singole parti, si procede studiando le triplette costituite da tre elementi di laterizio uniti con due strati di malta. Le triplette così formate saranno di due tipologie diverse, differenziate solamente dal tipo di malta. Su di esse si eseguirà la prova a taglio al fine di studiare la legge di Coulomb. In questo elaborato la legge di Coulomb è stata analizzata con i valori di precompressione e sforzo tagliante registrati al momento della rottura del campione. Si presterà particolare attenzione a come tale legame si modifichi variando la malta e a come i valori di precompressione varino durante lo svolgimento della prova stessa. È interessante ai fini dell'elaborato notare che nonostante la normativa imponga precisi valori per la precompressione, durante la prova tali valori non rimangano invariati.

---



a)



b)



c)

*Figura 1.1 a, b, c – Esempi di murature danneggiate da azioni sismiche*

Foto prese dai seguenti siti web:

- a) [http://www.di-gregorio.it/sul\\_terremoto.html](http://www.di-gregorio.it/sul_terremoto.html)
- b) <http://www.giordano.it/p73-c537-t4-indagini-in-opera-su-edifici-soggetti-al-sisma-del-terremoto.php>
- c) <http://www.monitoraggiofessure-mg.it/index.php?fbl=a3>

## 2.

# Materiali e metodi

Per poter studiare correttamente una muratura è importante conoscere i materiali che la compongono. Il laterizio è della gamma Vivo della SanMarco. Da tale gamma sono stati selezionati il Rosso Vivo e il Giallo Vivo. Per quanto riguarda le malte, invece, è stata scelta la MS20 e la MM100 prodotte dalla Fassa Bortolo. Per avere un'idea del comportamento d'insieme si proveranno a taglio le triplette di Rosso Vivo combinate con i due tipi di malta a tre livelli distinti di precompressione.

## 2.1 Labels

Per attribuire un nome ai campioni sono state elaborate delle labels.

Quelle per le triplette rispettano il seguente schema:

R\_Mx\_y\_1

Dove:

- “R” indica lo stato del campione: sano (R-Reference)
- “Mx” indica la malta utilizzata: M10 oppure M2.5
- “y” indica lo stato di precompressione: 0,2 MPa, 0,6 MPa, oppure 1,0 MPa
- “1” è il numero progressivo, contatore del campione provato

Per i prismi di laterizio:

R\_Y\_2

Dove:

- “R” indica lo stato del campione: sano (R-Reference)
- “Y” indica il colore: giallo (Y-Yellow) o rosso (R-Red)
- “2” è il numero progressivo, contatore del campione provato

Per i prismi di malta:

R\_Mx\_E\_2

Dove:

- “R” indica lo stato del campione: sano (R-Reference)
- “Mx” indica il tipo di malta: M10 oppure M2.5
- “E” indica la prova eseguita: modulo elastico (E) oppure flessione e compressione (FC)
- “2” è il numero progressivo, contatore del campione provato

## 2.2 Laterizi

Sui prismi di laterizio la verifica che viene fatta è quella della conformità del materiale con la scheda tecnica allegata, quindi modulo elastico e resistenza a compressione. Tale verifica viene effettuata conformemente alla norma UNI EN 14580:2005.

### 2.2.1 Modulo elastico

Il modulo elastico è determinato partendo da una prova di compressione uniaxiale. Per calcolarlo è necessario selezionare almeno sei campioni da una partita omogenea. Il campione, scelto di forma prismatica, deve avere i lati che rispettano il seguente schema:

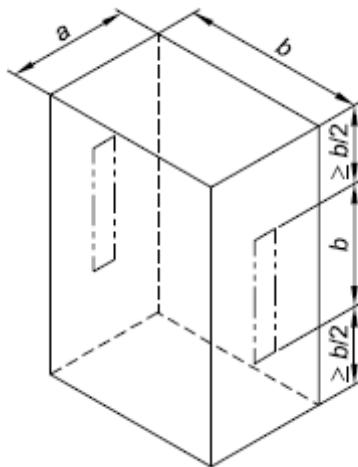
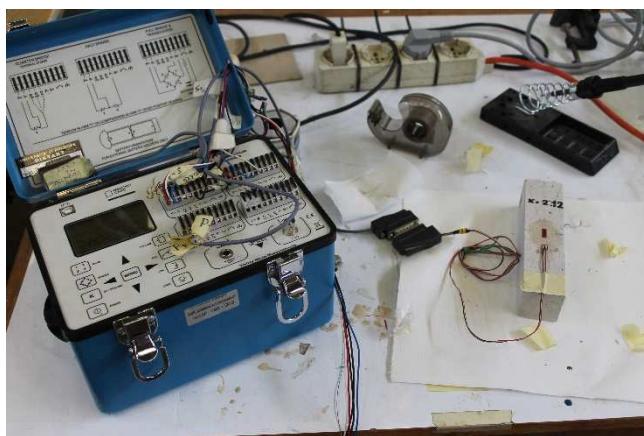


Figura 2.1 - Dimensioni del campione di laterizio

Dove “a” è minimo 50 mm, “b” deve essere per forza maggiore o uguale ad “a” e l’altezza del prisma deve essere due volte il valore “b”. Una volta ottenuto il prisma delle dimensioni che ci interessano si prosegue con la preparazione del campione alla prova. La prima cosa da fare è rendere piane le due sezioni orizzontali per evitare concentrazioni di tensione in fase di compressione. Tali sezioni, su cui verrà applicato il carico, devono essere piane con tolleranza di 0,1 mm e non devono perdere l’ortogonalità di più di 0,01 radianti o 1 mm in 100 mm rispetto all’asse del campione. Le restanti superfici è sufficiente che siano levigate per evitare irregolarità. Se il campione manifesta un piano di anisotropia, gli assi del campione devo essere perpendicolari al piano principale di anisotropia. I campioni devono essere asciugati, prima della prova, in forno a  $70 \pm 5^{\circ}\text{C}$  fino a ottenere una massa costante. La massa sarà considerata costante quando la variazione di peso nell’arco di  $24 \pm 2$  ore è minore del 0,1 %. Al centro di due sezioni verticali, scelte arbitrariamente purchè siano tra loro parallele, saranno applicati degli estensimetri.

Un estensimetro è un oggetto sensibile alle deformazioni. La centralina ad esso collegato misura indirettamente la deformazione, perché un estensimetro è una resistenza elettrica. Quindi ciò che realmente viene misurato è una variazione di resistenza che la centralina restituisce come variazione di lunghezza su lunghezza iniziale, quindi una deformazione.



*Figura 2.2 - Centralina estensimetrica e campione strumentato*

Gli estensimetri da usare devono avere una lunghezza di misurazione di almeno 50 mm e una sensibilità massima di  $5 \text{ m/m} \times 10^{-6}$  in grado di fornire indicazioni continue della variazione lungo il tratto di misurazione. Una volta terminata la preparazione dei campioni si procede con la prova.

---

La prova viene eseguita con una macchina universale Galdabini a controllo elettrico con una portata di 100 kN. La prova prevede cicli di carico scarico da  $\sigma_u$  (2% del valore di rottura) a  $\sigma_o$  (33% del valore di rottura) alla velocità di  $1 \text{ kN/s}$ . Tali cicli saranno due, sostando solamente al termine del secondo ciclo per 30 secondi a  $\sigma_o$ , poi si risale a  $\sigma_u$  si sosta altri 30 secondi e infine si va a rottura. Tale procedimento è riassunto in Figura 2.3.

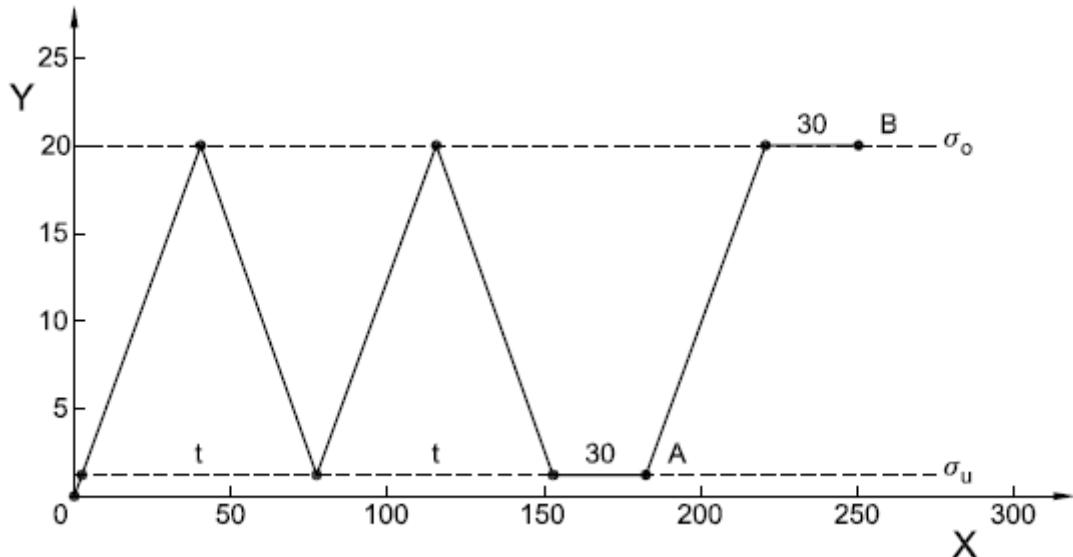


Figura 2.3 - Schema di carico per i laterizi

Il valore della resistenza a compressione sarà il valore massimo registrato dalla macchina. Il modulo elastico viene calcolato dividendo la differenza di tensione di  $\sigma_u$  e  $\sigma_o$  per le relative differenze di deformazioni lette nell'ultimo percorso di carico:

$$E = \frac{\sigma_o - \sigma_u}{\varepsilon_o - \varepsilon_u}$$

## 2.3 Malte

Sui prismi di malta la verifica che viene fatta è, anche in questo caso, quella della conformità del materiale con la scheda tecnica allegata, quindi modulo elastico, resistenza a compressione e resistenza a flessione. La verifica del modulo elastico avviene secondo la norma UNI EN 13412:2003 mentre quella della resistenza a compressione e flessione secondo la UNI EN 196-1:2005.

### 2.3.1 Resistenza a flessione e compressione

Applicando la UNI EN 196-1:2005, i campioni dovranno essere prismatici e dovranno avere le dimensioni di  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$  e dovranno essere composti da: 3 parti di sabbia CEN standard, mezza di acqua e una di cemento. Il rapporto acqua/cemento è 0,5. Ogni partita di campioni deve essere costituita da: 450 g di cemento, 1350 grammi di sabbia e 225 g di acqua. Il tutto è miscelato da un'apposita macchina. Prima si mischiano acqua e cemento poi viene inserita gradualmente la sabbia. Una volta ottenuto l'impasto desiderato va versato negli appositi stampi. I campioni sono scelti dalla stessa partita e conservati in un'atmosfera umida per 24 h e dopo la sformatura vengono conservati in acqua fino al momento della prova. Nel laboratorio ci devono essere  $20 \pm 2$  °C ed un'umidità relativa non minore del 50%. Per questa prova il campione non va strumentato. L'attrezzatura necessaria è la Galdabini universale (la stessa usata per il modulo elastico del laterizio) aggiungendo però un apposito comprimitore, per il materiale in modo da permettere correttamente la prova a flessione. Tale sostegno è costituito da due appoggi inferiori a sezione cilindrica con raggio di 10 mm in modo da rendere il contatto puntuale. Sarà ugualmente a sezione cilindrica di 10 mm l'elemento che sollecita il materiale. I tre piani verticali attraverso gli assi dei cilindri devono rimanere paralleli, equidistanti e normali alla direzione del provino durante tutta la durata del test.



Figura 2.4 - Galdabini strumentata per la prova a flessione

Il campione viene centrato tra gli appoggi, che saranno distanti tra loro 100 mm essendo il campione lungo 160 mm lo sporto sarà di 30 mm per parte. La velocità di carico è  $50 \text{ N/s}$ . La resistenza a flessione si calcola, secondo la normativa, con la seguente formula:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b^3}$$

Dove:

- $R_f$  è la resistenza a flessione, in megapascal
- $F_f$  è la forza a cui il provino si rompe, in newton
- $l$  è la distanza tra gli appoggi, in millimetri
- $b$  è la dimensione della sezione, in millimetri

Nel nostro caso  $l = 100 \text{ mm}$  e  $b = 40 \text{ mm}$ .

Secondariamente, i due spezzoni derivanti dalla flessione vengono rotti a compressione. La prova di compressione viene eseguita applicando un carico in direzione verticale, nonché normale al piano di prova e ben centrato rispettivamente alla sezione del campione. La piastra

---

---

tra cui verrà inserito il provino deve essere piana e liscia. La velocità di carico è  $200 \text{ N/s}$ . La resistenza a compressione si calcola, secondo la normativa, con la seguente formula:

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

Dove  $R_f$  è la resistenza a compressione in megapascal e  $F_c$  è la forza a cui il provino si rompe in newton.

### 2.3.2 Modulo elastico

Applicando la UNI EN 13412:2007, i campioni dovranno essere prismatici e dovranno avere le dimensioni di  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ . Su due sezioni verticali, scelte arbitrariamente purchè siano tra loro parallele, saranno applicati degli estensimetri. Gli estensimetri da usare devono avere una lunghezza di misurazione di almeno 50 mm e una sensibilità massima di  $50 \mu\text{m}/\text{m}$  in grado di fornire indicazioni continue della variazione lungo il tratto di misurazione. La prova viene eseguita sempre con la Galdabini universale. In laboratorio ci deve essere una temperatura di  $21 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  e un'umidità relativa del  $60 \pm 10 \text{ \%}$ . I costituenti del prodotto da provare devono essere mantenuti in tali condizioni almeno per 24 h prima della miscelazione. Il materiale miscelato viene poi messo negli stampini e portato a maturazione e rimosso dallo stampo dopo 24 h. La normativa prevede due metodi diversi per eseguire la prova. Il metodo 1 risulta idoneo per materiali con caratteristiche di elevato scorrimento viscoso, tipiche dei prodotti contenenti leganti polimerici. Il metodo 2 è per materiali con basso scorrimento viscoso, tipico dei prodotti contenenti leganti polimerici modificati e cementizi. Il metodo 1 calcola il modulo elastico basandosi sullo sforzo di compressione richiesto per ridurre la lunghezza del tratto utile del provino dello 0,2% con una presollecitazione pari circa al 10% della forza prevista per una deformazione di compressione di 0,002. Il metodo 2, invece, determina il modulo elastico mediante la variazione di deformazione che avviene nel provino quando è caricato fino a produrre una sollecitazione pari a  $0,5 \text{ N/mm}^2 (\sigma_u)$  e un terzo della resistenza a compressione ( $\sigma_c$ ). La prova prevede cicli di carico scarico da  $\sigma_u$  a  $\sigma_o$  (33% del valore di rottura) alla velocità di  $0,6 \text{ MPa/s}$  cioè  $960 \text{ N/s}$ . Tali cicli saranno tre, con una sosta al termine di ogni tratto per 30 secondi, per poi risalire fino a rottura. Tale procedimento è riassunto in Figura 2.26.

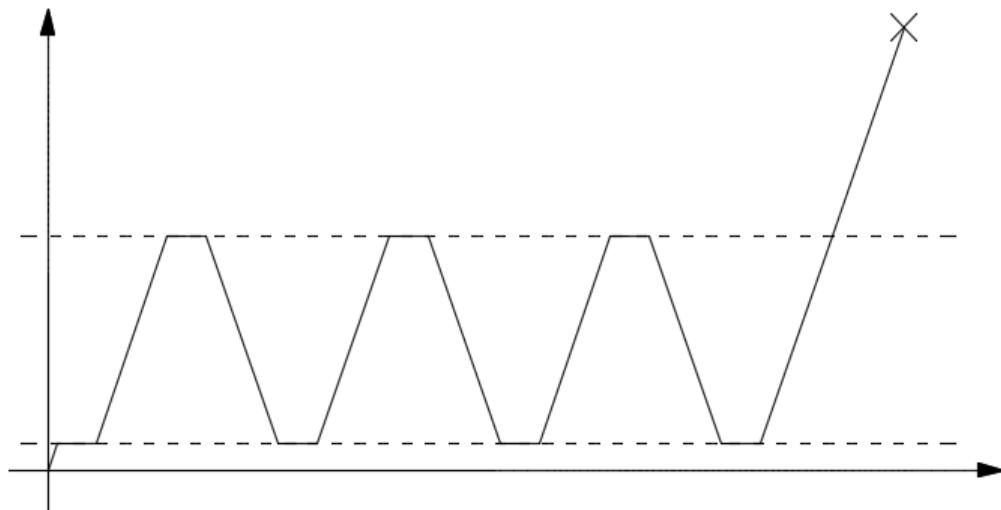


Figura 2.5 - Schema di carico per le malte

Il valore della resistenza a compressione sarà il carico massimo registrato dalla macchina. Il modulo elastico viene calcolato dividendo la differenza di tensione di  $\sigma_u$  e  $\sigma_o$  per le relative differenze di deformazioni lette nell'ultimo percorso di scarico:

$$E = \frac{\sigma_o - \sigma_u}{\varepsilon_o - \varepsilon_u}$$

## 2.4 Triplette

Le triplette vengono provate a taglio. Lo sforzo è applicato nel laterizio centrale in direzione dei giunti di malta. Tale prova viene eseguita per verificare la qualità dell'unione malta mattone. La normativa di riferimento è la UNI EN 1052-3:2007.

### 2.4.1 Resistenza a taglio

La prova è svolta applicando il carico nell'elemento centrale della tripletta, gli estremi fungeranno come punti di appoggio. L'esito sarà considerato valido se la rottura ottenuta rientra nei modelli indicati in Figura 2.6

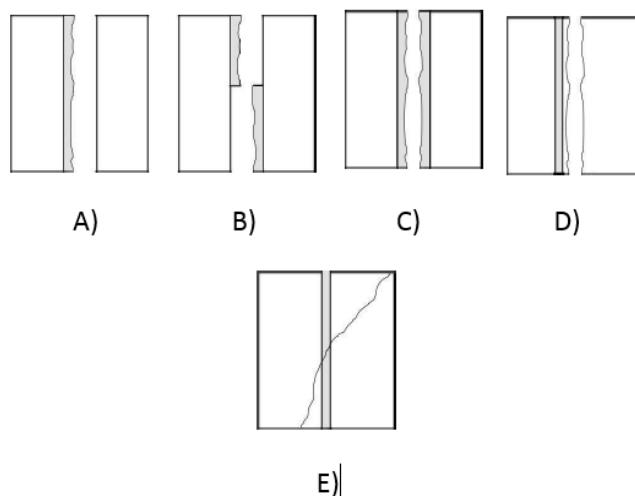


Figura 2.6 - Rotture concesse

La norma prevede due procedimenti: il procedimento A e B. Il procedimento A consiste nell'eseguire le prove a diversi livelli di precompressione. Il B, invece, prova i campioni a precompressione zero. Nel procedimento A lo sforzo di taglio iniziale sarà determinato attraverso la retta di regressione dei punti ottenuti, nel procedimento B sarà semplicemente l'esito del trattamento statistico dei dati ottenuti. La prova sarà eseguita con la Galdabini (la stessa usata per le prove precedenti) con l'aggiunta di un apposito comprimitore per il campione in modo da permettere correttamente la prova. Tale sostegno è costituito da due appoggi inferiori e un coltello superiore che applicherà il carico al campione. Per misurare l'abbassamento dell'elemento durante la prova abbiamo installato degli LVDT. La scala della macchina deve essere cinque volte superiore al carico massimo previsto dalla prova. Per preparare un campione di tipo I se una delle due dimensioni del laterizio è inferiore ai 300 mm allora l'altra sarà uguale, altresì se una delle due è superiore ai 300 mm allora l'altra deve essere compresa tra i 300 e i 350 mm. Se invece lo spessore del mattone è uguale o superiore ai 200 mm abbiamo un campione di tipo II. La tripletta viene preparata unendo il mattone con una malta impastata non più di un'ora prima, salvo in caso di malte appositamente concepite per essere lavorate per più lunghi periodi. Al termine della sua preparazione la superficie del campione deve essere priva di polvere e deve essere adagiata su una superficie piana e pulita. Il giunto di malta deve essere tra gli 8 e i 15 mm se stiamo parlando di una muratura convenzionale, altrimenti deve essere tra gli 1 e i 3 mm se stiamo parlando di una muratura a giunti sottili. L'assemblaggio termina con l'allineamento dei mattoni e la rimozione della malta

in eccesso. Immediatamente dopo aver assemblato la tripletta si deve applicare un carico verticale uniformemente distribuito compreso tra i  $2,0 \times 10^{-3} N/mm^2$  e i  $5,0 \times 10^{-3} N/mm^2$ . Dopodiché si deve mettere il campione in un'area indisturbata fino al test, assicurandosi che il campione non si asciughi, pertanto va coperto con un pezzo di polietilene. Il periodo di maturazione è indicativamente di 28 giorni. Si deve appoggiare il campione nella macchina assicurandosi che i punti di appoggio siano grandi a sufficienza per garantirne un completo contatto. I due punti di appoggio non devono toccare il giunto di malta ma devono rimanere sui mattoni esterni. Mentre l'elemento pressante deve insistere solo sul mattone centrale.

- Procedura A

Se il mattone ha una resistenza a compressione superiore ai 10 MPa useremo range di precompressione di 0,2MPa il primo, 0,6 MPa il secondo e infine 1,0 MPa il terzo. Tali valori non devono discostarsi dal 2% del loro valore iniziale. Se invece la resistenza del mattone è inferiore al 10 MPa i range saranno 0,1 MPa, 0,3 MPa e 0,5 MPa. Tale precompressione sarà data chiudendo il campione tra due piastre metalliche che saranno tenute insieme da barre filettate strette con bulloni fino alla pressione desiderata.

- Procedura B

Questa procedura prevede di testare i sei campioni alla precompressione di 0 MPa.

La velocità di carico deve essere compresa tra  $0,1 \text{ MPa}/\text{min}$  e  $0,4 \text{ MPa}/\text{min}$  indifferentemente dalla procedura scelta.



*Figura 2.7 - Campione strumentato per la prova a taglio*



## 3.

# Risultati sperimentali

## 3.1 Laterizi

### 3.1.1 Modulo elastico

#### 3.1.1.1 Rosso Vivo

Dalla scheda tecnica si osserva il valore di rottura pari a  $\sigma_c = 18 \text{ MPa}$ , quindi le due sigma saranno, ipotizzando l'area della sezione  $A = 3000 \text{ mm}^2$ :

$$\sigma_u = 18 \cdot 0,02 = 0,36 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o = 18 \cdot 0,33 = 5,94 \text{ MPa}$$

Moltiplicando le due tensioni per l'area ipotizzata della sezione si ottengono i valori da utilizzare nella macchina, dato che questa funziona con le forze e non con le pressioni:

$$P_u = \sigma_u \cdot A = 0,36 \cdot 3 = 1,08 \text{ kN}$$

$$P_0 = \sigma_o \cdot A = 5,94 \cdot 3 = 17,82 \text{ kN}$$

- ***R\_R\_I***

Misurando col calibro il campione si determinano le dimensioni della sezione:

$$a = 62,29 \text{ mm}$$

$$b = 53,67 \text{ mm}$$

Si può così procedere col calcolo dell'area:

$$A = a \cdot b = 62,29 \cdot 53,67 = 3343,10 \text{ mm}^2$$

---

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	54,22 kN
$P_o$	18,04 kN
$P_u$	1,18 kN
$\varepsilon_o$	0,080081
$\varepsilon_u$	0,006821

Tabella 3.1 - Risultati R\_R\_1

Quindi il valore massimo della tensione sarà:

$$\sigma_{MAX} = \frac{P_{MAX}}{A} = \frac{54220}{3343,10} = 16,22 MPa$$

I due valori di tensione presi come riferimento per la determinazione del modulo elastico sono:

$$\sigma_o = \frac{P_o}{A} = \frac{18040}{3343,10} = 5,394877 MPa$$

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A} = \frac{1180}{3343,10} = 0,354381 MPa$$

Si può quindi calcolare i modulo elastico:

$$E = \frac{\sigma_o - \sigma_u}{\varepsilon_o - \varepsilon_u} = \frac{5,394877 - 0,354381}{0,080081 - 0,006821} \cdot 10^{-1} = 6,88 GPa$$

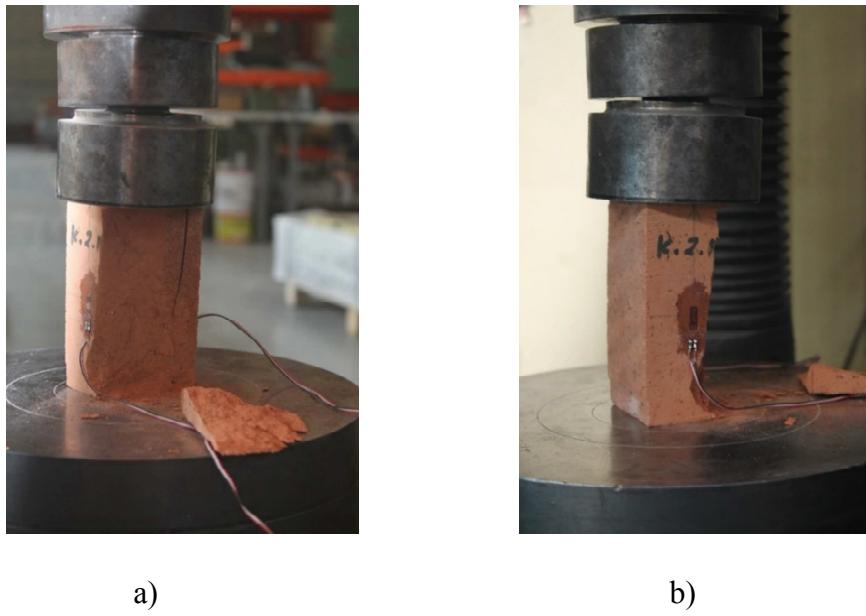


Figura 3.1 a,b – Campione R\_R\_1

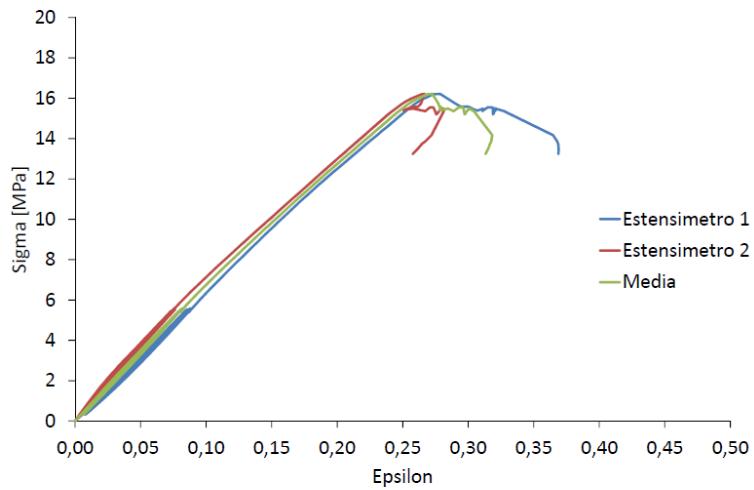


Figura 3.2 – Diagramma sigma epsilon per il campione R\_R\_1

- **R\_R\_2**

Misurando col calibro il campione vengono determinate le dimensioni della sezione e la sua area:

$$a = 62,72 \text{ mm}$$

$$b = 55,38 \text{ mm}$$

Si può così procedere col calcolo dell'area:

$$A = a \cdot b = 62,72 \cdot 55,38 = 3473,43 \text{ mm}^2$$

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	56,25 kN
$P_o$	17,57 kN
$P_u$	1,15 kN
$\varepsilon_o$	0,081919
$\varepsilon_u$	0,007084

Tabella 3.2 – Risultati R\_R\_2

Il valore massimo della tensione sarà:

$$\sigma_{MAX} = \frac{P_{MAX}}{A} = \frac{56,25}{3473,43} = 16,19 \text{ MPa}$$

I due valori di tensione presi come riferimento per la determinazione del modulo elastico sono:

$$\sigma_o = \frac{P_o}{A} = \frac{17570}{3473,43} = 5,056827 \text{ MPa}$$

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A} = \frac{1150}{3473,43} = 0,332247 \text{ MPa}$$

Si può quindi calcolare il modulo elastico:

$$E = \frac{\sigma_o - \sigma_u}{\varepsilon_o - \varepsilon_u} = \frac{5,056827 - 0,332247}{0,081919 - 0,007084} \cdot 10^{-1} = 6,31 \text{ GPa}$$

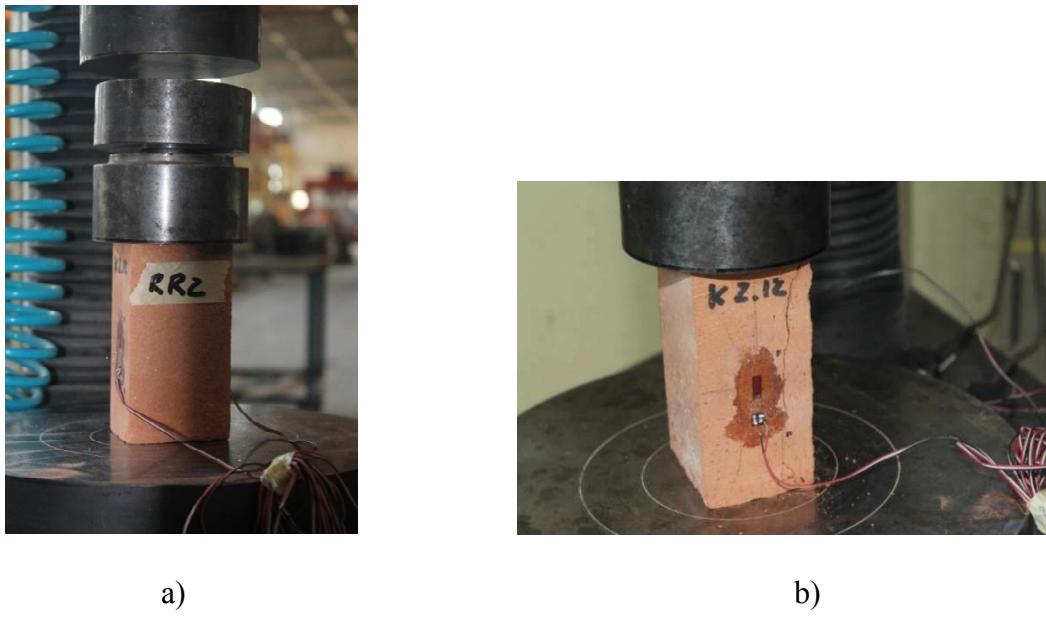


Figura 3.3 a, b - Campione R\_R\_2

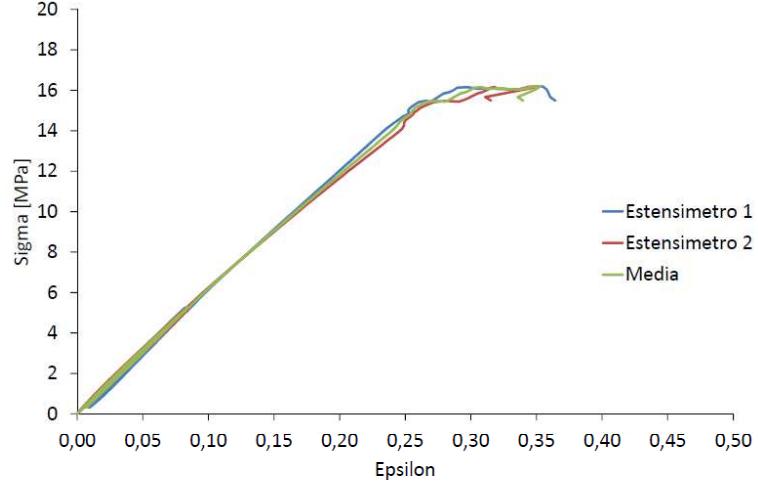


Figura 3.4 - Diagramma sigma epsilon per il campione R\_R\_2

### 3.1.1.2 Giallo Vivo

Dalla scheda tecnica si osserva il valore di rottura pari a  $\sigma_c = 22 \text{ MPa}$  quindi le due sigma saranno, ipotizzando l'area della sezione  $A = 3000 \text{ mm}^2$ :

$$\sigma_u = 22 \cdot 0,02 = 0,44 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o = 22 \cdot 0,33 = 7,26 \text{ MPa}$$

Moltiplicando le due tensioni per l'area ipotizzata della sezione si ottengono i valori che verranno usati nella macchina, dato che questa funziona con le forze e non con le pressioni:

$$P_u = \sigma_u \cdot A = 0,44 \cdot 3 = 1,32 \text{ kN}$$

$$P_0 = \sigma_0 \cdot A = 7,26 \cdot 3 = 21,78 \text{ kN}$$

- ***R\_Y I***

Misurando col calibro il campione vengono determinate le dimensioni della sezione e la sua area:

$$a = 62,41 \text{ mm}$$

$$b = 54,99 \text{ mm}$$

Si può così procedere col calcolo dell'area:

$$A = a \cdot b = 62,41 \cdot 54,99 = 3431,93 \text{ mm}^2$$

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	64,78 kN
$P_o$	21,75 kN
$P_u$	1,04 kN
$\varepsilon_o$	0,060565
$\varepsilon_u$	0,003476

Tabella 3.3 - Risultati R\_Y\_I

Il valore massimo della tensione sarà:

$$\sigma_{MAX} = \frac{P_{MAX}}{A} = \frac{64,78}{3,43193} = 18,87 \text{ MPa}$$

I due valori di tensione presi come riferimento per la determinazione del modulo elastico sono:

$$\sigma_o = \frac{P_o}{A} = \frac{21750}{3431,93} = 6,337879 \text{ MPa}$$

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A} = \frac{1040}{3431,93} = 0,30393 \text{ MPa}$$

Si può quindi calcolare i modulo elastico:

$$E = \frac{\sigma_o - \sigma_u}{\varepsilon_o - \varepsilon_u} = \frac{6,337879 - 0,30393}{0,060565 - 0,003476} \cdot 10^{-1} = 10,57 \text{ GPa}$$

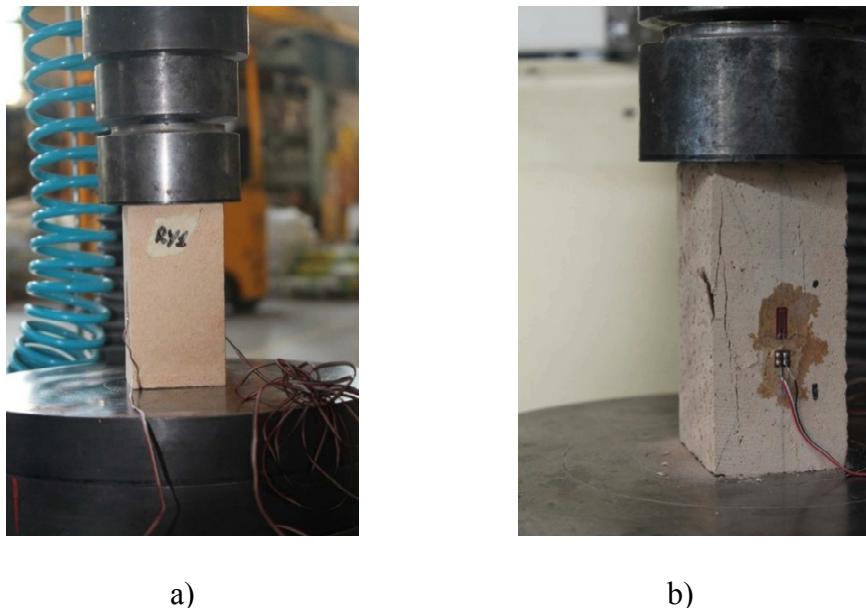


Figura 3.5 a, b - Campione R\_Y\_1

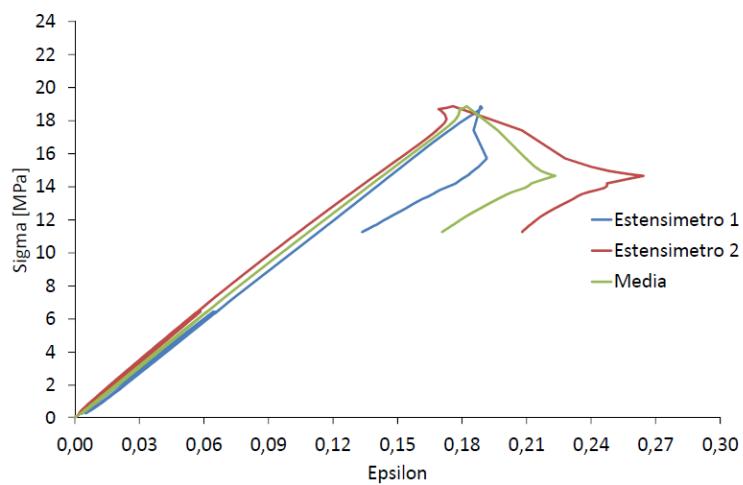


Figura 3.6 - Diagramma sigma epsilon per il campione R\_Y\_1

- **R\_Y\_2**

Misurando col calibro il campione vengono determinate le dimensioni della sezione e la sua area:

$$a = 61,92 \text{ mm}$$

$$b = 54,24 \text{ mm}$$

Si può così procedere col calcolo dell'area:

$$A = a \cdot b = 61,92 \cdot 54,24 = 3358,54 \text{ mm}^2$$

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	68,29 kN
$P_o$	21,83 kN
$P_u$	1,07 kN
$\varepsilon_o$	0,040588
$\varepsilon_u$	0,001932

Tabella 3.4 - Risultati R\_Y\_2

Il valore massimo della tensione sarà:

$$\sigma_{MAX} = \frac{P_{MAX}}{A} = \frac{68,29}{3,35854} = 20,33 \text{ MPa}$$

I due valori di tensione presi come riferimento per la determinazione del modulo elastico sono:

$$\sigma_o = \frac{P_o}{A} = \frac{21830}{3358,54} = 6,498988 \text{ MPa}$$

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A} = \frac{1070}{3358,54} = 0,318791 \text{ MPa}$$

Si può quindi calcolare il modulo elastico:

$$E = \frac{\sigma_o - \sigma_u}{\varepsilon_o - \varepsilon_u} = \frac{6,498988 - 0,318791}{0,040588 - 0,001932} \cdot 10^{-1} = 15,99 \text{ GPa}$$

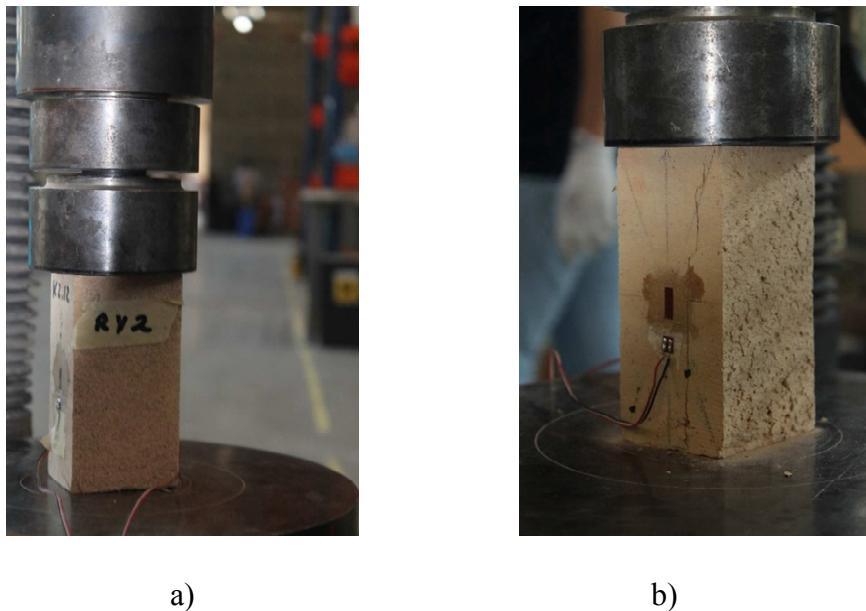


Figura 3.7 a, b - Campione R\_Y\_2

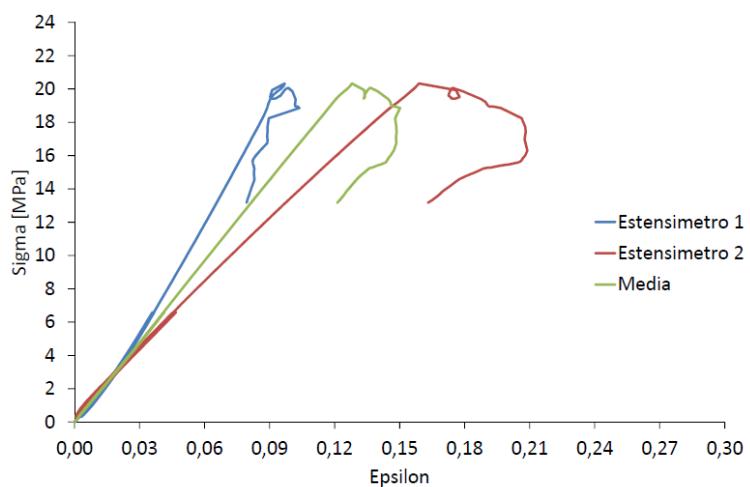


Figura 3.8 – Diagramma sigma epsilon per il campione R\_Y\_2

Note: I diagrammi di deformazione riportati dai due estensimetri non sono simili, si discostano.

- **R\_Y\_3**

Misurando col calibro il campione vengono determinate le dimensioni della sezione e la sua area:

---

$$a = 62,85 \text{ mm}$$

$$b = 55,73 \text{ mm}$$

Si può così procedere col calcolo dell'area:

$$A = a \cdot b = 62,85 \cdot 55,73 = 3502,63 \text{ mm}^2$$

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	52,57 kN
$P_o$	17,89 kN
$P_u$	1,10 kN
$\varepsilon_o$	0,058125
$\varepsilon_u$	0,004142

Tabella 3.5 – Risultati R\_Y\_3

Il valore massimo della tensione sarà:

$$\sigma_{MAX} = \frac{P_{MAX}}{A} = \frac{52,57}{3,50263} = 15,01 \text{ MPa}$$

I due valori di tensione presi come riferimento per la determinazione del modulo elastico sono:

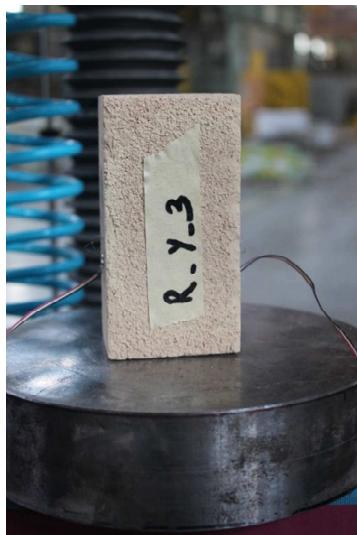
$$\sigma_o = \frac{P_o}{A} = \frac{17890}{3502,63} = 5,108348 \text{ MPa}$$

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A} = \frac{1100}{3502,63} = 0,314364 \text{ MPa}$$

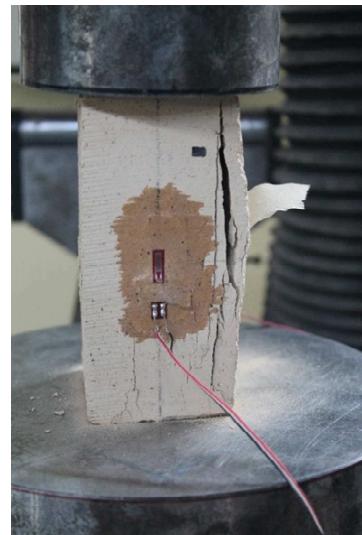
Si può quindi calcolare il modulo elastico:

$$E = \frac{\sigma_o - \sigma_u}{\varepsilon_o - \varepsilon_u} = \frac{5,108348 - 0,314364}{0,058125 - 0,004142} \cdot 10^{-1} = 8,88 \text{ GPa}$$


---



a)

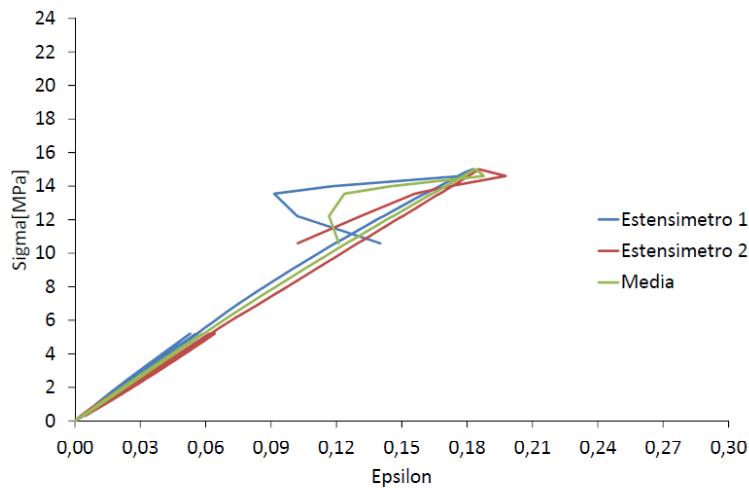


b)



c)

*Figura 3.9 a, b, c - Campione R\_Y\_3*



*Figura 3.10 - Diagramma sigma epsilon per il campione R\_Y\_3*

*Note: Il campione manifesta una rottura orizzontale generata da una tensione anomala in quanto la prova è di compressione.*

Al termine delle prove si raccolgono i dati in un'unica tabella riassuntiva:

NOME	$E [GPa]$	$\sigma_{MAX} [MPa]$
R_R_1	6,88	16,22
R_R_2	6,31	16,19
R_Y_1	10,57	18,87
R_Y_2	15,99	20,33
R_Y_3	8,88	15,01

*Tabella 3.6 - Tabella riassuntiva Vivo*

I risultati così ottenuti sono mediati per identificare un valore che caratterizzerà il materiale. In questa trattazione va però escluso il campione R\_Y\_3 in quanto la rottura anomala lo rende inattendibile.

<i>NOME</i>	$E [GPa]$	$\sigma_{MAX}[MPa]$
Rosso Vivo	6,60 ( $\pm 0,40$ )	16,20 ( $\pm 0,02$ )
Giallo Vivo	13,28 ( $\pm 3,83$ )	19,60 ( $\pm 1,03$ )

*N.B. media  $\pm$  deviazione standard*

*Tabella 3.7 - Tabella conclusiva Vivo*

### 3.1.2 Analisi dei risultati

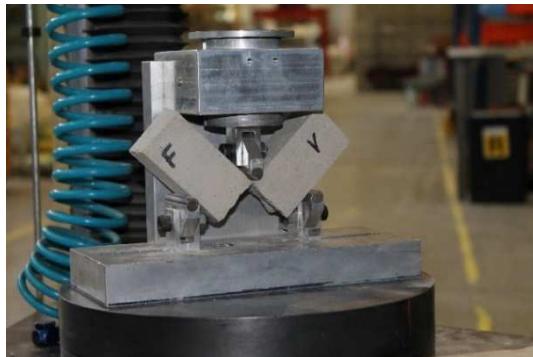
I grafici ottenuti con l'esecuzione della prova contengono tre curve distinte: due che corrispondono agli estensimetri installati sui campioni e una che è la media di queste. La prima cosa che si può notare è che la rottura avviene in fase di deformazione elastica, quindi è una rottura duttile. Una seconda, invece, è che rimane visibile nel diagramma la fase di carico-scarico, in quanto in corrispondenza di quei valori si ha un inspessimento dei tratti.

## 3.2 Malte

### 3.2.1 Resistenza a flessione e compressione

#### 3.2.1.1 M2.5

- *R\_M2.5\_FC\_1*



a)



b)

Figura 3.10 a, b -R\_M2.5\_FC\_1 provato a flessione e a compressione

Risultati della prova:

$F_f$	1305 N
$F_{c1}$	18450 N
$F_{c2}$	17500 N

Tabella 3.8 - Risultati R\_M2.5\_FC\_1

Grazie ai dati ottenuti viene calcolata la resistenza a flessione:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b^3} = \frac{1,5 \cdot 1305 \cdot 100}{40^3} = 3,06 \text{ MPa}$$

e i due valori della resistenza a compressione:

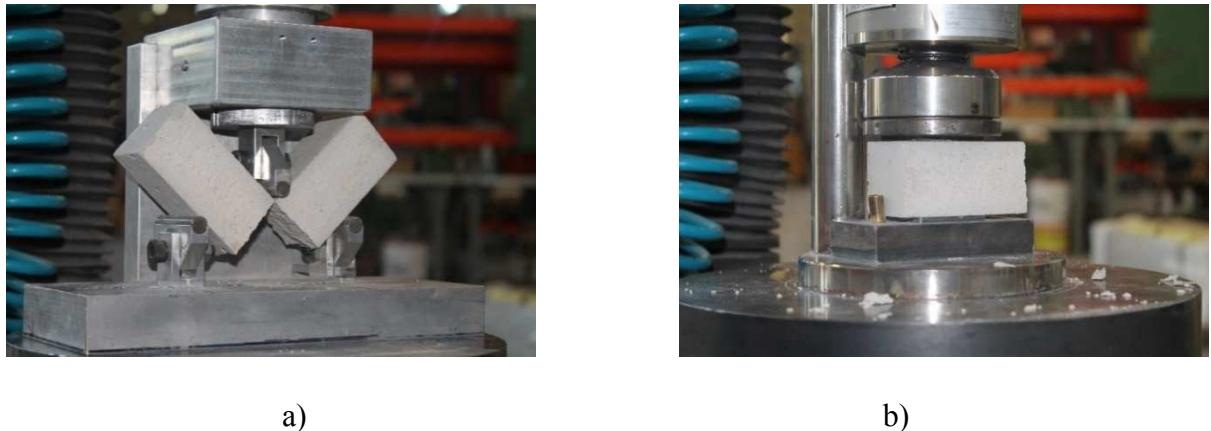
$$R_{c1} = \frac{F_{c1}}{1600} = \frac{18450}{1600} = 11,53 \text{ MPa}$$

$$R_{c2} = \frac{F_{c2}}{1600} = \frac{17500}{1600} = 10,94 \text{ MPa}$$

Il valore di resistenza a compressione del provino sarà la media della resistenza dei due spezzoni:

$$R_c = \frac{R_{c1} + R_{c2}}{2} = \frac{11,53 + 10,94}{2} = 11,23 \text{ MPa}$$

- **R\_M2.5\_FC\_2**



*Figura 3.11 a, b -R\_M2.5\_FC\_2 provato a flessione e a compressione*

Risultati della prova:

$F_f$	1053 N
$F_{c1}$	12530 N
$F_{c2}$	12630 N

*Tabella 3.9 - Risultati R\_M2.5\_FC\_2*

Grazie ai dati ottenuti viene calcolata la resistenza a flessione:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b^3} = \frac{1,5 \cdot 1053 \cdot 100}{40^3} = 2,47 \text{ MPa}$$

e i due valori della resistenza a compressione:

$$R_{c1} = \frac{F_{c1}}{1600} = \frac{12530}{1600} = 7,83 \text{ MPa}$$

$$R_{c2} = \frac{F_{c2}}{1600} = \frac{12630}{1600} = 7,89 \text{ MPa}$$

Il valore di resistenza a compressione del provino sarà la media della resistenza dei due spezzoni:

$$R_c = \frac{R_{c1} + R_{c2}}{2} = \frac{7,83 + 7,89}{2} = 7,86 \text{ MPa}$$

- ***R\_M2.5\_FC\_3***



a)



b)

*Figura 3.12 a, b - R\_M2.5\_FC\_3 provato a flessione e a compressione*

Risultati della prova:

$F_f$	988 N
$F_{c1}$	13130 N
$F_{c2}$	12850 N

*Tabella 3.10 - Risultati R\_M2.5\_FC\_3*

Grazie ai dati ottenuti viene calcolata la resistenza a flessione:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b^3} = \frac{1,5 \cdot 988 \cdot 100}{40^3} = 2,31 \text{ MPa}$$

e i due valori della resistenza a compressione:

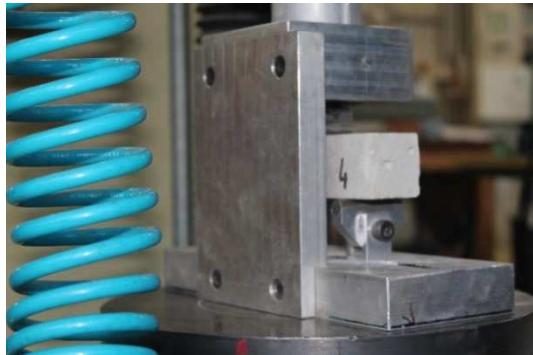
$$R_{c1} = \frac{F_{c1}}{1600} = \frac{13130}{1600} = 8,21 \text{ MPa}$$

$$R_{c2} = \frac{F_{c2}}{1600} = \frac{12850}{1600} = 8,03 \text{ MPa}$$

Il valore di resistenza a compressione del provino sarà la media della resistenza dei due spezzoni:

$$R_c = \frac{R_{c1} + R_{c2}}{2} = \frac{8,21 + 8,03}{2} = 8,21 \text{ MPa}$$

- **R\_M2.5\_FC\_4**



a)



b)

*Figura 3.13 a, b - R\_M2.5\_FC\_4 provato a flessione e a compressione*

Risultati della prova:

$F_f$	1095 N
$F_{c1}$	16770 N
$F_{c2}$	16320 N

*Tabella 3.11 - Risultati R\_M2.5\_FC\_4*

Grazie ai dati ottenuti viene calcolata la resistenza a flessione:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b^3} = \frac{1,5 \cdot 1095 \cdot 100}{40^3} = 2,57 \text{ MPa}$$

e i due valori della resistenza a compressione:

$$R_{c1} = \frac{F_{c1}}{1600} = \frac{16770}{1600} = 10,48 \text{ MPa}$$

$$R_{c2} = \frac{F_{c2}}{1600} = \frac{16320}{1600} = 10,20 \text{ MPa}$$

Il valore di resistenza a compressione del provino sarà la media della resistenza dei due spezzoni:

$$R_c = \frac{R_{c1} + R_{c2}}{2} = \frac{10,48 + 10,20}{2} = 10,34 \text{ MPa}$$

- **R\_M2.5\_FC\_5**



a)



b)

*Figura 3.14 a, b - R\_M2.5\_FC\_5 provato a flessione e a compressione*

Risultati della prova:

$F_f$	828 N
$F_{c1}$	12800 N
$F_{c2}$	13344 N

*Tabella 3.12 - Risultati R\_M2.5\_FC\_5*

Grazie ai dati ottenuti viene calcolata la resistenza a flessione:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b^3} = \frac{1,5 \cdot 828 \cdot 100}{40^3} = 1,94 \text{ MPa}$$

e i due valori della resistenza a compressione:

$$R_{c1} = \frac{F_{c1}}{1600} = \frac{12800}{1600} = 8,00 \text{ MPa}$$

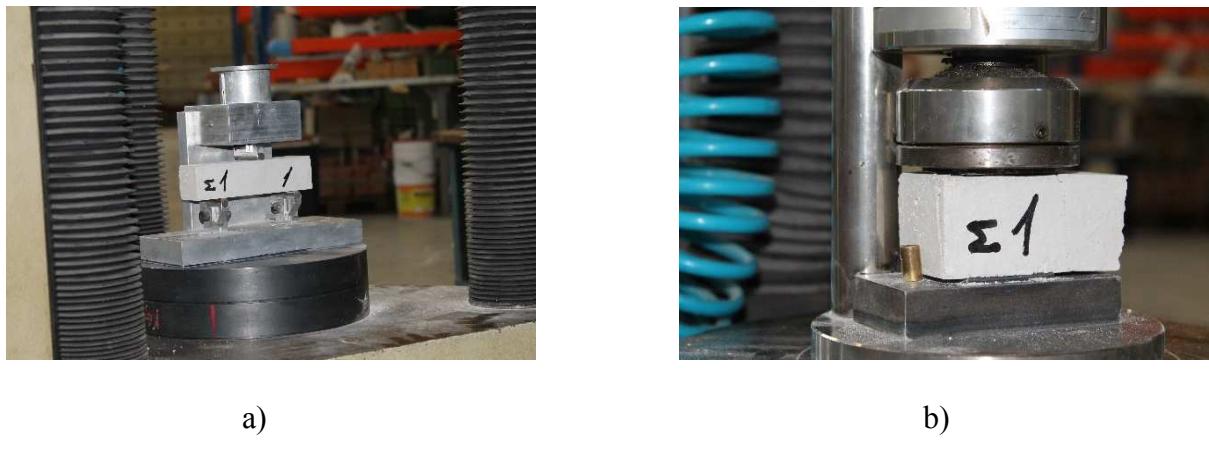
$$R_{c2} = \frac{F_{c2}}{1600} = \frac{13344}{1600} = 8,34 \text{ MPa}$$

Il valore di resistenza a compressione del provino sarà la media della resistenza dei due spezzoni:

$$R_c = \frac{R_{c1} + R_{c2}}{2} = \frac{8,00 + 8,34}{2} = 8,17 \text{ MPa}$$

### 3.2.1.2 M10

- R\_M10\_FC\_1



*Figura 3.15 a, b - R\_M10\_FC\_1 provato a flessione e a compressione*

Risultati della prova:

$F_f$	1060 N
$F_{c1}$	13930 N
$F_{c2}$	14530 N

*Tabella 3.13 - Risultati R\_M10\_FC\_1*

Grazie ai dati ottenuti viene calcolata la resistenza a flessione:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b^3} = \frac{1,5 \cdot 1060 \cdot 100}{40^3} = 2,48 \text{ MPa}$$

e i due valori della resistenza a compressione:

$$R_{c1} = \frac{F_{c1}}{1600} = \frac{13930}{1600} = 8,71 \text{ MPa}$$

$$R_{c2} = \frac{F_{c2}}{1600} = \frac{14530}{1600} = 9,08 \text{ MPa}$$

Il valore di resistenza a compressione del provino sarà la media della resistenza dei due spezzoni:

$$R_c = \frac{R_{c1} + R_{c2}}{2} = \frac{8,71 + 9,08}{2} = 8,89 \text{ MPa}$$

- **R\_M10\_FC\_2**



a)



b)

*Figura 3.16 a, b - R\_M10\_FC\_2 provato a flessione e a compressione*

Risultati della prova:

$F_f$	1253 N
$F_{c1}$	16375 N
$F_{c2}$	16450 N

*Tabella 3.14 - Risultati R\_M10\_FC\_2*

Grazie ai dati ottenuti viene calcolata la resistenza a flessione:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b^3} = \frac{1,5 \cdot 1253 \cdot 100}{40^3} = 2,94 \text{ MPa}$$

e i due valori della resistenza a compressione:

$$R_{c1} = \frac{F_{c1}}{1600} = \frac{16375}{1600} = 10,23 \text{ MPa}$$

$$R_{c2} = \frac{F_{c2}}{1600} = \frac{16450}{1600} = 10,28 \text{ MPa}$$

Il valore di resistenza a compressione del provino sarà la media della resistenza dei due spezzoni:

$$R_c = \frac{R_{c1} + R_{c2}}{2} = \frac{10,23 + 10,28}{2} = 10,26 \text{ MPa}$$

- **R\_M10\_FC\_3**



a)



b)

Figura 3.17 a, b - R\_M10\_FC\_3 provato a flessione e a compressione

Risultati della prova:

$F_f$	1078 N
$F_{c1}$	15900 N
$F_{c2}$	16700 N

Tabella 3.15 - Risultati R\_M10\_FC\_3

Grazie ai dati ottenuti viene calcolata la resistenza a flessione:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b^3} = \frac{1,5 \cdot 1078 \cdot 100}{40^3} = 2,53 \text{ MPa}$$

e i due valori della resistenza a compressione:

$$R_{c1} = \frac{F_{c1}}{1600} = \frac{15900}{1600} = 9,94 \text{ MPa}$$

$$R_{c2} = \frac{F_{c2}}{1600} = \frac{16700}{1600} = 10,44 \text{ MPa}$$

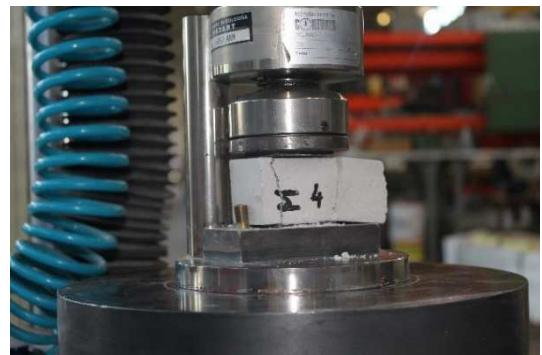
Il valore di resistenza a compressione del provino sarà la media della resistenza dei due spezzoni:

$$R_c = \frac{R_{c1} + R_{c2}}{2} = \frac{9,94 + 10,44}{2} = 10,19 \text{ MPa}$$

- **R\_M10\_FC\_4**



a)



b)

*Figura 3.18 a, b - R\_M10\_FC\_4 provato a flessione e a compressione*

Risultati della prova:

$F_f$	1473 N
$F_{c1}$	15280 N
$F_{c2}$	18660 N

*Tabella 3.16 - Risultati R\_M10\_FC\_4*

Grazie ai dati ottenuti viene calcolata la resistenza a flessione:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b^3} = \frac{1,5 \cdot 1473 \cdot 100}{40^3} = 3,45 \text{ MPa}$$

e i due valori della resistenza a compressione:

$$R_{c1} = \frac{F_{c1}}{1600} = \frac{15280}{1600} = 9,55 \text{ MPa}$$

$$R_{c2} = \frac{F_{c2}}{1600} = \frac{18660}{1600} = 11,66 \text{ MPa}$$

Il valore di resistenza a compressione del provino sarà la media della resistenza dei due pezzi:

$$R_c = \frac{R_{c1} + R_{c2}}{2} = \frac{9,55 + 11,66}{2} = 10,61 \text{ MPa}$$

*Note: Il campione manifesta una differenza molto elevata nei due valori di resistenza a compressione, relativamente agli altri campioni.*

- **R\_M10\_FC\_5**



a)



b)

Figura 3.19 a, b - R\_M10\_FC\_5 provato a flessione e a compressione

Risultati della prova:

$F_f$	1220 N
$F_{c1}$	18630 N
$F_{c2}$	18880 N

Tabella 3.17 - Risultati R\_M10\_FC\_5

Grazie ai dati ottenuti viene calcolata la resistenza a flessione:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b^3} = \frac{1,5 \cdot 1220 \cdot 100}{40^3} = 2,86 \text{ MPa}$$

e i due valori della resistenza a compressione:

$$R_{c1} = \frac{F_{c1}}{1600} = \frac{18630}{1600} = 11,64 \text{ MPa}$$

$$R_{c2} = \frac{F_{c2}}{1600} = \frac{18880}{1600} = 11,80 \text{ MPa}$$

Il valore di resistenza a compressione del provino sarà la media della resistenza dei due spezzoni:

$$R_c = \frac{R_{c1} + R_{c2}}{2} = \frac{11,64 + 11,80}{2} = 11,72 \text{ MPa}$$

- **R\_M10\_FC\_6**



a)



b)

*Figura 3.20 a, b - R\_M10\_FC\_6 provato a flessione e a compressione*

Risultati della prova:

$F_f$	1103 N
$F_{c1}$	18010 N
$F_{c2}$	17570 N

*Tabella 3.18 - Risultati R\_M10\_FC\_6*

Grazie ai dati ottenuti viene calcolata la resistenza a flessione:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b^3} = \frac{1,5 \cdot 1103 \cdot 100}{40^3} = 2,59 \text{ MPa}$$

e i due valori della resistenza a compressione:

$$R_{c1} = \frac{F_{c1}}{1600} = \frac{18010}{1600} = 11,26 \text{ MPa}$$

$$R_{c2} = \frac{F_{c2}}{1600} = \frac{17570}{1600} = 10,98 \text{ MPa}$$

Il valore di resistenza a compressione del provino sarà la media della resistenza dei due pezzi:

$$R_c = \frac{R_{c1} + R_{c2}}{2} = \frac{11,26 + 10,98}{2} = 11,12 \text{ MPa}$$

Al termine delle prove si raccolgono i dati in un'unica tabella riassuntiva:

<i>NOME</i>	$R_f$ [MPa]	$R_c$ [MPa]
R_M2.5_FC_1	3,06	11,23
R_M2.5_FC_2	2,47	7,86
R_M2.5_FC_3	2,31	8,21
R_M2.5_FC_4	2,57	10,34
R_M2.5_FC_5	1,94	8,17
R_M10_FC_1	2,48	8,89
R_M10_FC_2	2,94	10,26
R_M10_FC_3	2,53	10,19
R_M10_FC_4	3,45	10,61
R_M10_FC_5	2,86	11,72
R_M10_FC_6	2,59	11,12

*Tabella 3.19 - Tabella riassuntiva flessione e compressione malte*

I risultati così ottenuti sono mediati per identificare un valore che caratterizzerà il materiale.

<i>NOME</i>	$R_f [MPa]$	$R_c [MPa]$
M2.5	2,47 ( $\pm 0,41$ )	9,15 ( $\pm 1,54$ )
M10	2,81 ( $\pm 0,37$ )	10,46 ( $\pm 0,96$ )

*N.B. media  $\pm$  deviazione standard*

*Tabella 3.20 - Tabella conclusiva flessione e compressione malte*

### 3.2.2 Modulo elastico

#### 3.2.2.1 M2.5

Dalla scheda tecnica si osserva il valore di rottura a compressione pari a  $\sigma_c = 2,5 \text{ MPa}$  quindi le due sigma saranno, data l'area della sezione  $A = 1600 \text{ mm}^2$ :

$$\sigma_u = 0,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o = 2,5 / 3 = 0,83 \text{ MPa}$$

Moltiplicando le due tensioni per l'area ipotizzata della sezione si ottengono i valori che verranno usati nella macchina, dato che questa funziona con le forze e non con le pressioni:

$$P_u = \sigma_u \cdot A = 0,5 \cdot 1600 = 0,80 \text{ kN}$$

$$P_0 = \sigma_o \cdot A = 0,83 \cdot 1600 = 1,33 \text{ kN}$$

Essendo  $P_0$  molto prossimo a  $P_u$  scelgo di usare  $P_0 = 4 \text{ kN}$ .

- **R\_M2.5\_E\_1**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	10,21 kN
$P_o$	6,34 kN
$P_u$	0,81 kN
$\varepsilon_o$	0,057723
$\varepsilon_u$	0,011630

Tabella 3.21 - Risultati R\_M2.5\_E\_1

Il valore massimo della tensione sarà:

$$\sigma_{MAX} = \frac{P_{MAX}}{A} = \frac{10210}{1600} = 6,38 \text{ MPa}$$

I due valori di tensione presi come riferimento per la determinazione del modulo elastico sono:

$$\sigma_o = \frac{P_o}{A} = \frac{6340}{1600} = 3,964277 \text{ MPa}$$

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A} = \frac{810}{1600} = 0,507748 \text{ MPa}$$

Si può quindi calcolare il modulo elastico:

$$E = \frac{\sigma_o - \sigma_u}{\varepsilon_o - \varepsilon_u} = \frac{3,964277 - 0,507748}{0,057723 - 0,011630} \cdot 10^{-1} = 7,50 \text{ GPa}$$

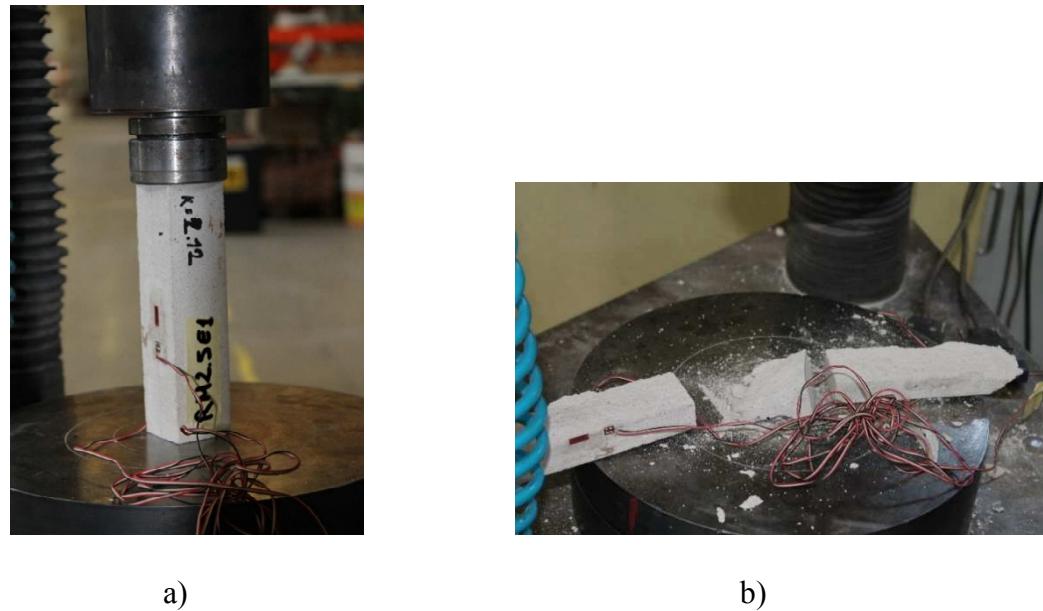
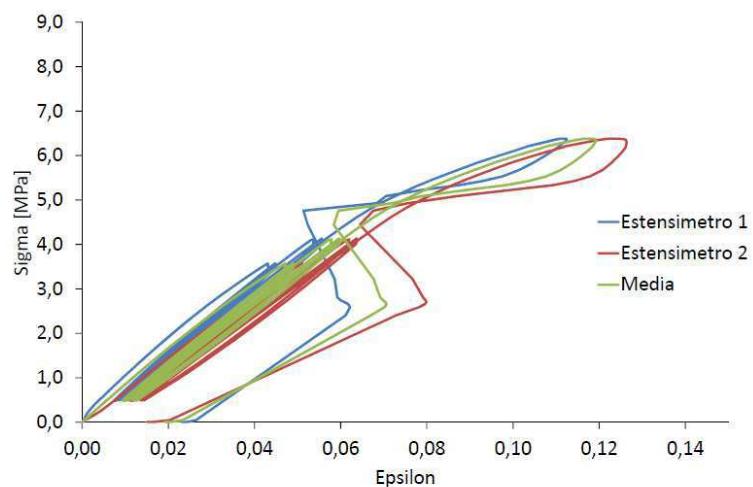


Figura 3.21 a, b - Campione R\_M2.5\_E\_1



---

Figura 3.22 - Diagramma sigma epsilon per il campione R\_M2.5\_E\_1

- **R\_M2.5\_E\_2**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	9,43 kN
$P_o$	4,04 kN
$P_u$	0,79 kN
$\varepsilon_o$	0,036488
$\varepsilon_u$	0,009614

Tabella 3.22 - Risultati R\_M2.5\_E\_2

Il valore massimo della tensione sarà:

$$\sigma_{MAX} = \frac{P_{MAX}}{A} = \frac{9430}{1600} = 5,89 \text{ MPa}$$

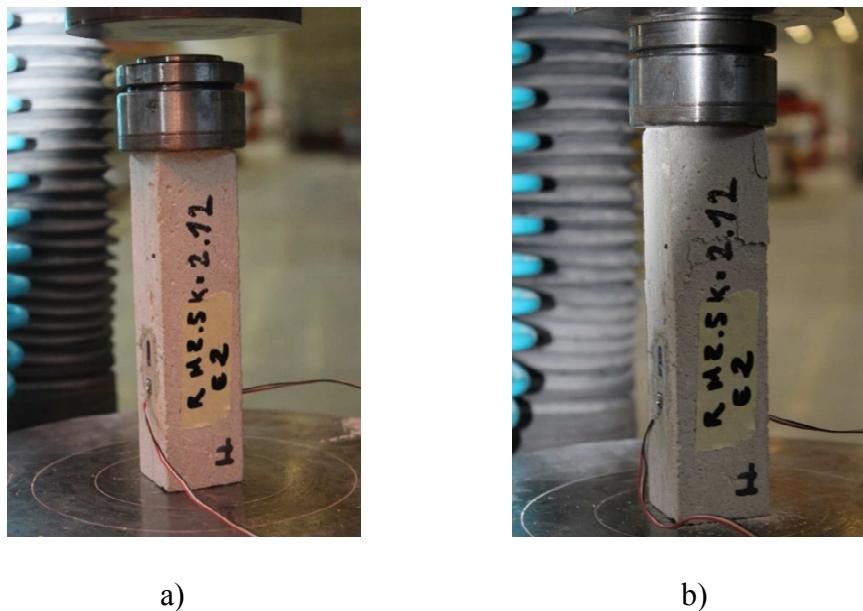
I due valori di tensione presi come riferimento per la determinazione del modulo elastico sono:

$$\sigma_o = \frac{P_o}{A} = \frac{4040}{1600} = 2,523372 \text{ MPa}$$

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A} = \frac{790}{1600} = 0,494329 \text{ MPa}$$

Si può quindi calcolare il modulo elastico:

$$E = \frac{\sigma_o - \sigma_u}{\varepsilon_o - \varepsilon_u} = \frac{2,523372 - 0,494329}{0,036488 - 0,009614} \cdot 10^{-1} = 7,55 \text{ GPa}$$



a)

b)

Figura 3.23 - Campione R\_M2.5\_E\_2

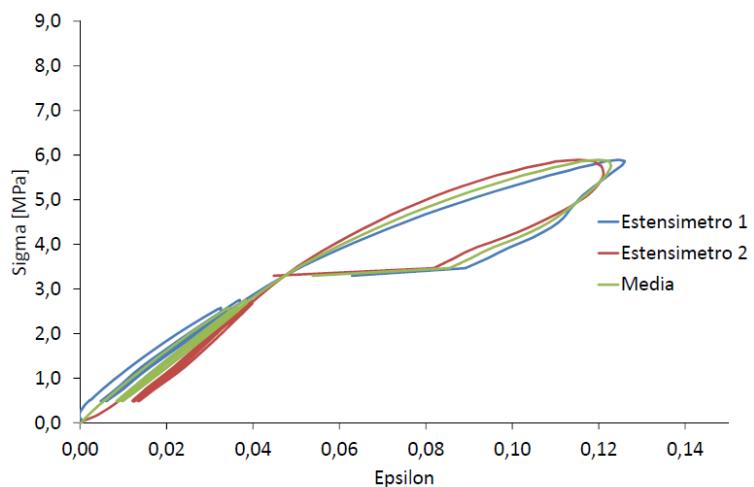


Figura 3.24 - Diagramma sigma epsilon per il campione R\_M2.5\_E\_2

- **R\_M2.5\_E\_3**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	13,00 kN
$P_o$	4,05 kN
$P_u$	0,80 kN
$\varepsilon_o$	0,022653
$\varepsilon_u$	0,005299

Tabella 3.23 - Risultati R\_M2.5\_E\_3

Il valore massimo della tensione sarà:

$$\sigma_{MAX} = \frac{P_{MAX}}{A} = \frac{13000}{1600} = 8,12 \text{ MPa}$$

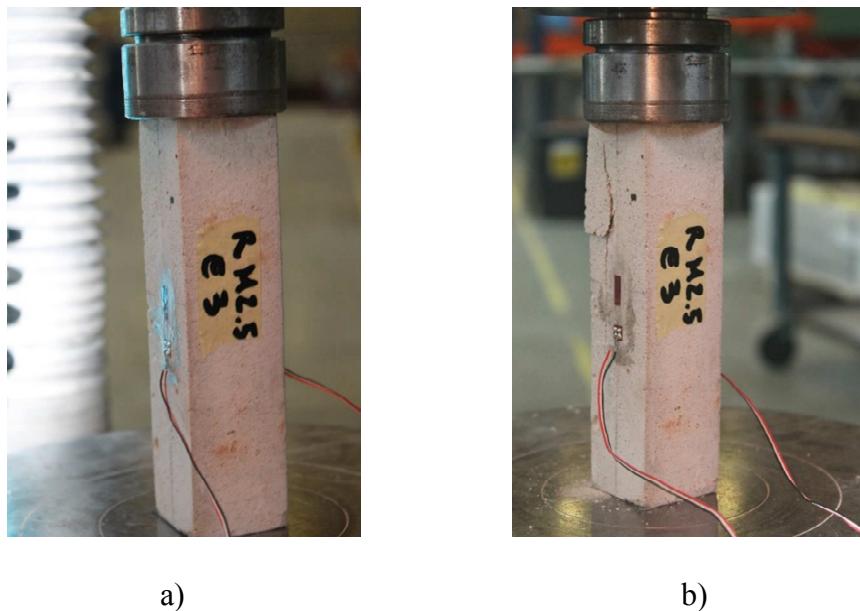
I due valori di tensione presi come riferimento per la determinazione del modulo elastico sono:

$$\sigma_o = \frac{P_o}{A} = \frac{4050}{1600} = 2,530626 \text{ MPa}$$

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A} = \frac{800}{1600} = 0,499909 \text{ MPa}$$

Si può quindi calcolare il modulo elastico:

$$E = \frac{\sigma_o - \sigma_u}{\varepsilon_o - \varepsilon_u} = \frac{2,530626 - 0,499909}{0,022653 - 0,005299} \cdot 10^{-1} = 11,70 \text{ GPa}$$



a)

b)

Figura 3.25 - Campione R\_M2.5\_E\_3

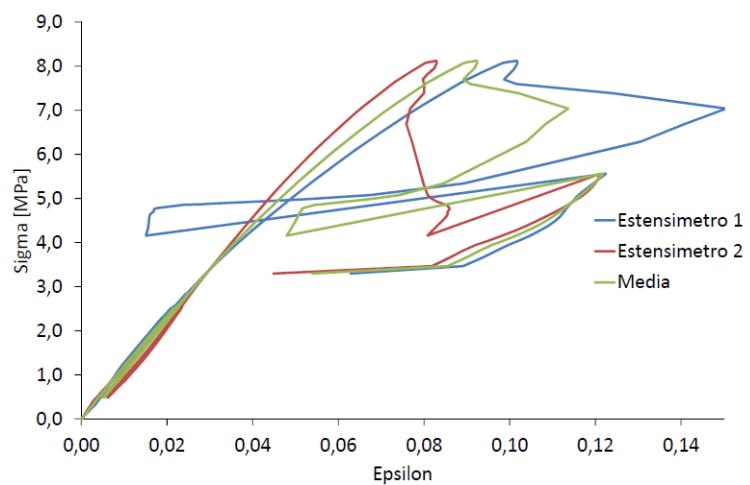


Figura 3.26 - Diagramma sigma epsilon per il campione R\_M2.5\_E\_3

- **R\_M2.5\_E\_4**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	9,95 kN
$P_o$	4,10 kN
$P_u$	0,86 kN
$\varepsilon_o$	0,033808
$\varepsilon_u$	0,008849

Tabella 3.24 - Risultati R\_M2.5\_E\_4

Il valore massimo della tensione sarà:

$$\sigma_{MAX} = \frac{P_{MAX}}{A} = \frac{9950}{1600} = 6,22 MPa$$

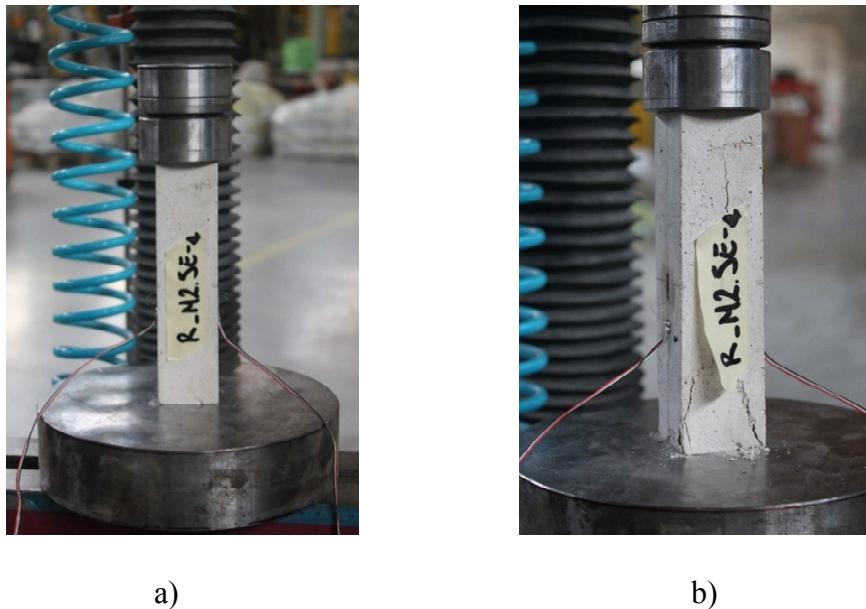
I due valori di tensione presi come riferimento per la determinazione del modulo elastico sono:

$$\sigma_o = \frac{P_o}{A} = \frac{4100}{1600} = 2,559457 MPa$$

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A} = \frac{860}{1600} = 0,539798 MPa$$

Si può quindi calcolare il modulo elastico:

$$E = \frac{\sigma_o - \sigma_u}{\varepsilon_o - \varepsilon_u} = \frac{2,559457 - 0,539798}{0,033808 - 0,008849} \cdot 10^{-1} = 8,09 GPa$$



a)

b)

Figura 3.27 - Campione R\_M2.5\_E\_4

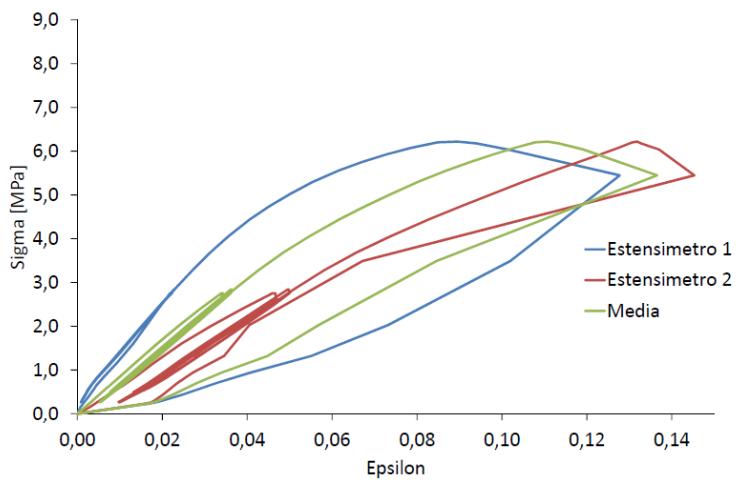


Figura 3.28 - Diagramma sigma epsilon per il campione R\_M2.5\_E\_4

Note: I diagrammi di deformazione riportati dai due estensimetri non sono simili, si discostano.

---

---

### 3.2.2.2 M10

Dalla scheda tecnica si osserva il valore di rottura a compressione pari a  $\sigma_c = 10 \text{ MPa}$  quindi le due sigma saranno, data l'area della sezione  $A = 1600 \text{ mm}^2$ :

$$\sigma_u = 0,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o = 10/3 = 3,33 \text{ MPa}$$

Moltiplicando le due tensioni per l'area ipotizzata della sezione si ottengono i valori che userò nella macchina, dato che questa funziona con le forze e non con le pressioni:

$$P_u = \sigma_u \cdot A = 0,5 \cdot 1600 = 0,80 \text{ kN}$$

$$P_o = \sigma_o \cdot A = 3,33 \cdot 1600 = 5,33 \text{ kN}$$

- **R\_M10\_E\_1**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	10,19 kN
$P_o$	5,87 kN
$P_u$	0,82 kN
$\varepsilon_o$	0,042149
$\varepsilon_u$	0,008504

Tabella 3.25 - Risultati R\_M10\_E\_1

Il valore massimo della tensione sarà:

$$\sigma_{MAX} = \frac{P_{MAX}}{A} = \frac{10190}{1600} = 6,37 \text{ MPa}$$

I due valori di tensione presi come riferimento per la determinazione del modulo elastico sono:

$$\sigma_o = \frac{P_o}{A} = \frac{5870}{1600} = 3,667448 \text{ MPa}$$

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A} = \frac{820}{1600} = 0,511638 \text{ MPa}$$

Si può quindi calcolare il modulo elastico:

$$E = \frac{\sigma_o - \sigma_u}{\varepsilon_o - \varepsilon_u} = \frac{3,667448 - 0,511638}{0,042149 - 0,008504} \cdot 10^{-1} = 9,38 \text{ GPa}$$

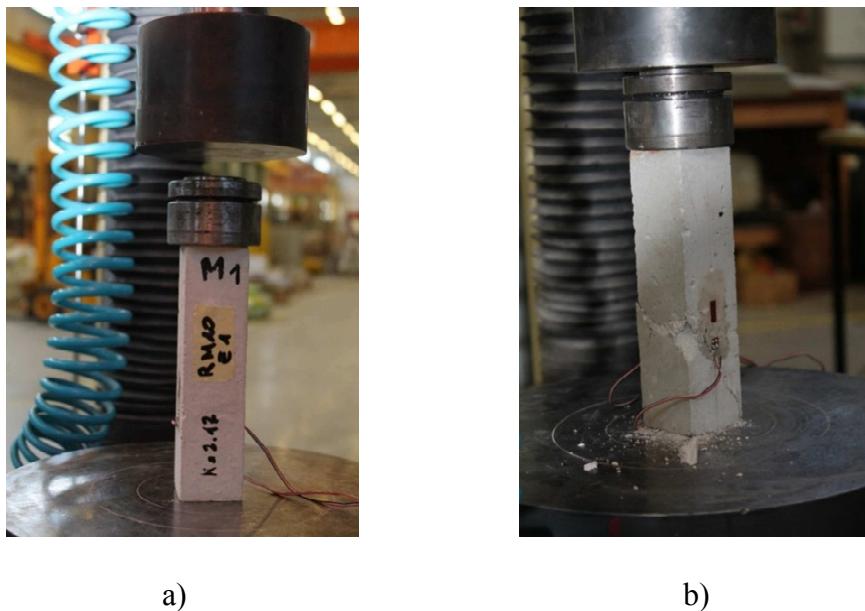


Figura 3.29 - Campione R\_M10\_E\_I

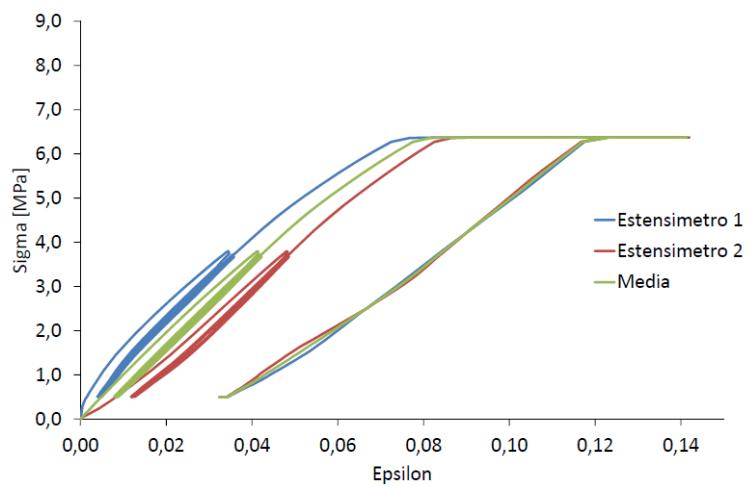


Figura 3.30 - Diagramma sigma epsilon per il campione R\_M10\_E\_I

*Note: Il diagramma interrotto superiormente a 7 MPa per un errore di impostazione nella scala grafica. Pertanto i valori numerici riportati dalla macchina sono corretti come corretto è il grafico fino a 7 MPa, ma dopo tale valore vediamo un brusco arresto.*

- **R\_M10\_E\_2**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	13,33 kN
$P_o$	5,64 kN
$P_u$	0,77 kN
$\varepsilon_o$	0,039917
$\varepsilon_u$	0,008420

Tabella 3.26 - Risultati R\_M2.5\_E\_2

Il valore massimo della tensione sarà:

$$\sigma_{MAX} = \frac{P_{MAX}}{A} = \frac{13330}{1600} = 8,33 \text{ MPa}$$

I due valori di tensione presi come riferimento per la determinazione del modulo elastico sono:

$$\sigma_o = \frac{P_o}{A} = \frac{5640}{1600} = 3,523128 \text{ MPa}$$

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A} = \frac{770}{1600} = 0,481084 \text{ MPa}$$

Si può quindi calcolare il modulo elastico:

$$E = \frac{\sigma_o - \sigma_u}{\varepsilon_o - \varepsilon_u} = \frac{3,523128 - 0,481084}{0,039917 - 0,008420} \cdot 10^{-1} = 9,66 \text{ GPa}$$


---

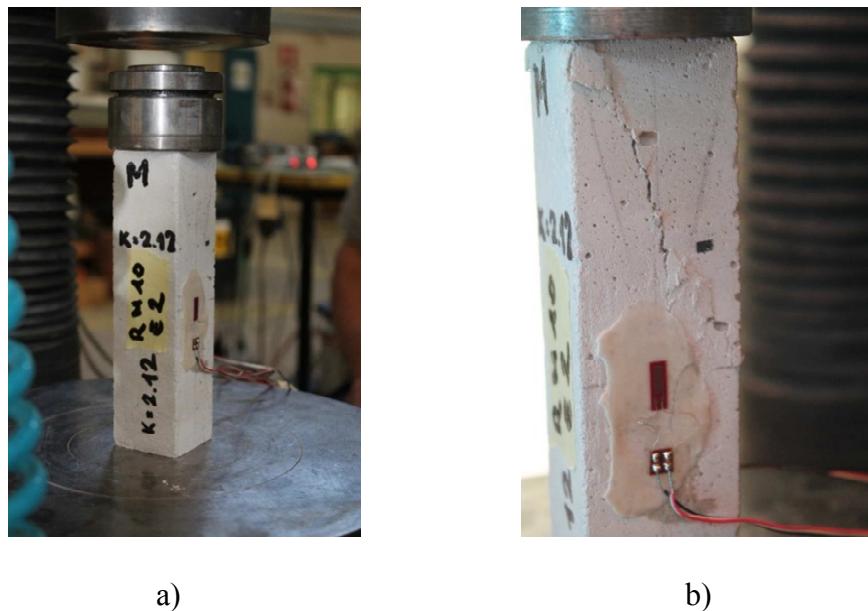


Figura 3.31 - Campione R\_M10\_E\_2

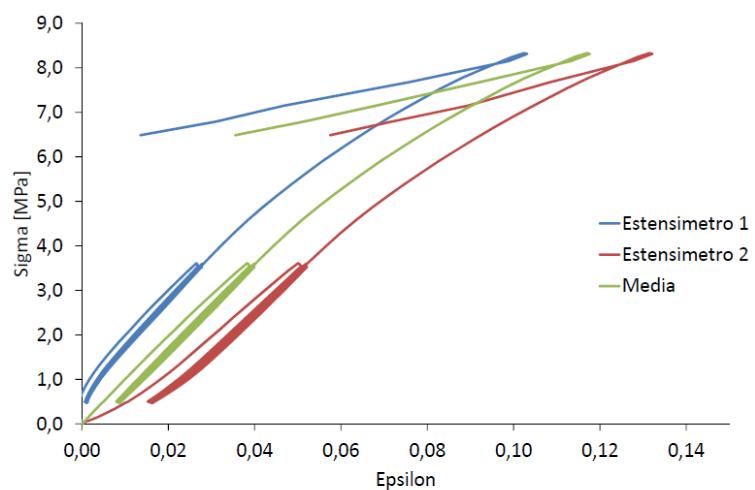


Figura 3.32 - Diagramma sigma epsilon per il campione R\_M10\_E\_2

- **R\_M10\_E\_3**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	12,37 kN
$P_o$	5,74 kN
$P_u$	0,78 kN
$\varepsilon_o$	0,040224
$\varepsilon_u$	0,007953

Tabella 3.27 - Risultati R\_M2.5\_E\_3

Il valore massimo della tensione sarà:

$$\sigma_{MAX} = \frac{P_{MAX}}{A} = \frac{12370}{1600} = 7,73 \text{ MPa}$$

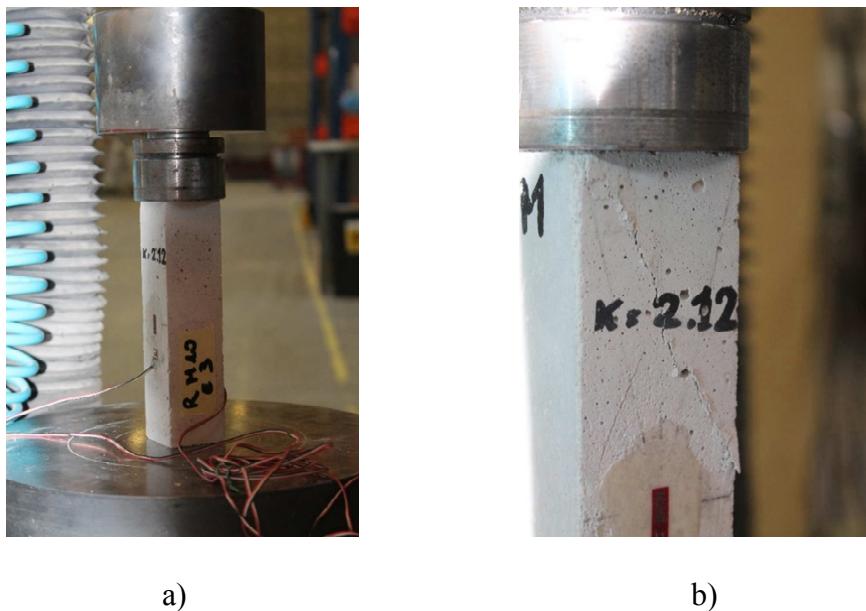
I due valori di tensione presi come riferimento per la determinazione del modulo elastico sono:

$$\sigma_o = \frac{P_o}{A} = \frac{5740}{1600} = 3,585175 \text{ MPa}$$

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A} = \frac{780}{1600} = 0,490099 \text{ MPa}$$

Si può quindi calcolare il modulo elastico:

$$E = \frac{\sigma_o - \sigma_u}{\varepsilon_o - \varepsilon_u} = \frac{3,585175 - 0,490099}{0,040224 - 0,007953} \cdot 10^{-1} = 9,59 \text{ GPa}$$



a)

b)

Figura 3.33 - Campione R\_M10\_E\_3

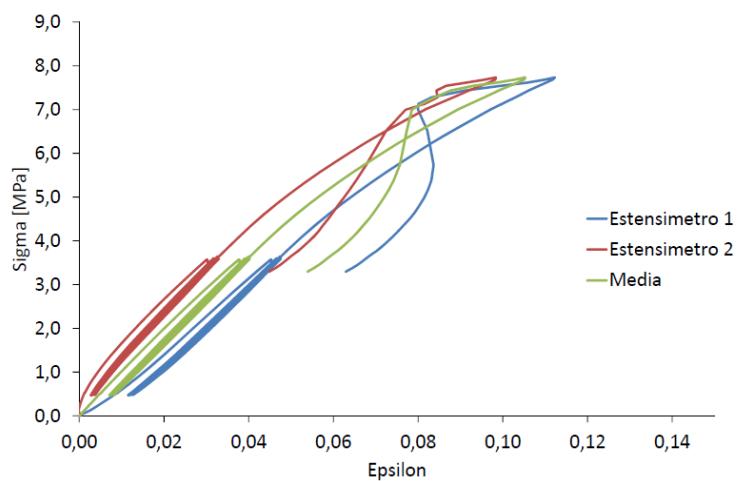


Figura 3.34 – Diagramma sigma epsilon per il campione R\_M10\_E\_3

Al termine delle prove si raccolgono i dati in un'unica tabella riassuntiva:

<i>NOME</i>	$E [Gpa]$	$\sigma_{MAX}/[MPa]$
R_M2.5_E_1	7,50	6,38
R_M2.5_E_2	7,55	5,89
R_M2.5_E_3	11,70	8,12
R_M2.5_E_4	8,09	6,22
R_M10_E_1	9,38	6,37
R_M10_E_2	9,66	8,33
R_M10_E_3	9,59	7,73

Tabella 3.28 – Tabella riassuntiva modulo malte

I risultati così ottenuti sono mediati per identificare un valore che caratterizzerà il materiale.

<i>NOME</i>	$E [Gpa]$	$\sigma_{MAX}/[MPa]$
M2.5	8,71 ( $\pm 2,01$ )	6,65 ( $\pm 1,00$ )
M10	9,54 ( $\pm 0,15$ )	7,48 ( $\pm 1,00$ )

*N.B. media  $\pm$  deviazione standard*

Tabella 3.29 – Tabella conclusiva modulo malte

### 3.2.3 Analisi dei risultati

I grafici ottenuti con l'esecuzione della prova contengono tre curve distinte: due che corrispondono agli estensimetri installati sui campioni e una che è la media di queste. La prima cosa che si può notare è che la rottura avviene in fase di deformazione elastica, quindi è una rottura duttile. Una seconda, invece, è che rimane visibile nel diagramma la fase di carico-scarico, in quanto in corrispondenza di quei valori si ha un inspessimento dei tratti.

## 3.3 Triplette

### 3.3.1 Resistenza a taglio

Per l'esecuzione della prova si sceglie di utilizzare la procedura A. Essendo però la precompressione data tramite il vincolamento del campione tra due piastre di acciaio e strette con quattro barre filettate e dadi agli angoli, viene calcolato l'equivalente in kN per barra da fornire per arrivare alla pressione in MPa. Essendo l'area dei mattoni  $120 \times 120 \text{ mm}^2$  l'algoritmo sarà:

$$F = \frac{P \cdot A}{4}$$

- 0,2 MPa

$$F = \frac{P \cdot A}{4} = \frac{0,2 \cdot 14400}{4} = 720 \text{ N} = 0,72 \text{ kN}$$

- 0,6 MPa

$$F = \frac{P \cdot A}{4} = \frac{0,6 \cdot 14400}{4} = 2160 \text{ N} = 2,16 \text{ kN}$$

- 1,0 MPa

$$F = \frac{P \cdot A}{4} = \frac{1,0 \cdot 14400}{4} = 3600 \text{ N} = 3,60 \text{ kN}$$

I risultati delle prove a taglio sono riassunti dai parametri:

- $P_{MAX}$  è il valore di forza massimo registrato dalla macchina durante la prova
- $\tau_{MAX}$  è il valore massimo risultante dal rapporto  $\frac{\text{forza}}{\text{sezione della tripletta } (120 \times 120)}$
- $\sigma(\tau_{MAX})$  è il valore di precompressione registrato all'istante in cui abbiamo la  $\tau_{MAX}$
- $\tau_{adm_{MAX}}$  è il valore massimo del rapporto  $\frac{\text{tau}}{\text{sigma corrispondente}}$
- $Abbassamento(\tau_{adm_{MAX}})$  è il valore di abbassamento (media delle due letture degli LVDT) registrato all'istante in cui abbiamo  $\tau_{adm_{MAX}}$
- *Coefficiente d'attrito* che è la media dei valori delle  $\tau_{adm_{MAX}}$  una volta raggiunta una soddisfacente stabilità

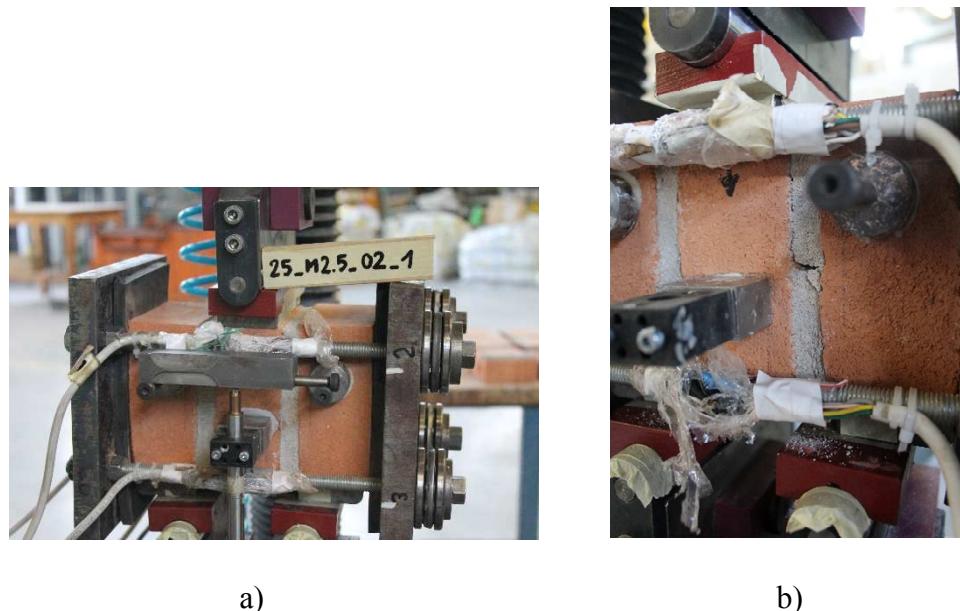
### 3.3.1.1 M2.5

- 25\_R\_M2.5\_02\_1

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	11,20 kN
$\tau_{MAX}$	0,39 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,38 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	1,15
<i>Abbassamento</i> ( $\tau_{adm_{MAX}}$ )	0,11 mm
<i>Coefficiente d'attrito</i>	0,82

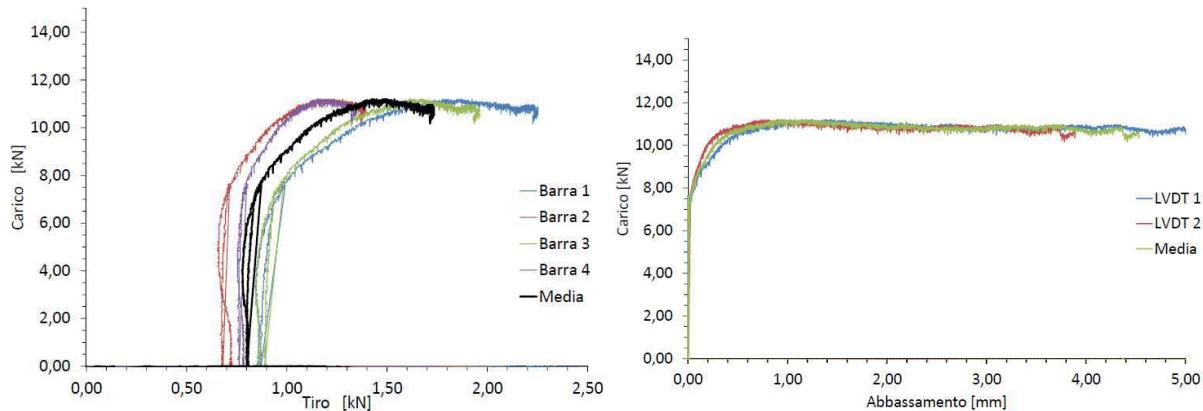
Tabella 3.30 – Risultati 25\_R\_M2.5\_02\_1





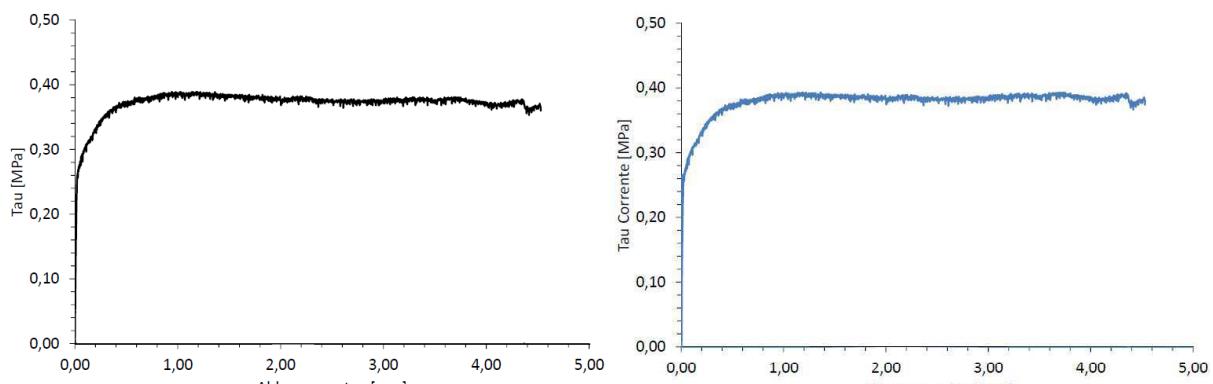
c)

Figura 3.35 a, b, c – Campione 25\_R\_M2.5\_02\_1



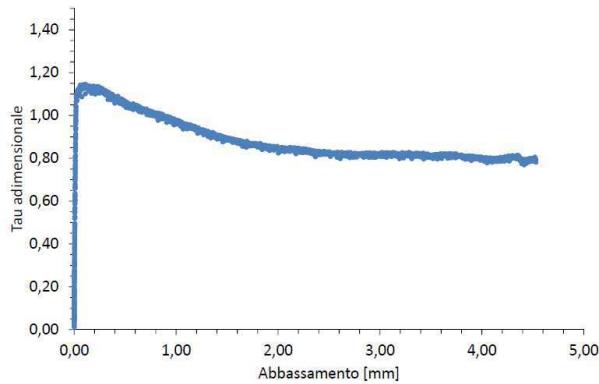
a)

b)



c)

d)



e)

Figura 3.36 a, b, c, d, e – Diagrammi 25\_R\_M2.5\_02\_I

Note: campione con giunto di malta compromesso

- **26\_R\_M2.5\_02\_2**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	9,64 kN
$\tau_{MAX}$	0,33 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,28 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	0,97
$Abbassamento(\tau_{adm_{MAX}})$	0,24 mm
Coefficiente d'attrito	0,65

Tabella 3.31 – Risultati 26\_R\_M2.5\_02\_2

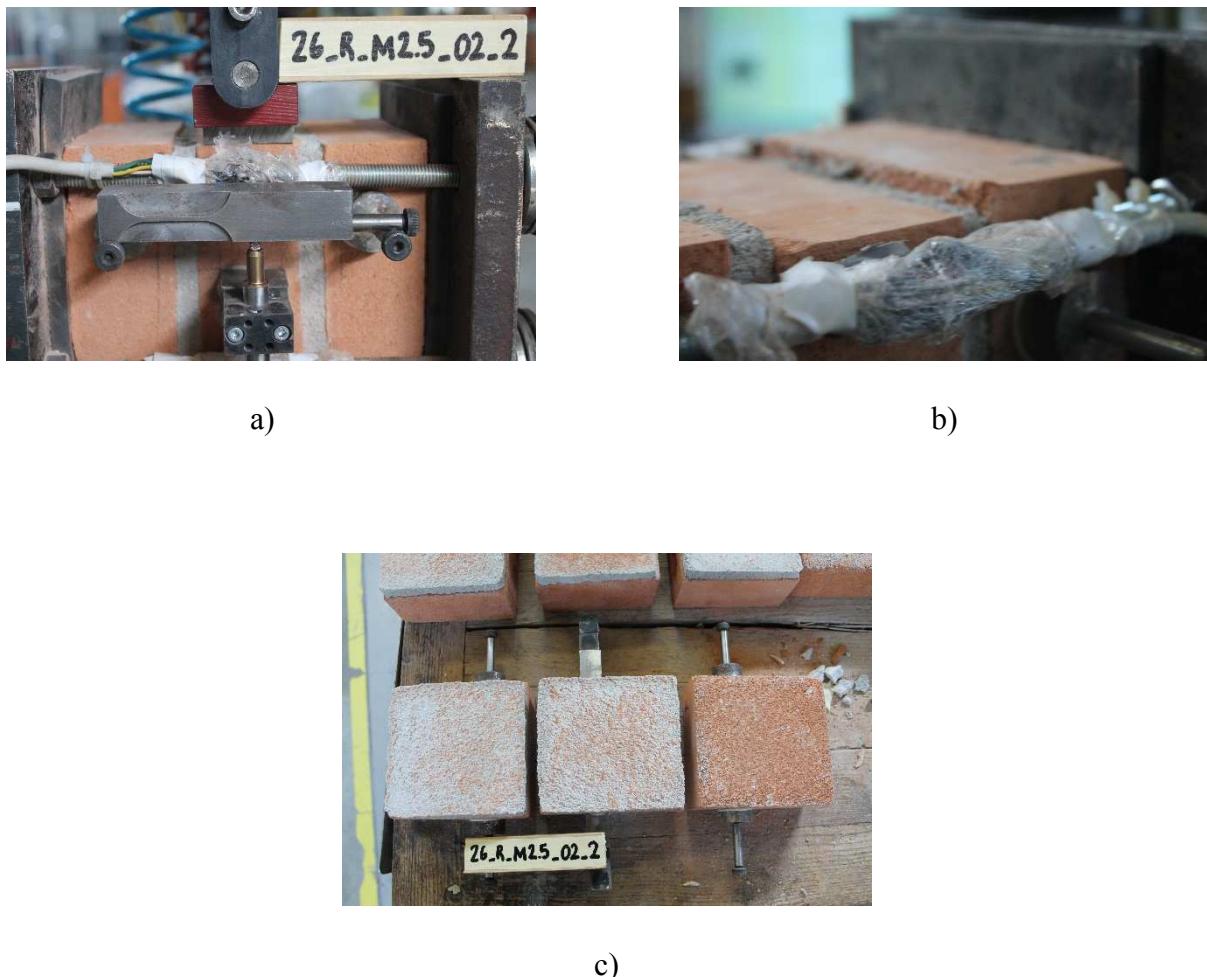
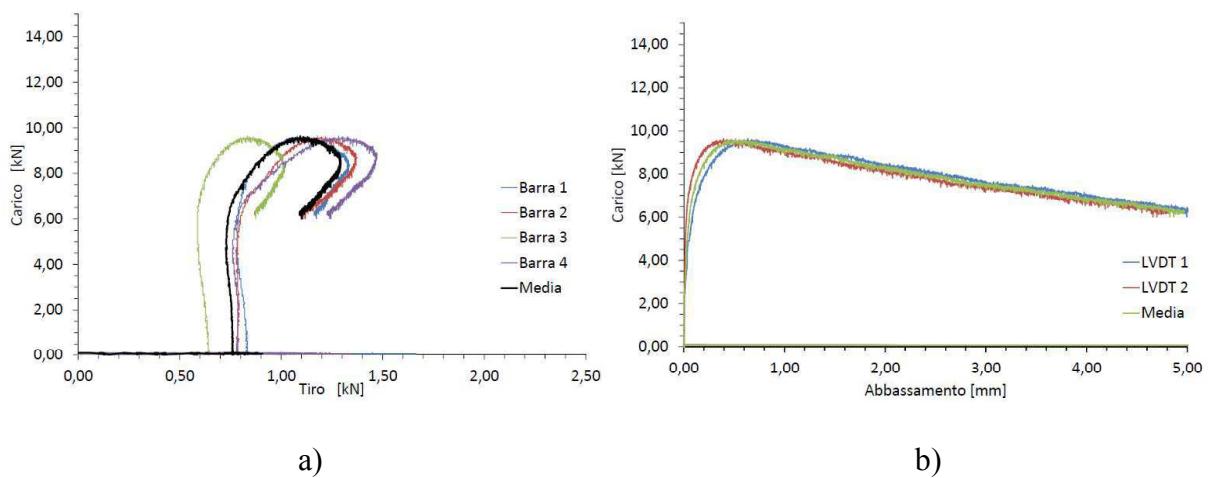


Figura 3.37 a, b, c – Campione 26\_R\_M2.5\_02\_2



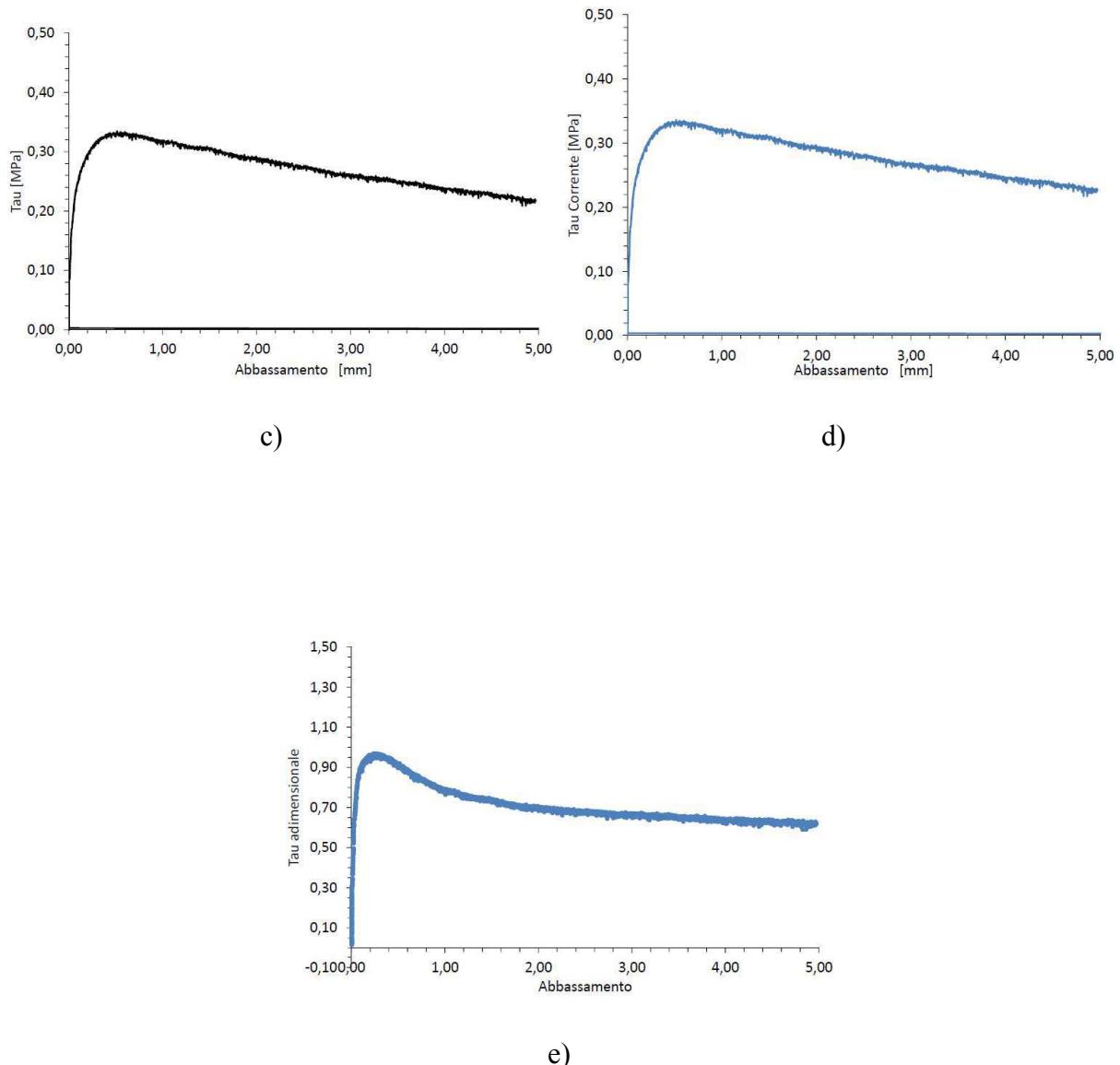


Figura 3.38 a, b, c, d, e – Diagrammi 26\_R\_M2.5\_02\_2

Note: campione con giunto di malta compromesso

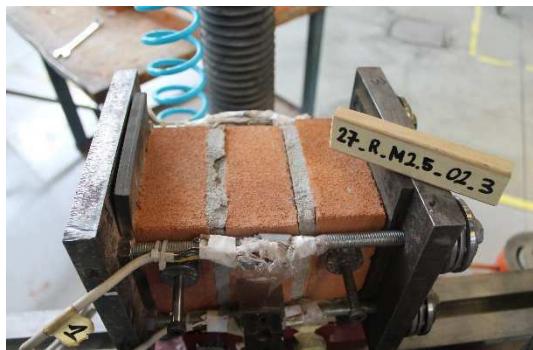
---

- **27\_R\_M2.5\_02\_3**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	13,90 kN
$\tau_{MAX}$	0,48 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,36 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	1,52
<i>Abbassamento</i> ( $\tau_{adm_{MAX}}$ )	0,13 mm
<i>Coefficiente d'attrito</i>	0,93

Tabella 3.32 – Risultati 27\_R\_M2.5\_02\_3



a)



b)



c)

Figura 3.39 a, b, c – Campione 27\_R\_M2.5\_02\_3

---

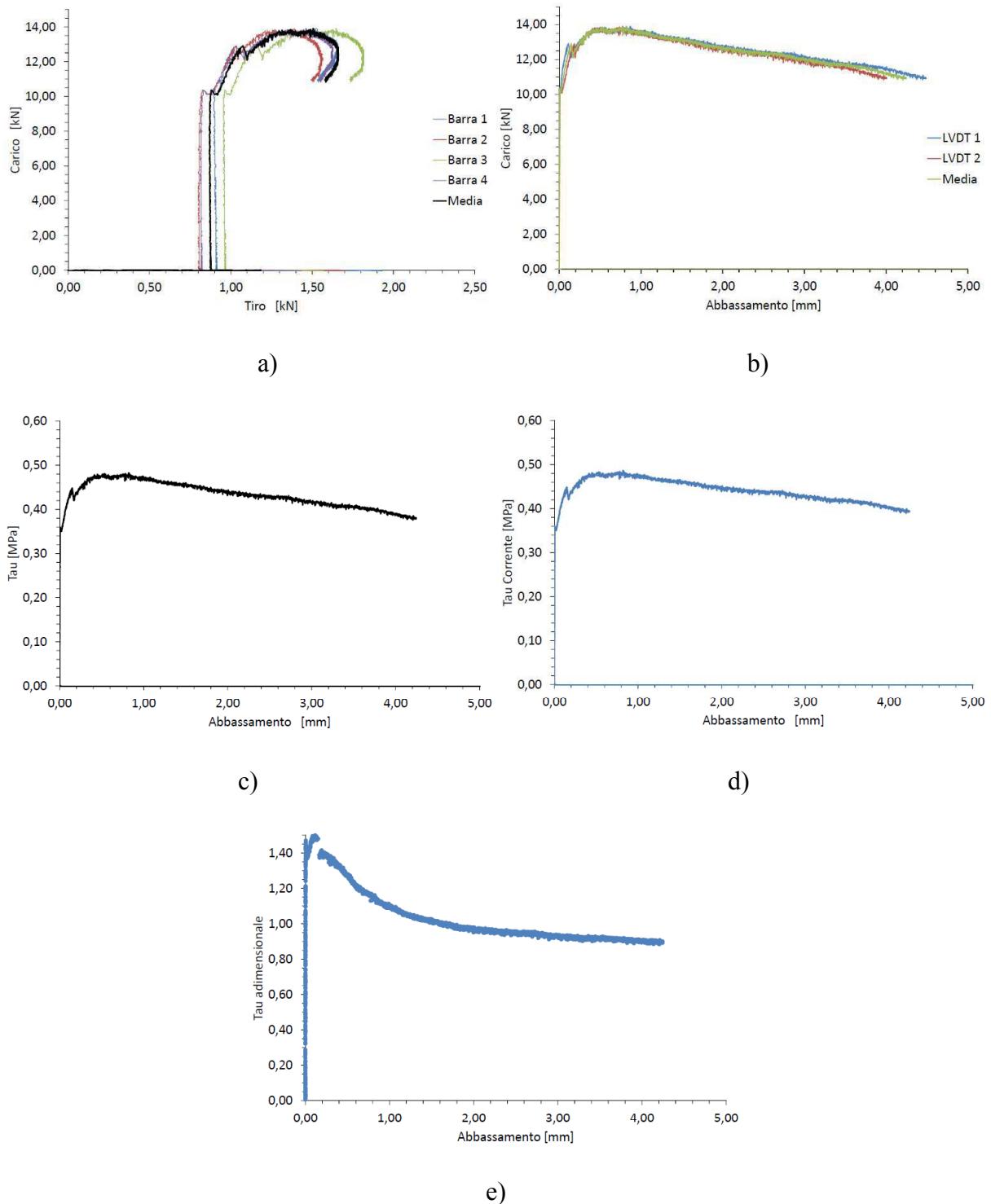


Figura 3.40 a, b, c, d, e – Diagrammi 27\_R\_M2.5\_02\_3

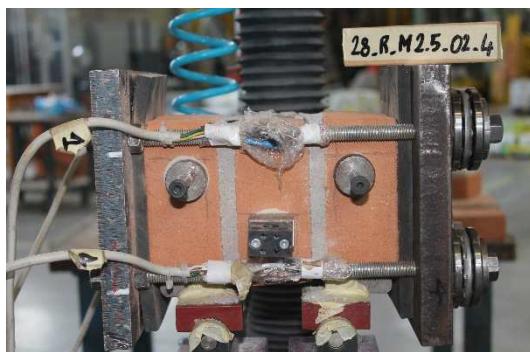
Note: campione con giunto di malta integro

• **28\_R\_M2.5\_02\_4**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	9,08 kN
$\tau_{MAX}$	0,32 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,32 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	1,17
Abbassamento( $\tau_{adm_{MAX}}$ )	0,34 mm
Coefficiente d'attrito	0,98

Tabella 3.33 – Risultati 28\_R\_M2.5\_02\_4



a)



b)



c)

Figura 3.41 a, b, c – Campione 28\_R\_M2.5\_02\_4

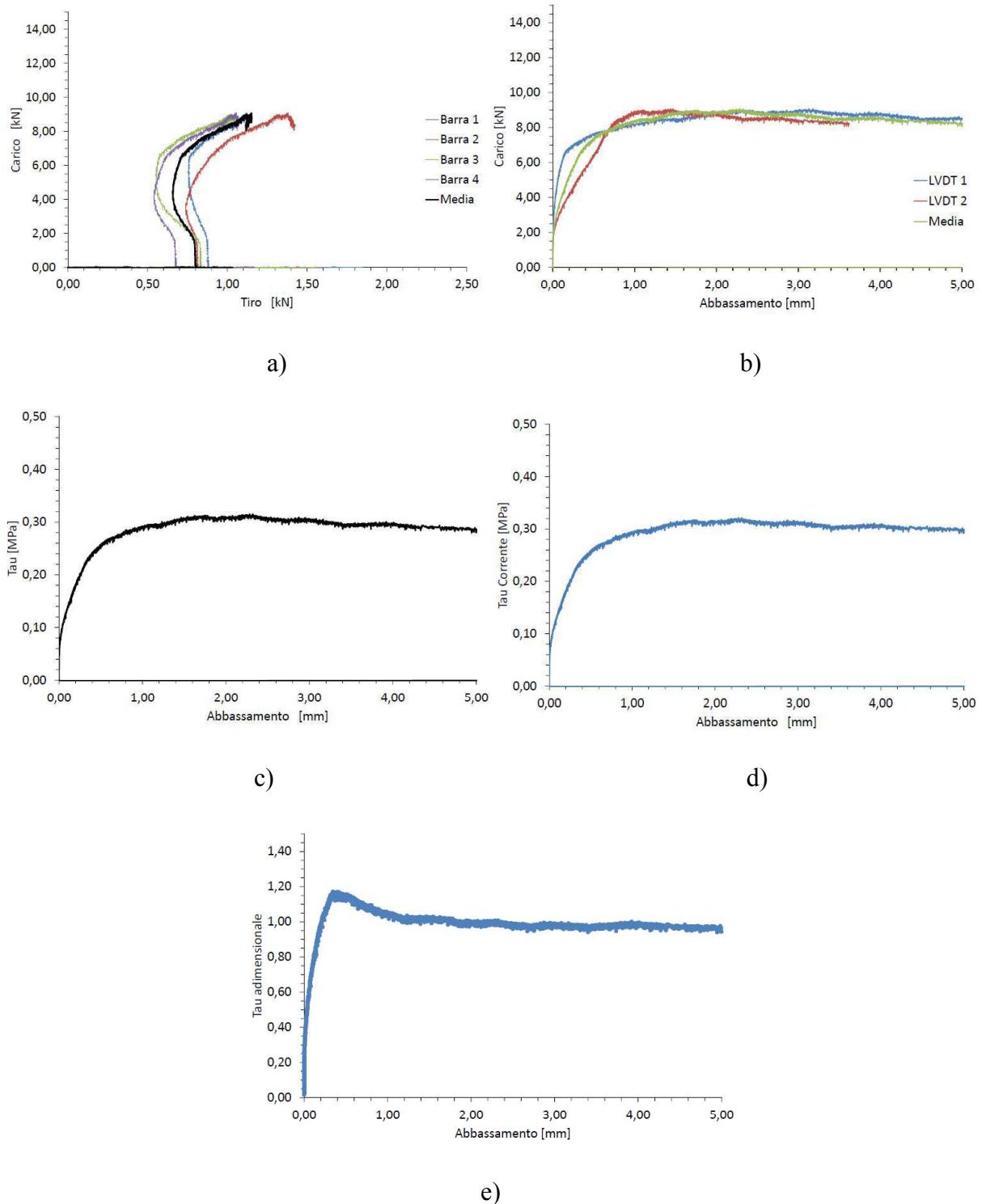


Figura 3.42 a, b, c, d, e – Diagrammi 29\_R\_M2.5\_02\_4

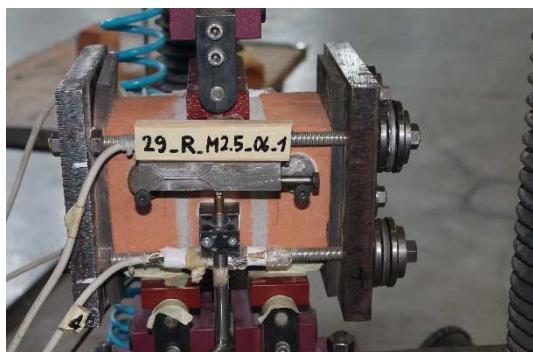
Note: campione con giunto di malta compromesso

• **29\_R\_M2.5\_06\_1**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	21,10 kN
$\tau_{MAX}$	0,73 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,65 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	1,13
Abbassamento( $\tau_{adm_{MAX}}$ )	0,43 mm
Coefficiente d'attrito	0,90

Tabella 3.34 – Risultati 29\_R\_M2.5\_06\_1



a)



b)



c)



d)

Figura 3.43 a, b, c, d – Campione 29\_R\_M2.5\_06\_1

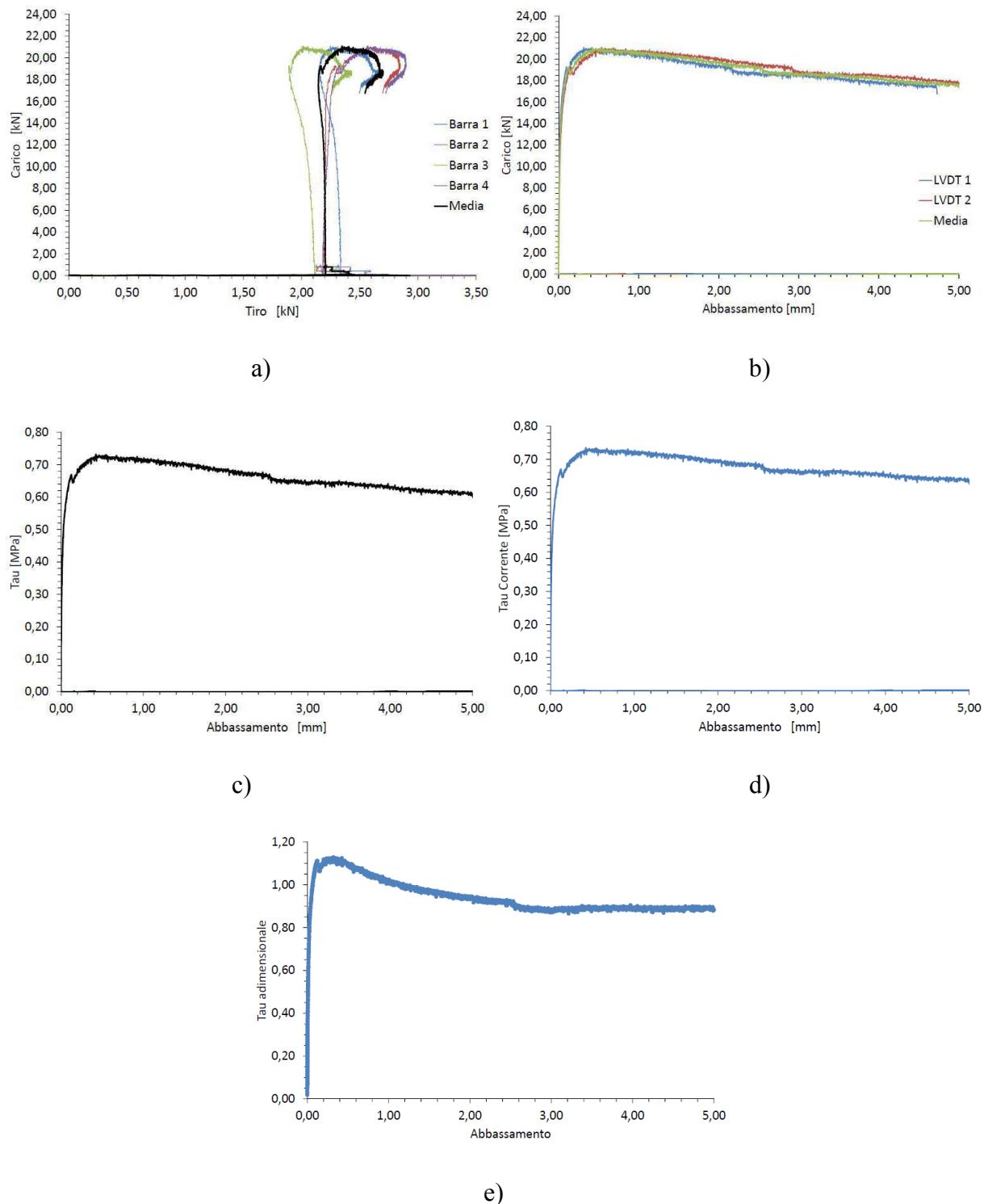


Figura 3.44 a, b, c, d, e – Diagrammi 29\_R\_M2.5\_06\_I

Note: campione con giunto di malta compromesso

• **30\_R\_M2.5\_06\_2**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	13,38 kN
$\tau_{MAX}$	0,46 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,45 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	1,02
Abbassamento( $\tau_{adm_{MAX}}$ )	0,46 mm
Coefficiente d'attrito	0,84

Tabella 3.35 – Risultati 30\_R\_M2.5\_06\_2



a)



b)



c)

Figura 3.45 a, b, c – Campione 30\_R\_M2.5\_06\_2

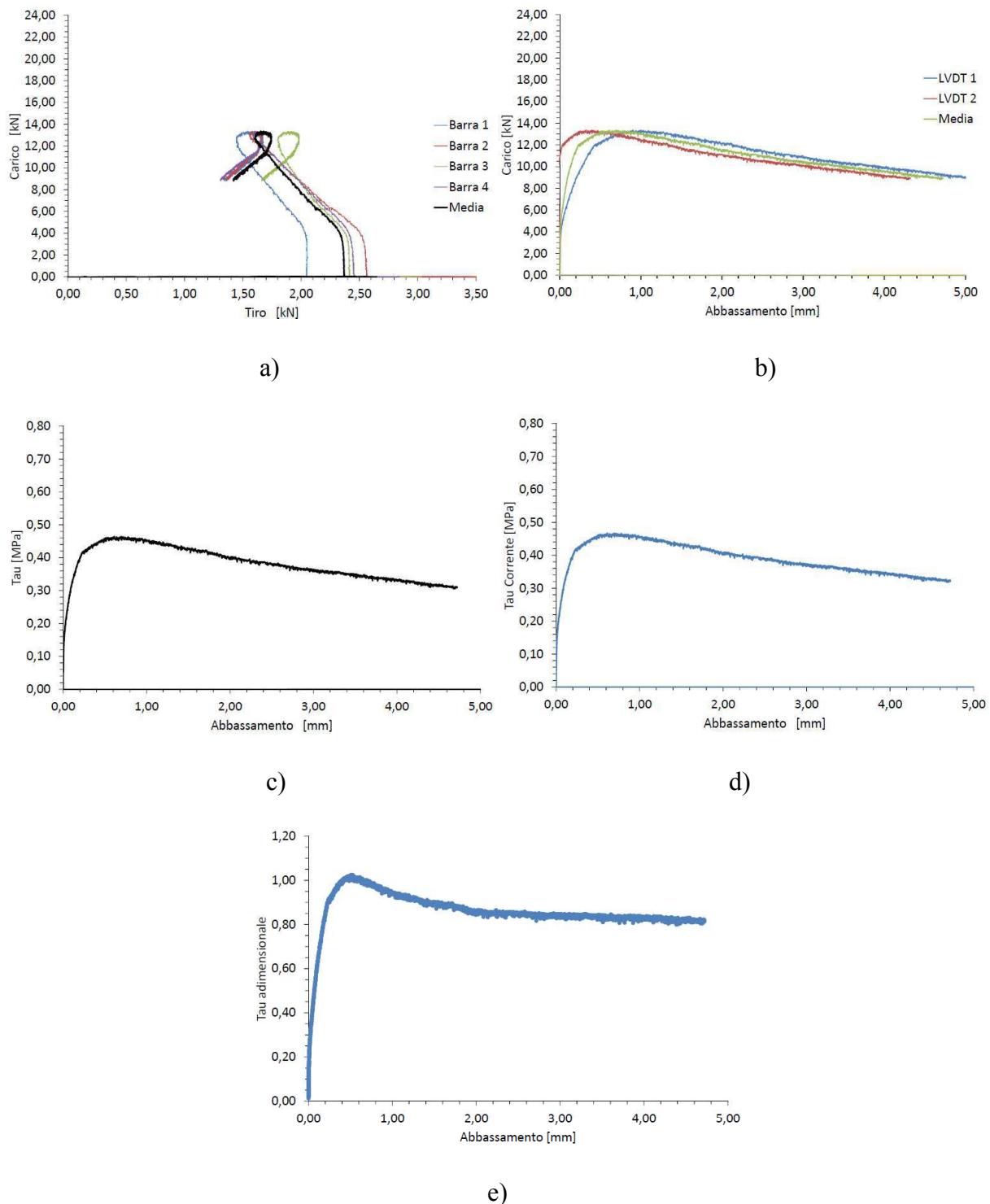


Figura 3.46 a, b, c, d, e – Diagrammi 30\_R\_M2.5\_06\_2

Note: campione con giunto di malta compromesso

• **31\_R\_M2.5\_06\_3**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	15,68 kN
$\tau_{MAX}$	0,54 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,61 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	0,90
Abbassamento( $\tau_{adm_{MAX}}$ )	0,37 mm
Coefficiente d'attrito	0,81

Tabella 3.36 – Risultati 31\_R\_M2.5\_06\_3



a)



b)



c)

Figura 3.47 a, b, c – Campione 31\_R\_M2.5\_06\_3

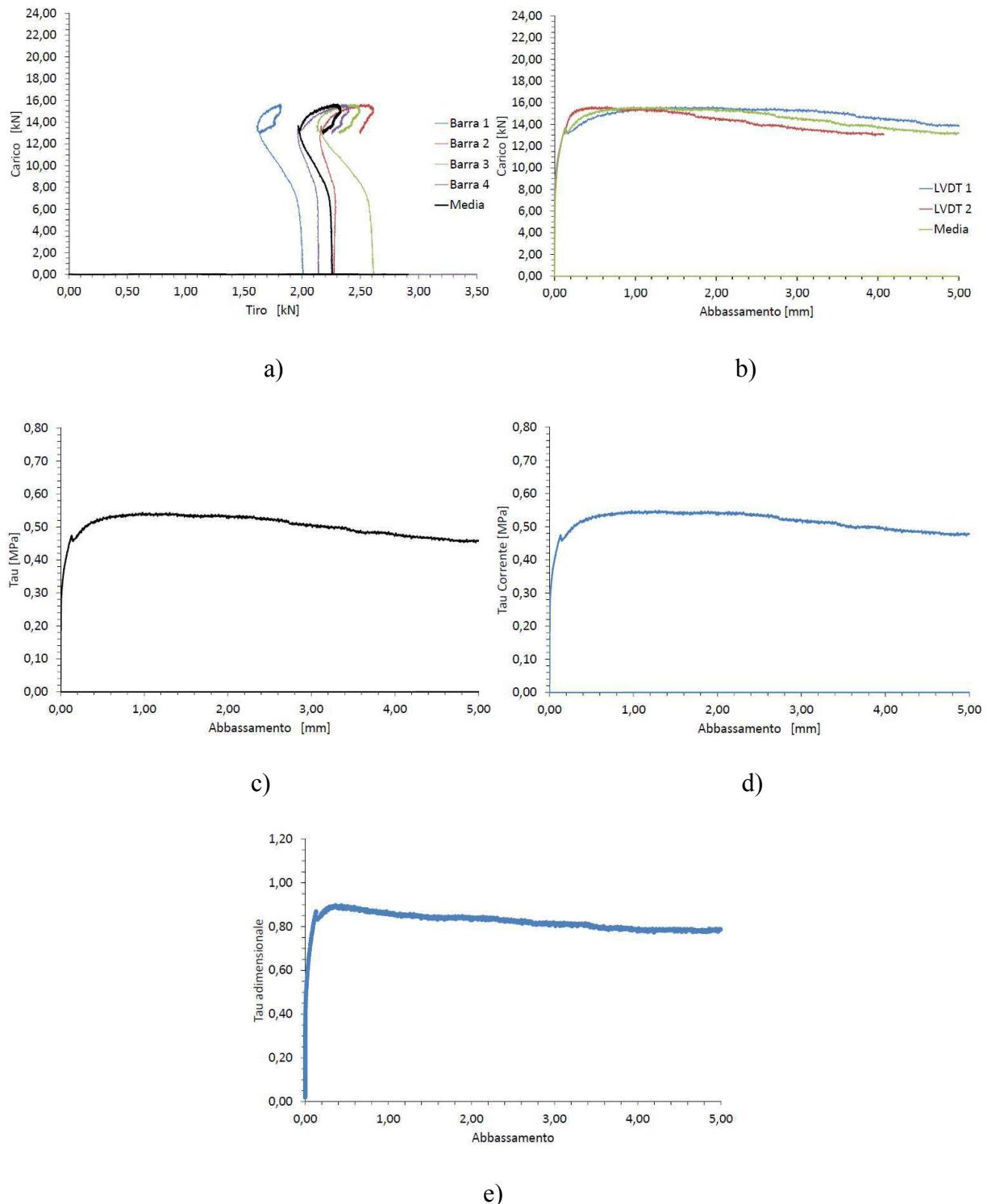


Figura 3.48 a, b, c, d, e – Diagrammi 31\_R\_M2.5\_06\_3

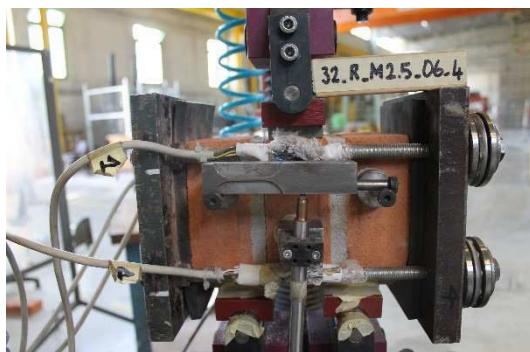
Note: campione con giunto di malta compromesso

- **32\_R\_M2.5\_06\_4**

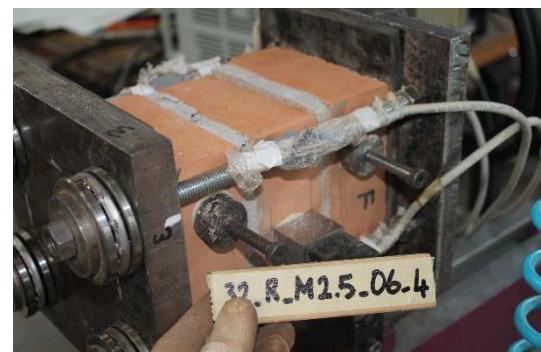
I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	16,98 kN
$\tau_{MAX}$	0,59 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,61 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	0,98
<i>Abbassamento</i> ( $\tau_{adm_{MAX}}$ )	0,45 mm
<i>Coefficiente d'attrito</i>	0,85

Tabella 3.37 – Risultati 32\_R\_M2.5\_06\_4



a)



b)



c)

Figura 3.49 a, b, c – Campione 32\_R\_M2.5\_06\_4

---

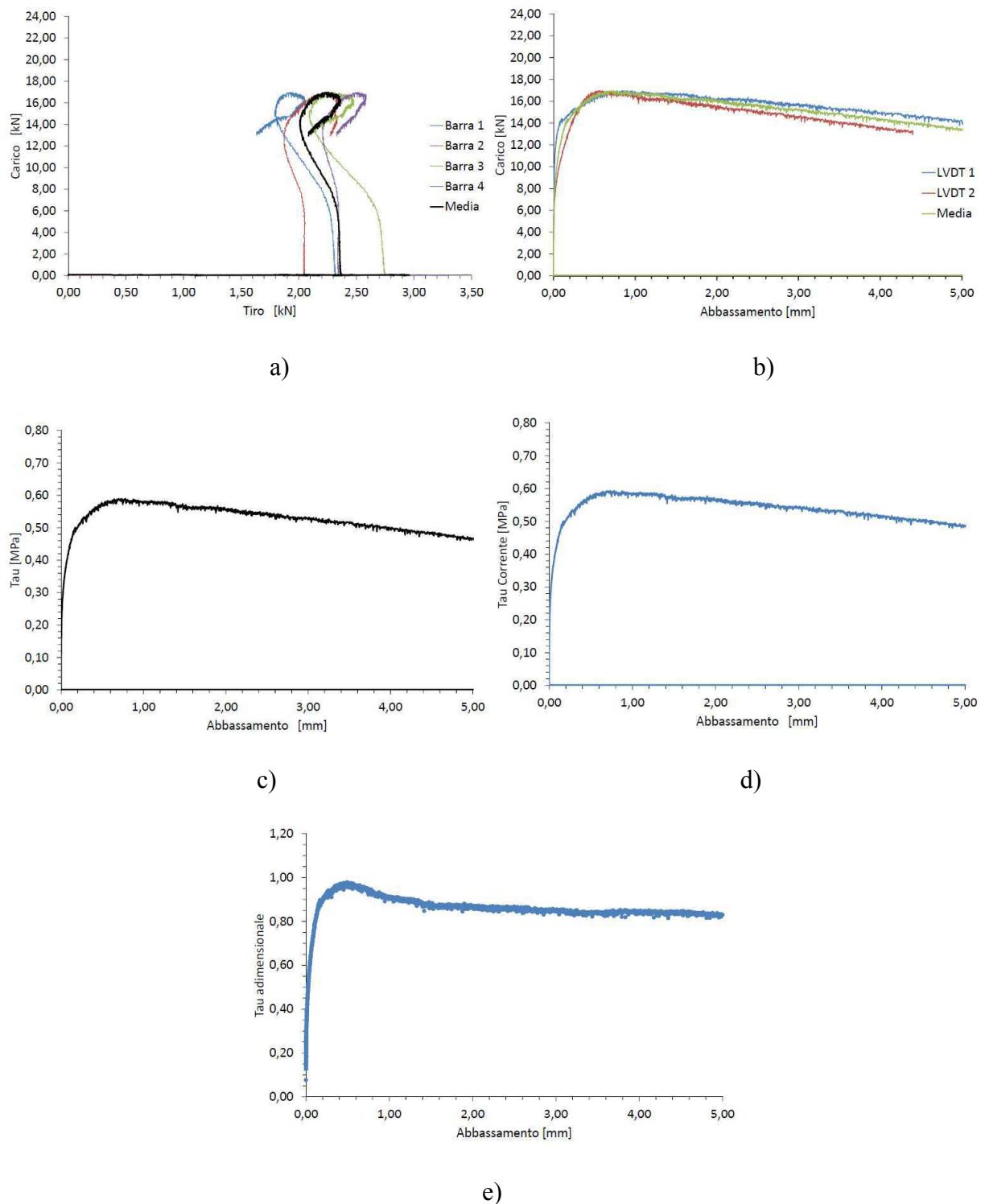


Figura 3.50 a, b, c, d, e – Diagrammi 32\_R\_M2.5\_06\_4

Note: campione con giunto di malta compromesso

• **33\_R\_M2.5\_1\_1**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	22,50 kN
$\tau_{MAX}$	0,78 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,84 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	0,87
Abbassamento( $\tau_{adm_{MAX}}$ )	0,44 mm
Coefficiente d'attrito	0,80

Tabella 3.38 - Risultati 33\_R\_M2.5\_1\_1



a)



b)



c)

Figura 3.51 a, b, c – Campione 33\_R\_M2.5\_1\_1

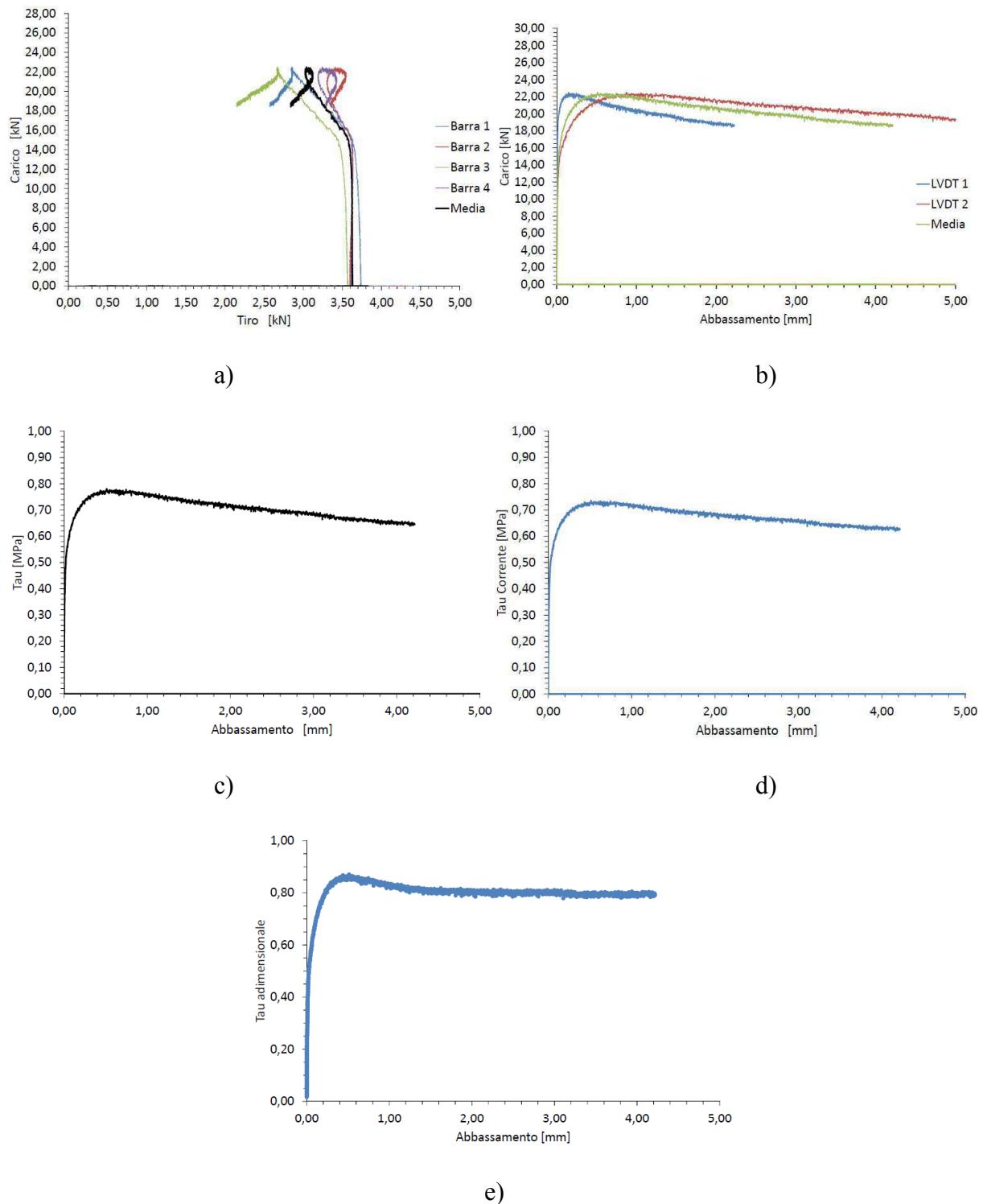


Figura 3.52 a, b, c, d, e – Diagrammi 33\_R\_M2.5\_I\_I

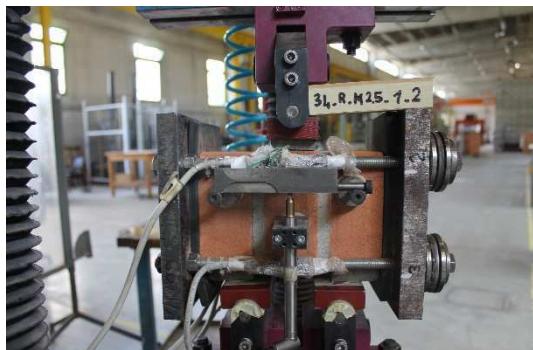
Note: campione con giunto di malta compromesso

• **34\_R\_M2.5\_I\_2**

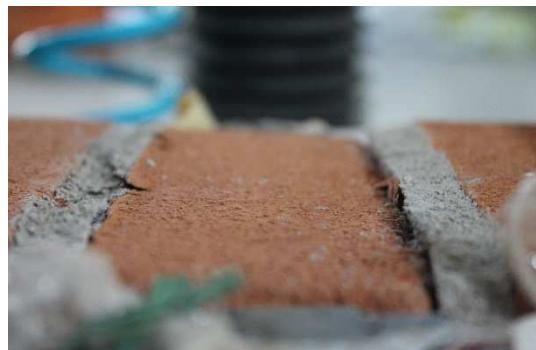
I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	20,13 kN
$\tau_{MAX}$	0,70 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,76 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	0,90
Abbassamento( $\tau_{adm_{MAX}}$ )	0,41 mm
Coefficiente d'attrito	0,77

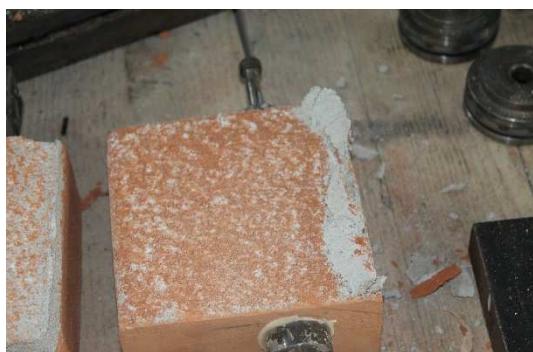
Tabella 3.39 - Risultati 34\_R\_M2.5\_I\_2



a)



b)



c)

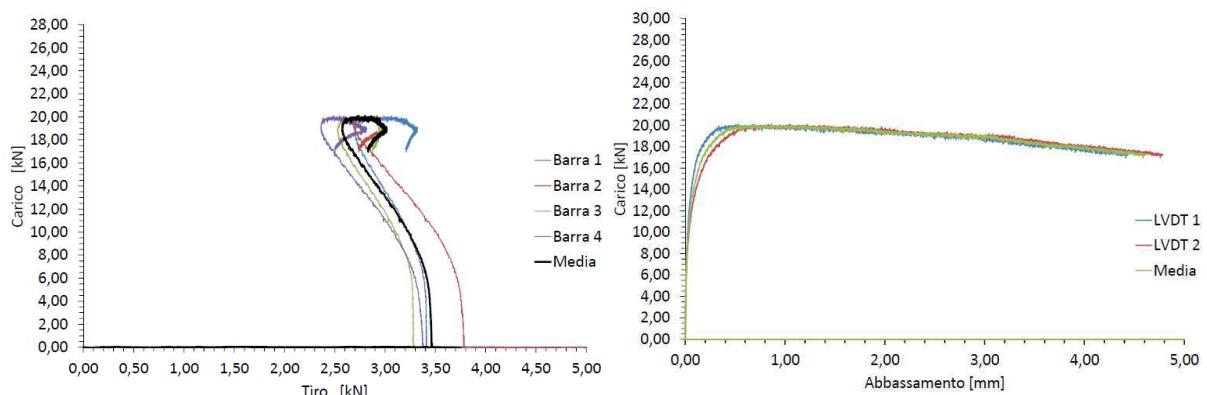


d)



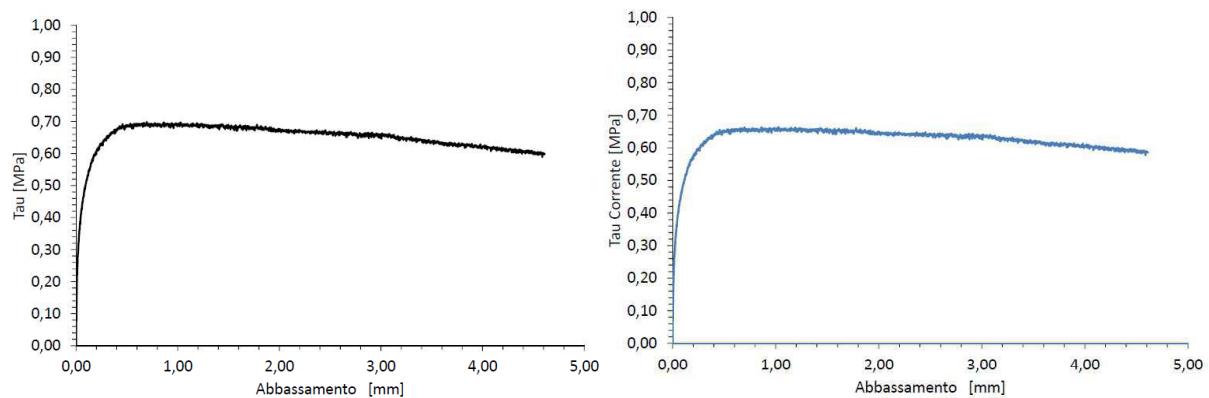
e)

Figura 3.53 a, b, c, d, e – Campione 34\_R\_M2.5\_I\_2



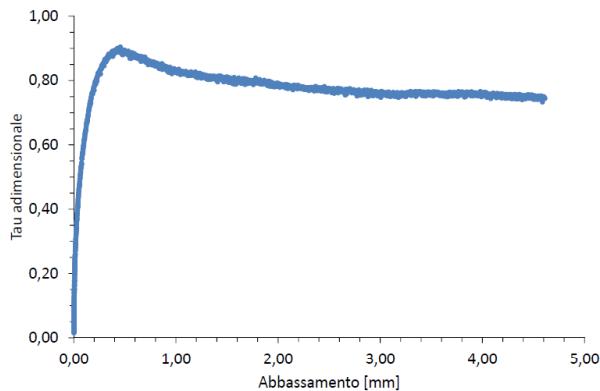
a)

b)



c)

d)



e)

Figura 3.54 a, b, c, d, e – Diagrammi 34\_R\_M2.5\_1\_2

Note: campione con giunto di malta compromesso

- 35\_R\_M2.5\_1\_3

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	25,63 kN
$\tau_{MAX}$	0,89 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,97 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	0,87
$Abbassamento(\tau_{adm_{MAX}})$	0,68 mm
Coefficiente d'attrito	0,82

Tabella 3.40 - Risultati 35\_R\_M2.5\_1\_3

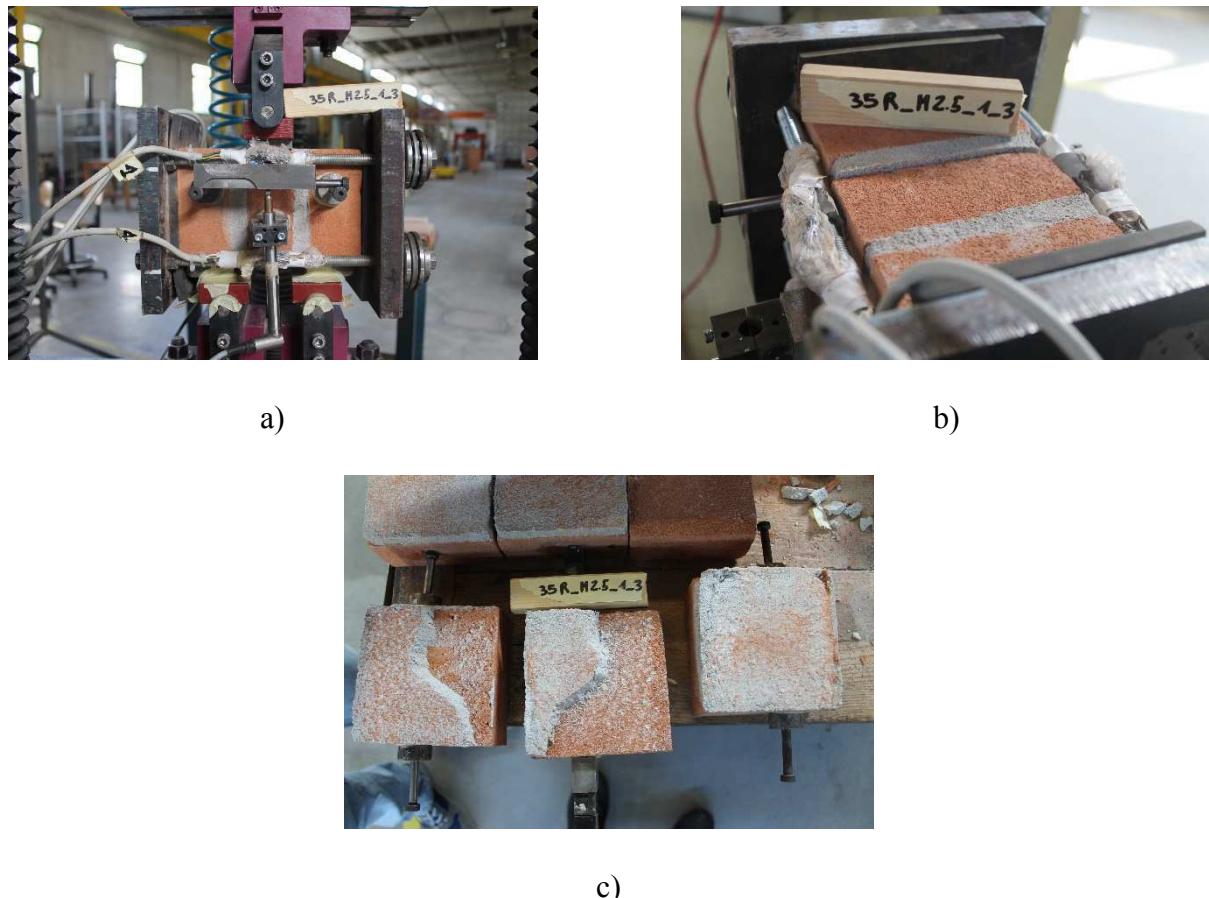
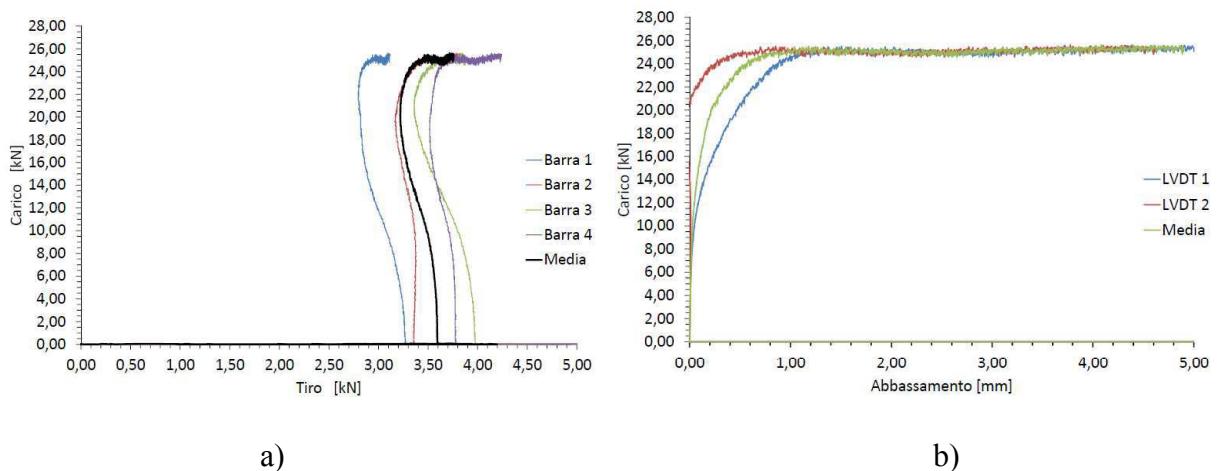


Figura 3.55 a, b, c – Campione 35\_R\_M2.5\_1\_3



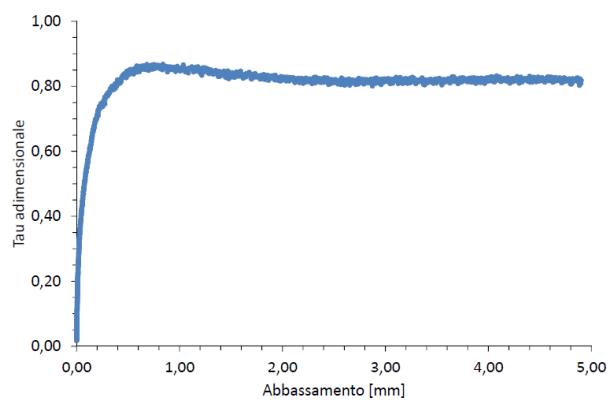
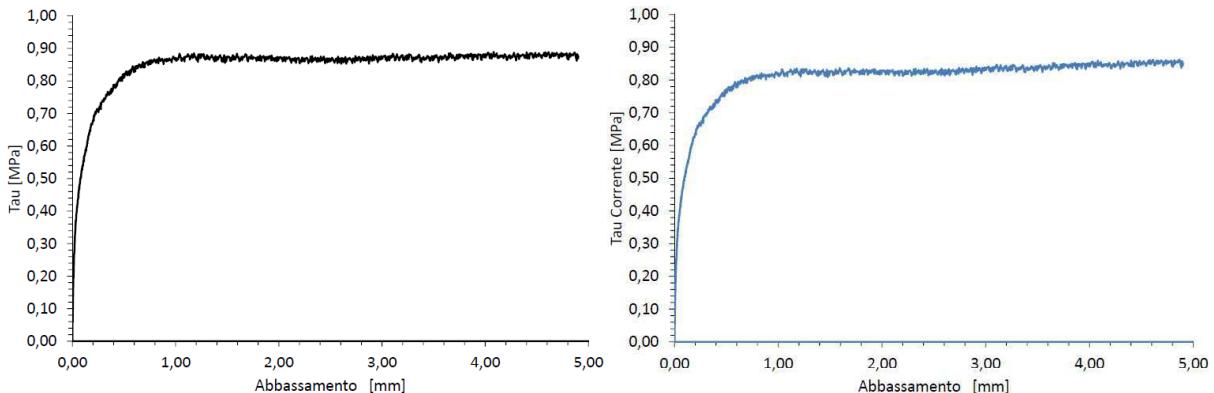


Figura 3.56 a, b, c, d, e – Diagrammi 35\_R\_M2.5\_I\_3

Note: campione con giunto di malta compromesso

- **36\_R\_M2.5\_1\_4**

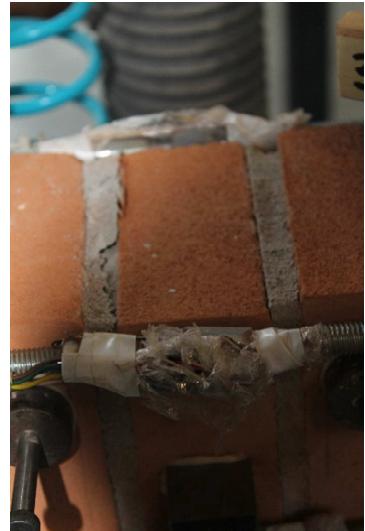
I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	20,20 kN
$\tau_{MAX}$	0,70 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,71 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	0,96
<i>Abbassamento</i> ( $\tau_{adm_{MAX}}$ )	0,64 mm
<i>Coefficiente d'attrito</i>	0,81

Tabella 3.41 - Risultati 36\_R\_M2.5\_1\_4



a)

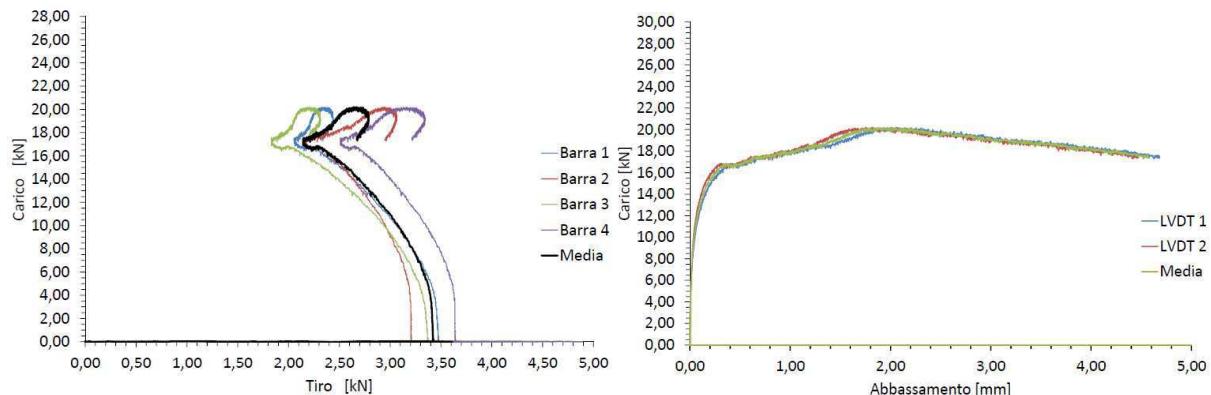


b)



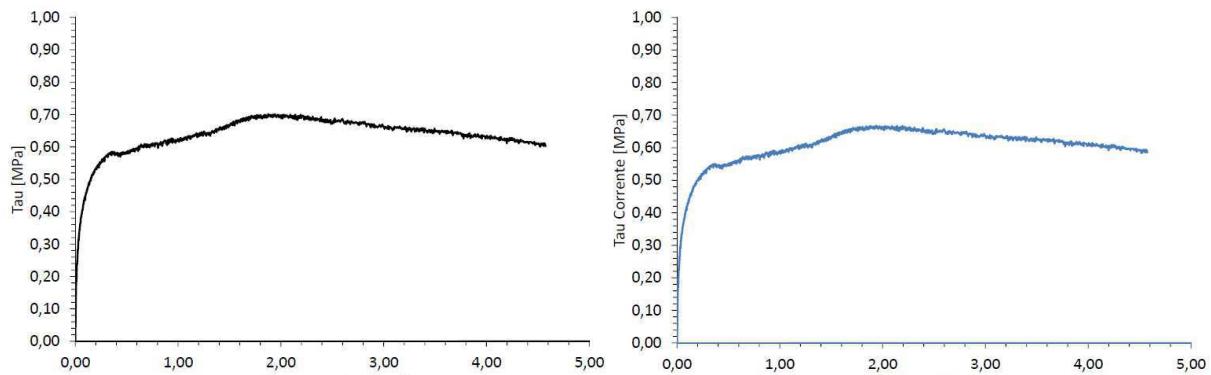
c)

Figura 3.57 a, b, c – Campione 36\_R\_M2.5\_1\_4



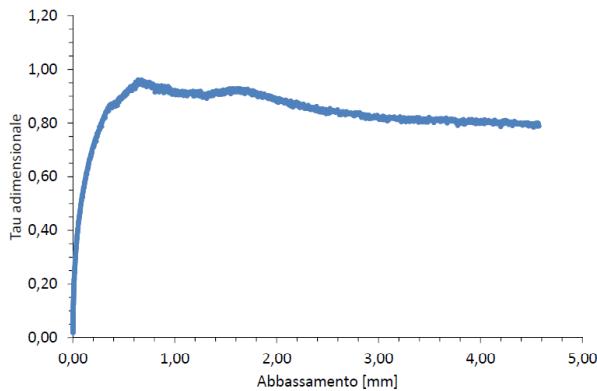
a)

b)



c)

d)

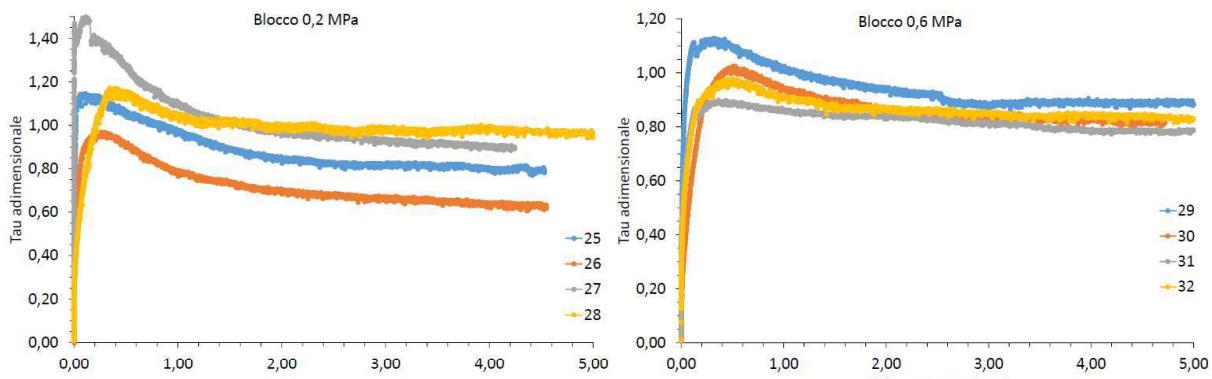


e)

Figura 3.58 a, b, c, d, e – Diagrammi 36\_R\_M2.5\_I\_4

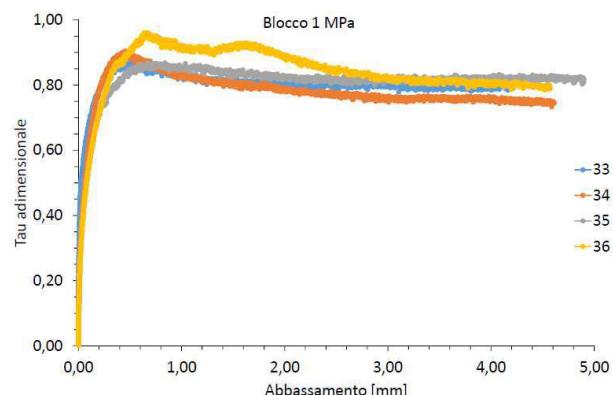
Note: campione con giunto di malta compromesso

Per comprendere meglio il comportamento dei campioni all'interno dei rispettivi blocchi di precompressione e per rendere più facile l'individuazione di eventuali similitudini o anomalie, i quattro diagrammi “tau adimensionale - abbassamento” vengono raggruppati in un unico diagramma. Ottenendo così tre diagrammi, ognuno dei quali con le relative quattro curve sovrapposte:



a)

b)



c)

Figura 3.59 a, b, c – Diagrammi tau adimensionale sigma sovrapposti

Viene dunque utile raggruppare in una tabella i parametri principali di questi grafici:

PROVINO	TAU ADIMENSIONALE MASSIMA		ABBASSAMENTO TAU ADIMENSIONALE MASSIMA		COEFFICIENTE D'ATTRITO	
	valore	media (±dev. standard)	valore	media (±dev. standard)	valore	media (±dev. standard)
25_R_M2.5_02_1	1,15	1,20 (± 0,23)	0,11	0,21 (± 0,11)	0,82	0,85 (± 0,15)
26_R_M2.5_02_2	0,97		0,24		0,65	
27_R_M2.5_02_3	1,52		0,13		0,93	
28_R_M2.5_02_4	1,17		0,34		0,98	
29_R_M2.5_06_1	1,13	1,01 (± 0,10)	0,43	0,43 (± 0,04)	0,90	0,85 (± 0,04)
30_R_M2.5_06_2	1,02		0,46		0,84	
31_R_M2.5_06_3	0,90		0,37		0,81	
32_R_M2.5_06_4	0,98		0,45		0,85	
33_R_M2.5_1_1	0,87	0,90 (± 0,04)	0,44	0,54 (± 0,14)	0,80	0,80 (± 0,02)
34_R_M2.5_1_2	0,90		0,41		0,77	
35_R_M2.5_1_3	0,87		0,68		0,82	
36_R_M2.5_1_4	0,96		0,64		0,81	

Tabella 3.42 – Tabella dei risultati adimensionali M2.5

Un ultimo passaggio nella trattazione del taglio è quello del tracciamento del grafico della legge di Coulomb. La legge di Coulomb cerca una correlazione tra sigma e tau in forma lineare:

$$\tau = \mu \cdot \sigma + c$$

Si può conseguentemente agire secondo due modalità diverse per quanto riguarda la sigma: usare i valori dati dalla normativa, cioè: 0,2 MPa, 0,6 MPa e 1,0 MPa e le tau di rottura oppure usare le sigma corrispondenti alla tau di rottura:

- Coordinate normative

Provino	Sigma [MPa]	Tau [MPa]
25_R_M2.5_02_1	0,20	0,39 0,33 0,48 0,32
26_R_M2.5_02_2	0,20	
27_R_M2.5_02_3	0,20	
28_R_M2.5_02_4	0,20	
29_R_M2.5_06_1	0,60	0,73 0,46 0,54 0,59
30_R_M2.5_06_2	0,60	
31_R_M2.5_06_3	0,60	
32_R_M2.5_06_4	0,60	
33_R_M2.5_1_1	1,00	0,78 0,70 0,89 0,70
34_R_M2.5_1_2	1,00	
35_R_M2.5_1_3	1,00	
36_R_M2.5_1_4	1,00	

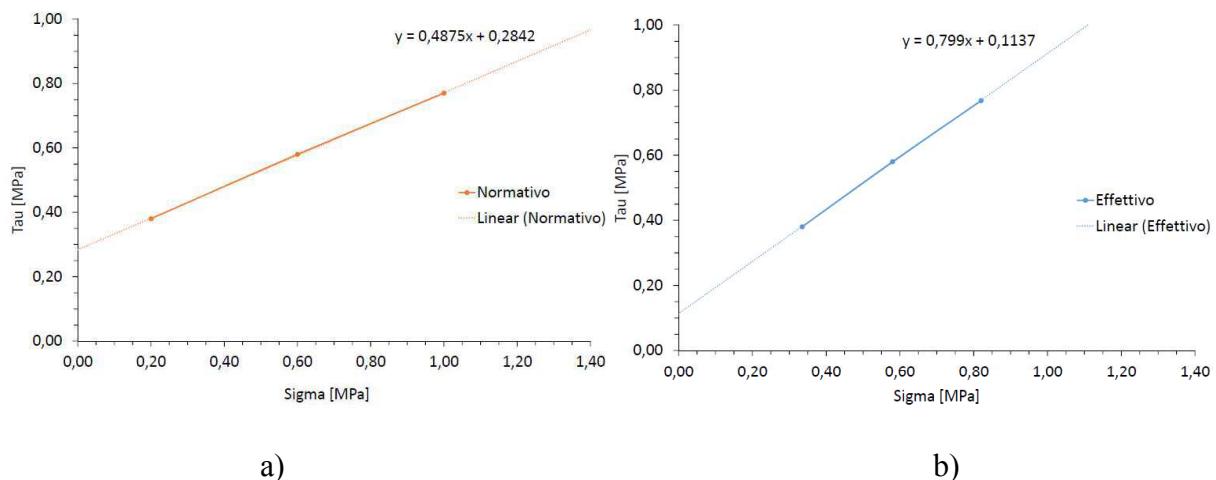
Tabella 3.43 – Coordinate normative

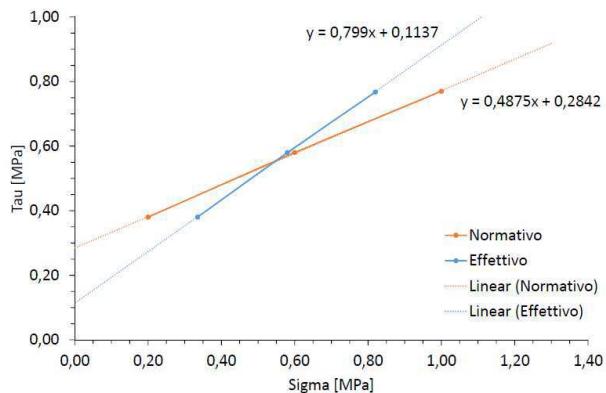
- Coordinate effettive

Provino	Sigma [MPa]	Tau [MPa]	
25_R_M2.5_02_1	0,38	0,34	0,39
26_R_M2.5_02_2	0,28		0,33
27_R_M2.5_02_3	0,36		0,48
28_R_M2.5_02_4	0,32		0,32
29_R_M2.5_06_1	0,65	0,58	0,73
30_R_M2.5_06_2	0,45		0,46
31_R_M2.5_06_3	0,61		0,54
32_R_M2.5_06_4	0,61		0,59
33_R_M2.5_1_1	0,84	0,82	0,78
34_R_M2.5_1_2	0,76		0,70
35_R_M2.5_1_3	0,97		0,89
36_R_M2.5_1_4	0,71		0,70

Tabella 3.44 – Coordinate effettive

Dati questi due gruppi di coordinate traccio i grafici della legge di Coulomb nei due casi:





c)

Figura 3.60 a, b, c – Leggi di Coulomb

### 3.3.1.2 M10

- I\_R\_M10\_02\_1**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	23,61 kN
$\tau_{MAX}$	0,82 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,42 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	2,37
$Abbassamento(\tau_{adm_{MAX}})$	0,01 mm
<i>Coefficiente d'attrito</i>	0,87

Tabella 3.45 – Risultati I\_R\_M10\_02\_1

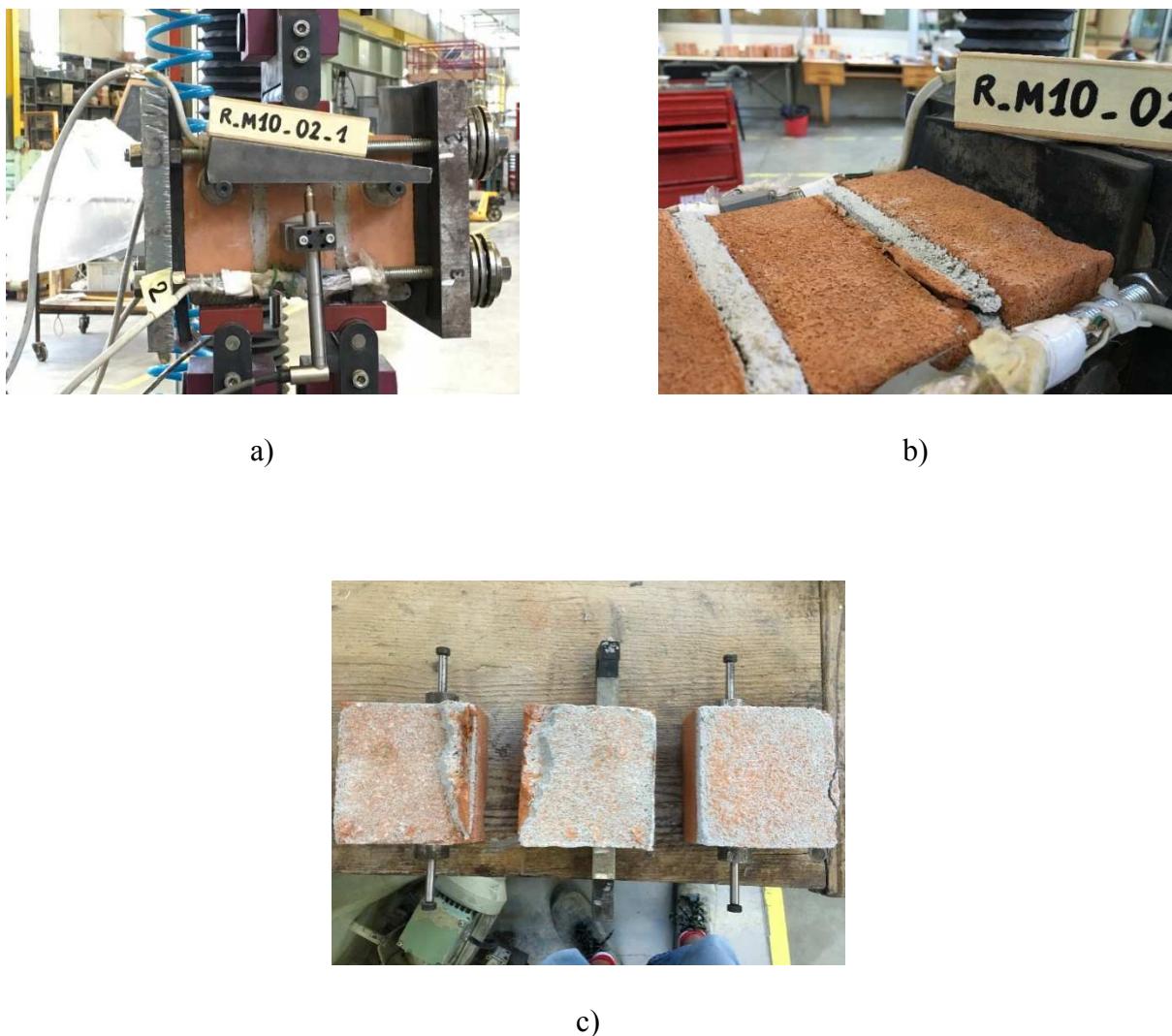
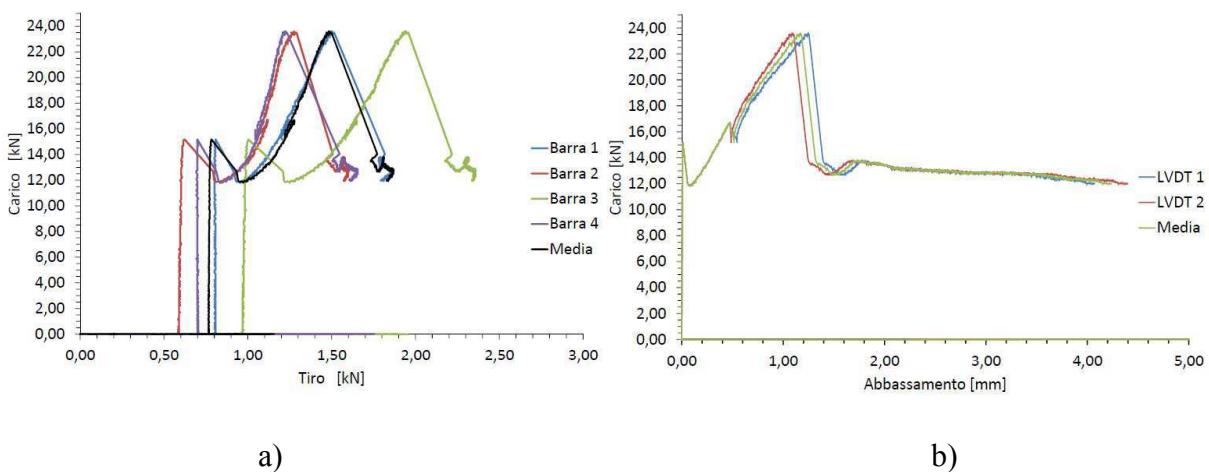


Figura 3.61 a, b, c – Campione 1\_R\_M10\_02\_1



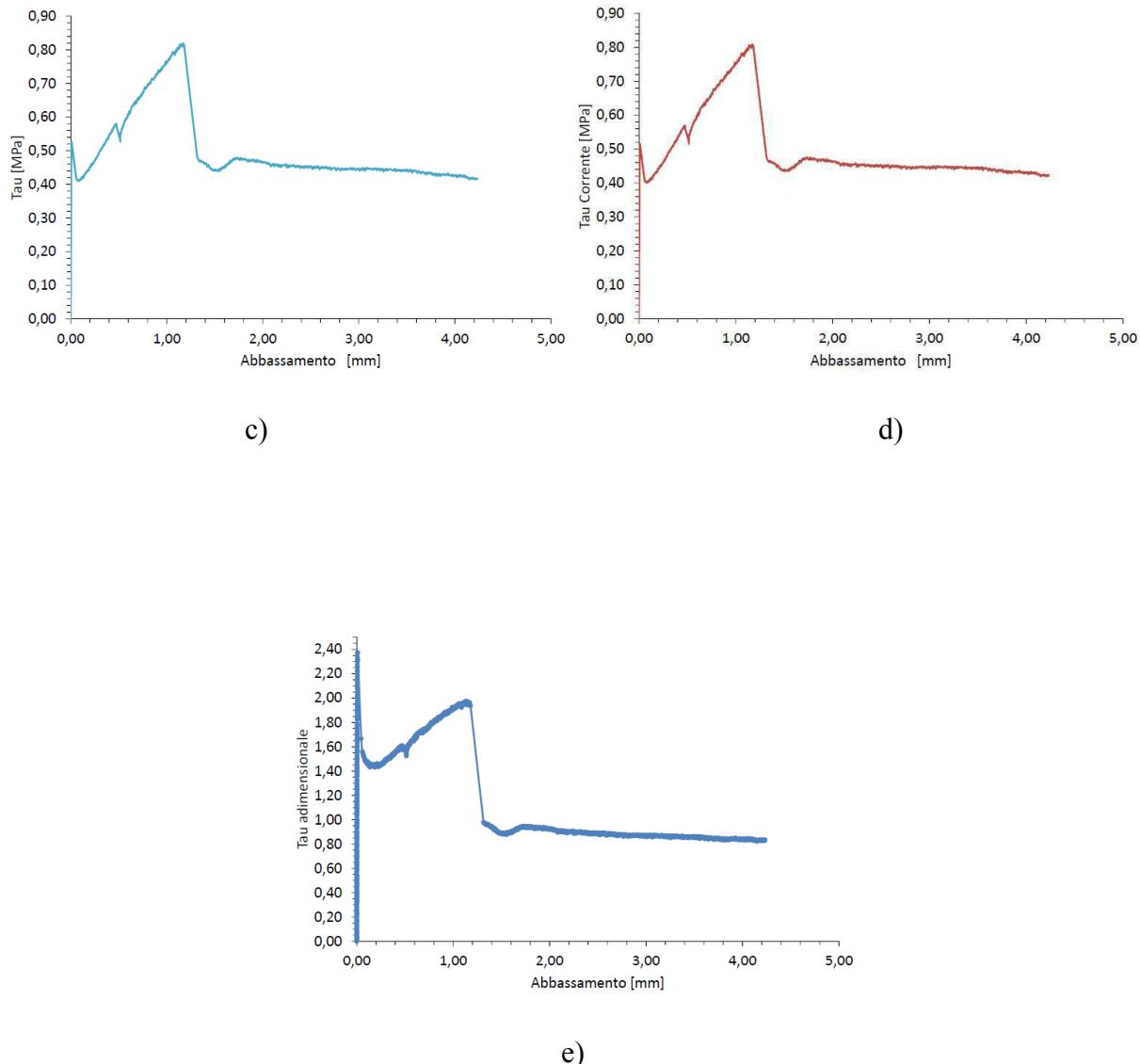


Figura 3.62 a, b, c, d, e – Diagrammi I\_R\_M10\_02\_I

Note: campione con giunto di malta integro

---

- ***2\_R\_M10\_02\_2***

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	8,40 kN
$\tau_{MAX}$	0,29 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,19 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	1,50
<i>Abbassamento</i> ( $\tau_{adm_{MAX}}$ )	0,56 mm
<i>Coefficiente d'attrito</i>	0,94

Tabella 3.46 – Risultati 2\_R\_M10\_02\_2



a)

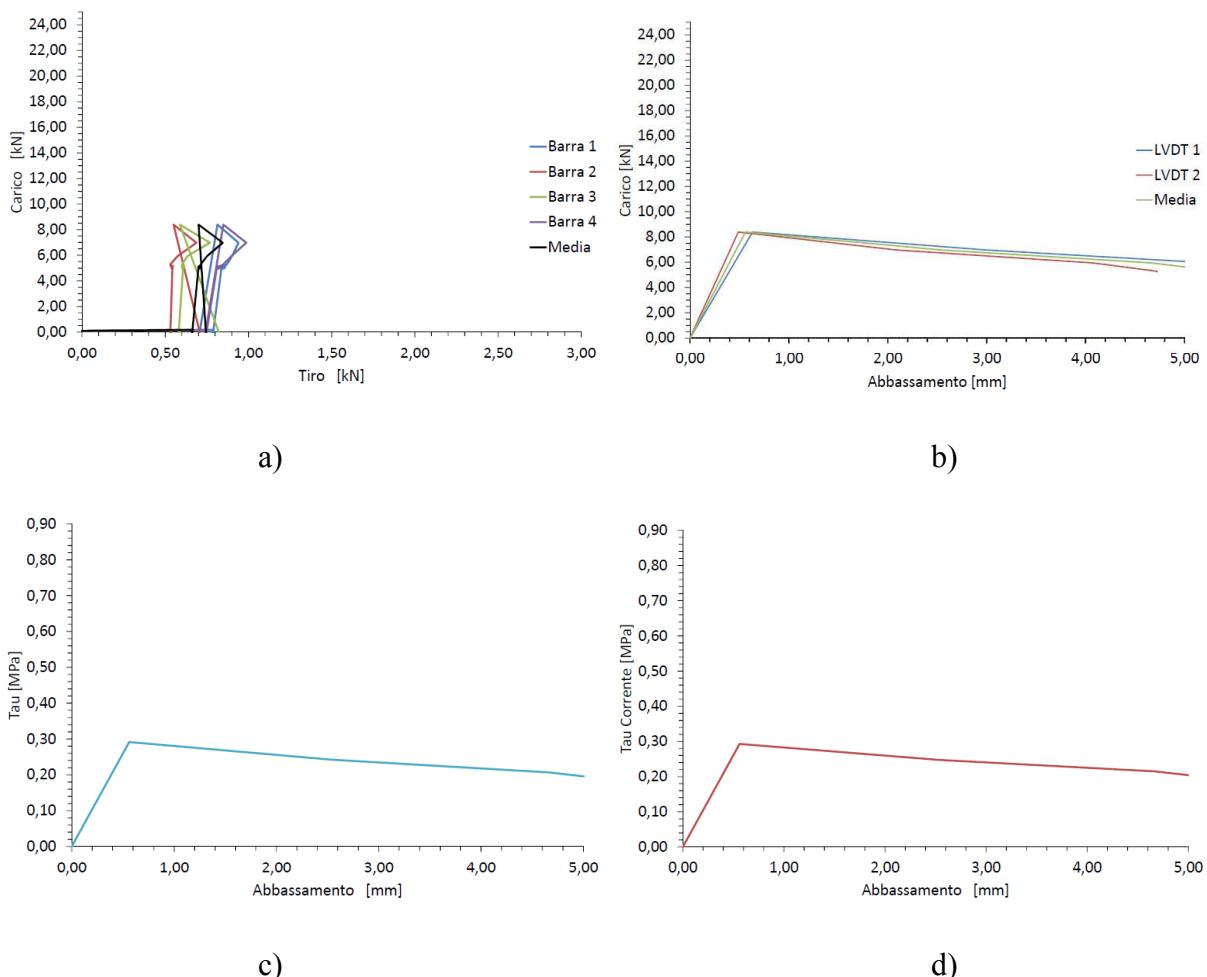


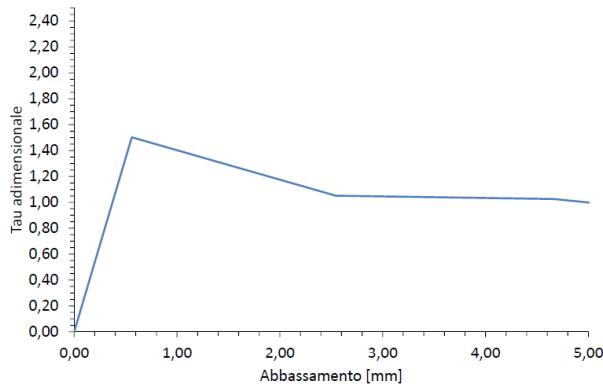
b)



c)

Figura 3.63 a, b, c – Campione 2\_R\_M10\_02\_2





e)

Figura 3.64 a, b, c, d, e – Diagrammi 2\_R\_M10\_02\_2

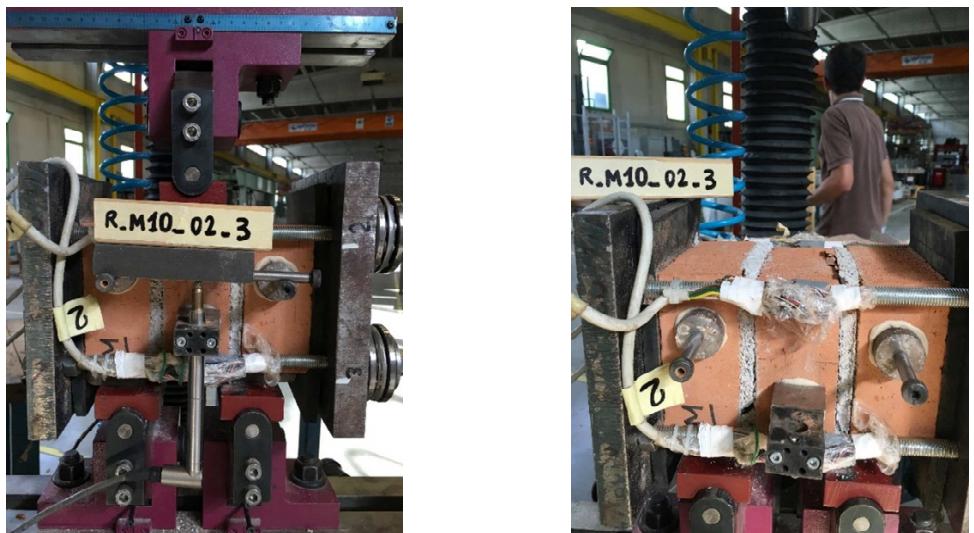
Note: campione con giunto di malta compromesso

- 3\_R\_M10\_02\_3

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	15,45 kN
$\tau_{MAX}$	0,54 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,32 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	1,68
$Abbassamento(\tau_{adm_{MAX}})$	0,59 mm
Coefficiente d'attrito	0,91

Tabella 3.47 – Risultati 3\_R\_M10\_02\_3



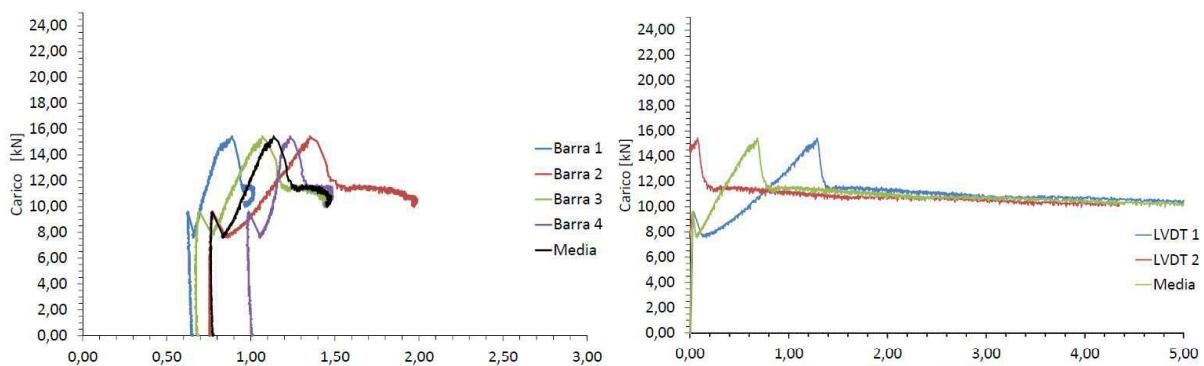
a)

b)



c)

Figura 3.65 a, b, c – Campione 3\_R\_M10\_02\_3



a)

b)

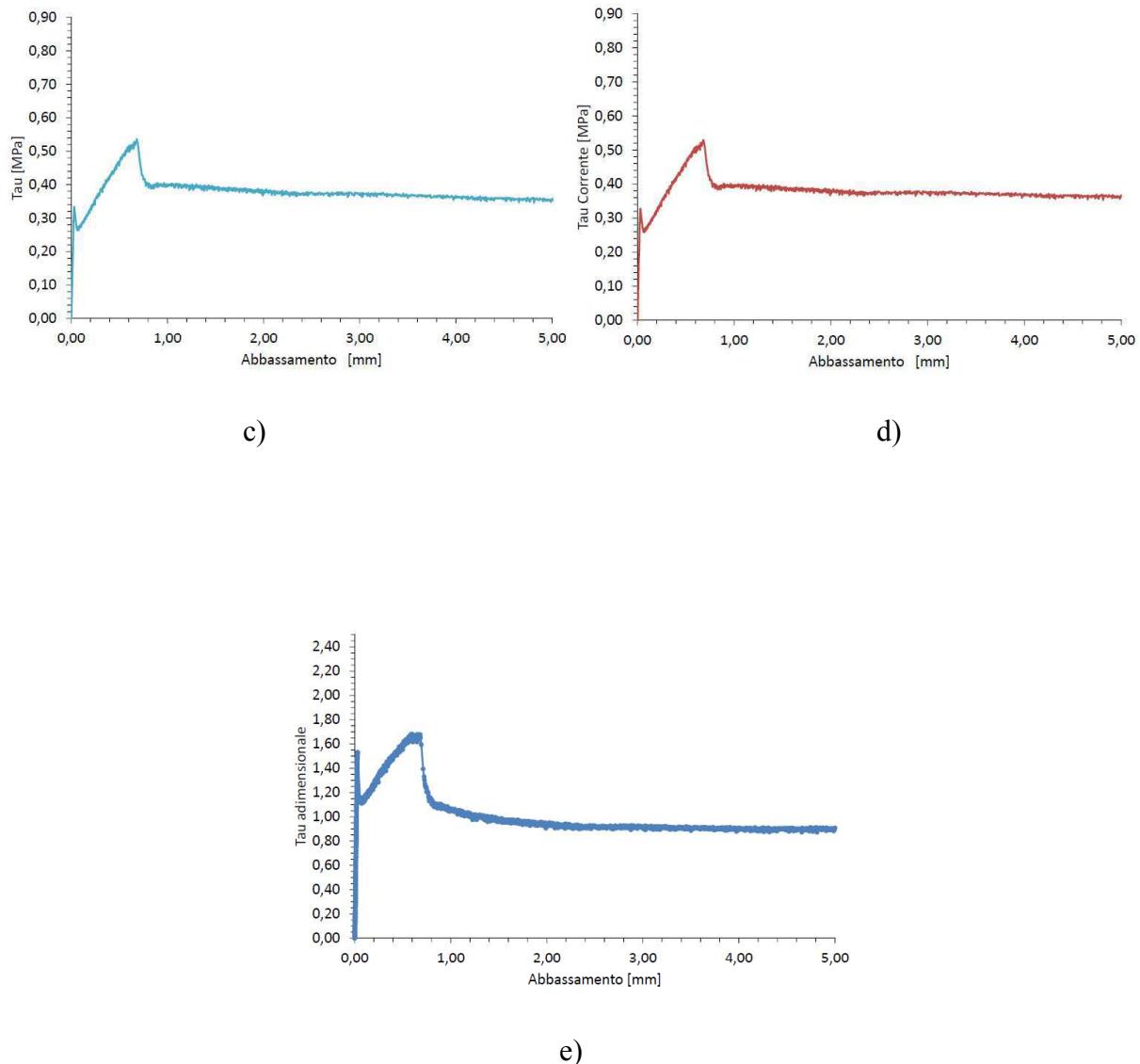


Figura 3.66 a, b, c, d, e – Diagrammi 3\_R\_M10\_02\_3

Note: campione con giunto di malta integro

• **4\_R\_M10\_02\_4**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	11,85 kN
$\tau_{MAX}$	0,41 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,31 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	1,33
<i>Abbassamento</i> ( $\tau_{adm_{MAX}}$ )	0,19 mm
<i>Coefficiente d'attrito</i>	0,84

Tabella 3.48 – Risultati 4\_R\_M10\_02\_4



a)

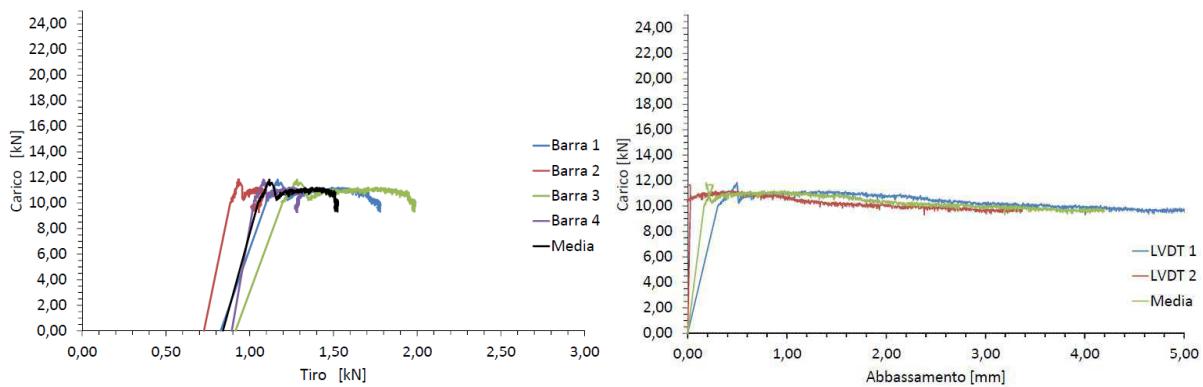


b)



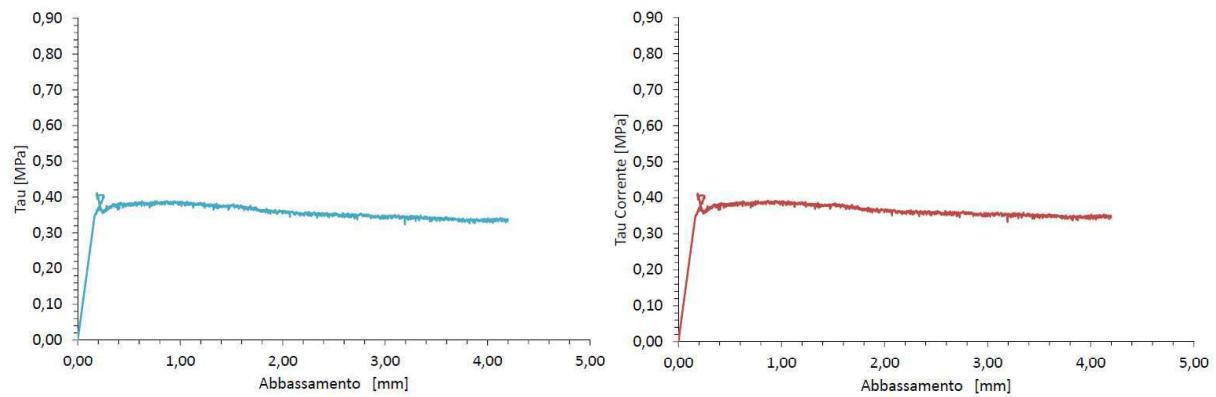
c)

Figura 3.67 a, b, c – Campione 4\_R\_M10\_02\_4



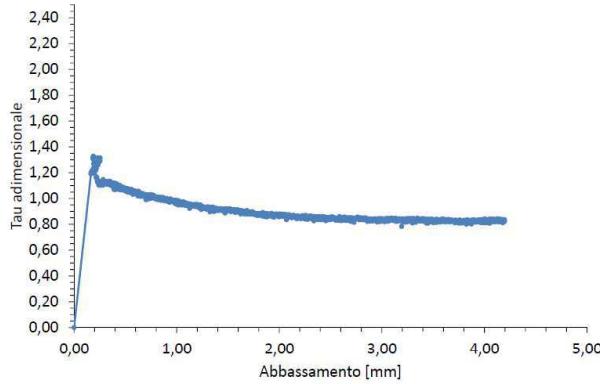
a)

b)



c)

d)



e)

Figura 3.68 a, b, c, d, e – Diagrammi 4\_R\_M10\_02\_4

Note: campione con giunto di malta compromesso

- **5\_R\_M10\_06\_1**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	19,80 kN
$\tau_{MAX}$	0,69 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,69 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	1,02
$Abbassamento(\tau_{adm_{MAX}})$	0,27 mm
Coefficiente d'attrito	0,81

Tabella 3.49 – Risultati 5\_R\_M10\_06\_1

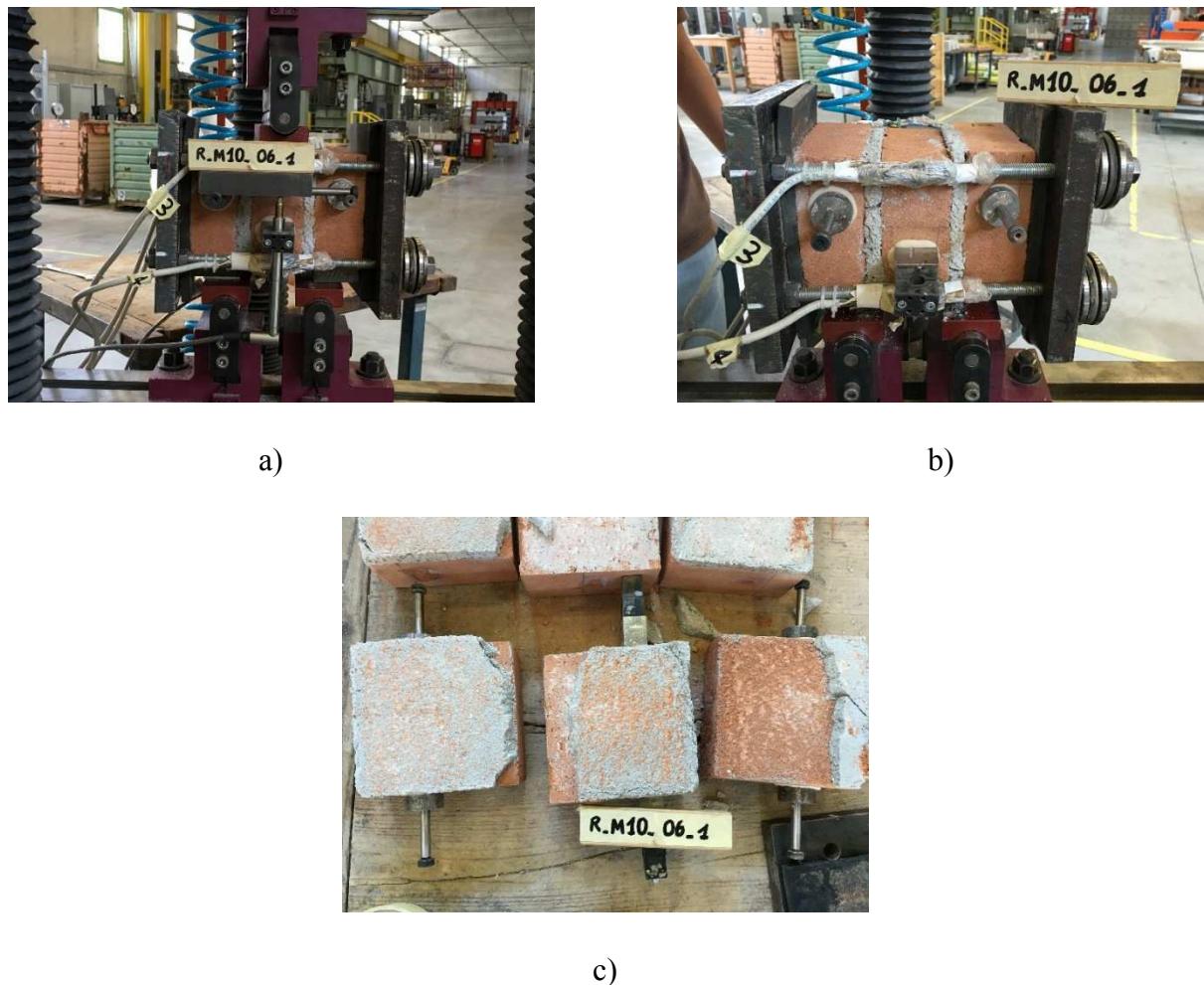
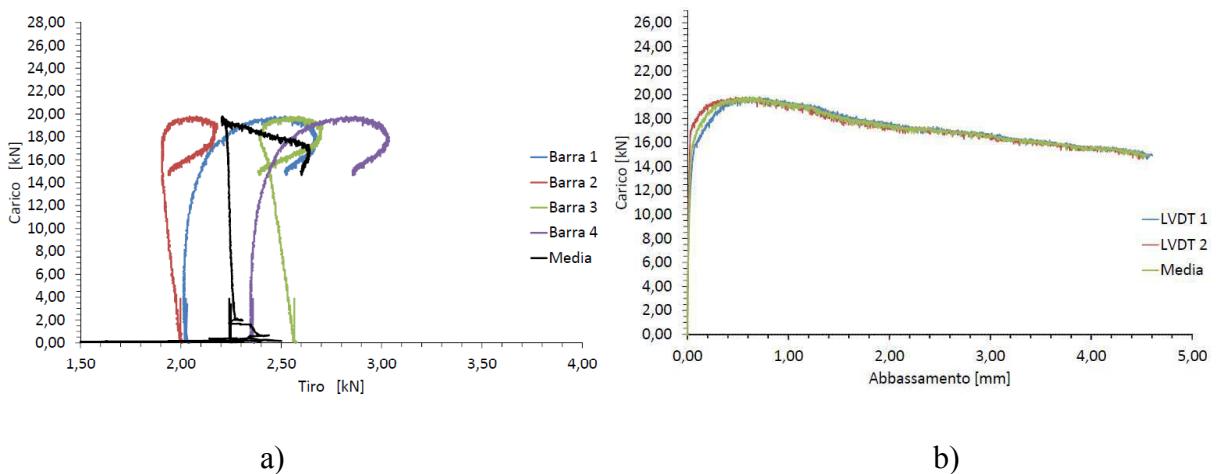


Figura 3.69 a, b, c – Campione 5\_R\_M10\_06\_1



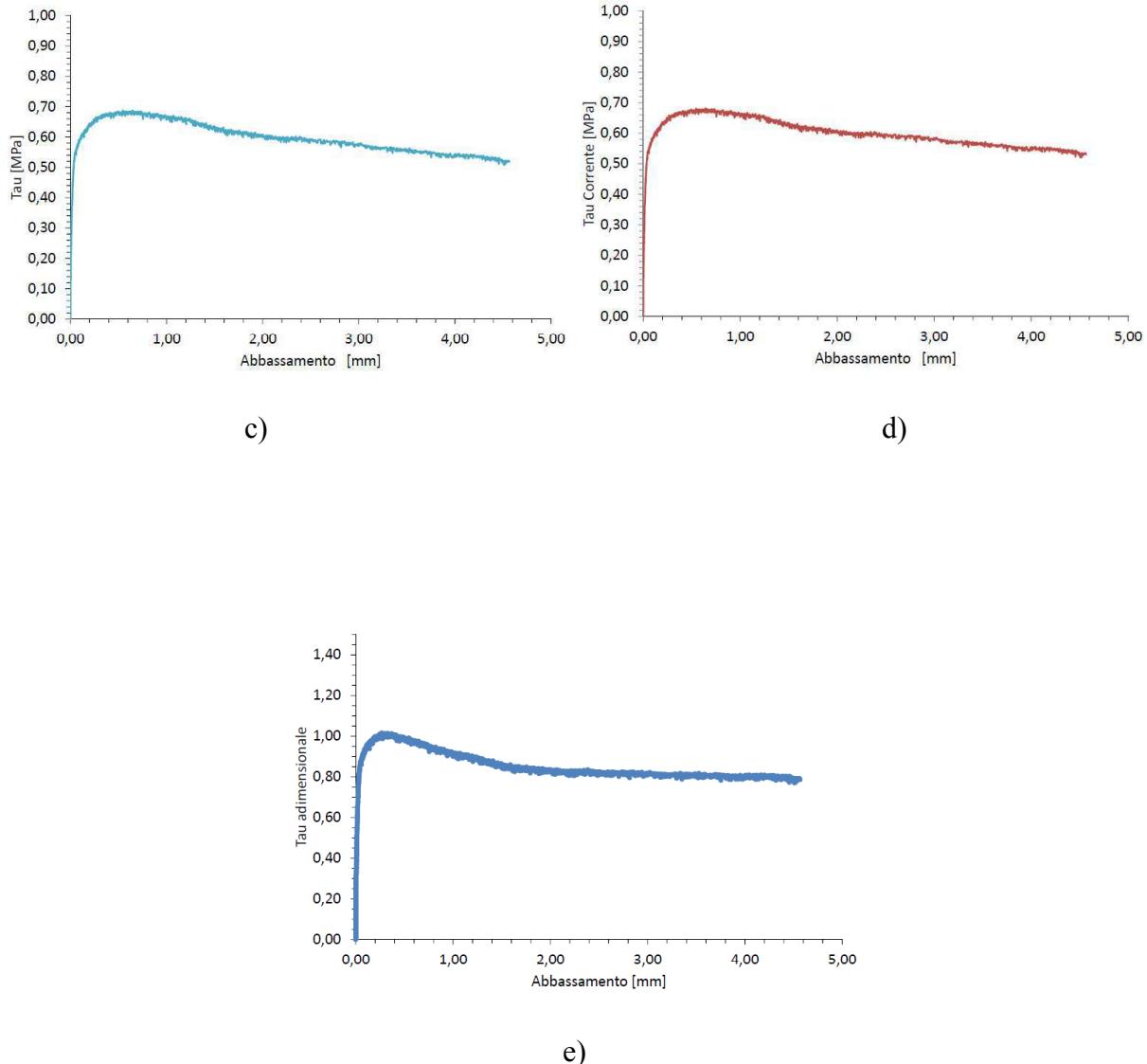


Figura 3.70 a, b, c, d, e – Diagrammi 5\_R\_M10\_06\_I

Note: campione con giunto di malta compromesso

---

- ***6\_R\_M10\_06\_2***

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	17,08 kN
$\tau_{MAX}$	0,59 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,61 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	0,95
<i>Abbassamento</i> ( $\tau_{adm_{MAX}}$ )	0,68 mm
<i>Coefficiente d'attrito</i>	0,84

Tabella 3.50 – Risultati *6\_R\_M10\_06\_2*



a)

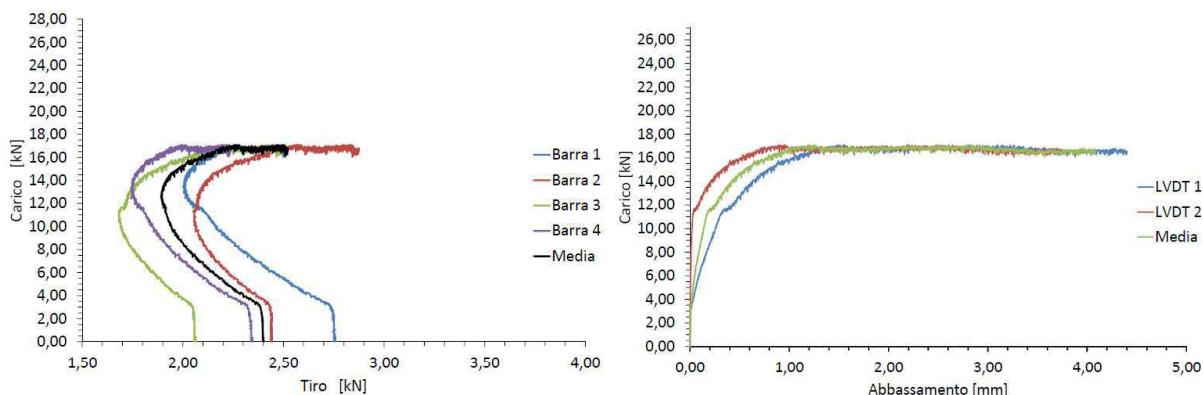


b)



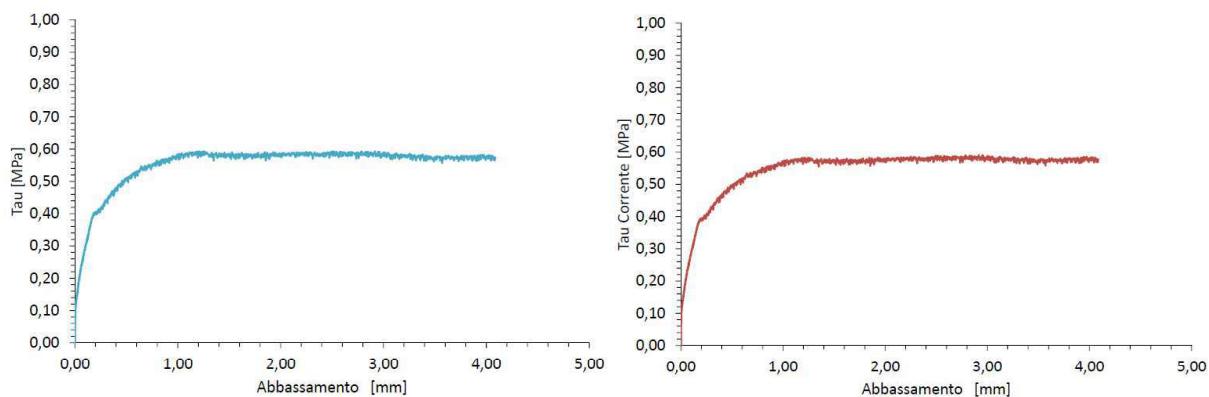
c)

Figura 3.71 a, b, c – Campione 6\_R\_M10\_06\_2



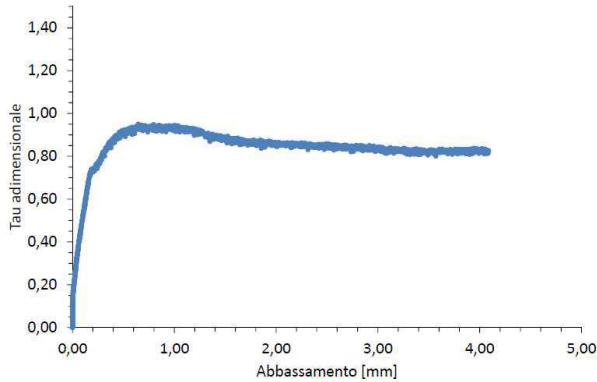
a)

b)



c)

d)



e)

Figura 3.72 a, b, c, d, e – Diagrammi 6\_R\_M10\_06\_2

Note: campione con giunto di malta compromesso

- **7\_R\_M10\_06\_3**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	26,40 kN
$\tau_{MAX}$	0,92 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,71 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	1,26
$Abbassamento(\tau_{adm_{MAX}})$	0,07 mm
<i>Coefficiente d'attrito</i>	0,90

Tabella 3.51 – Risultati 7\_R\_M10\_06\_3

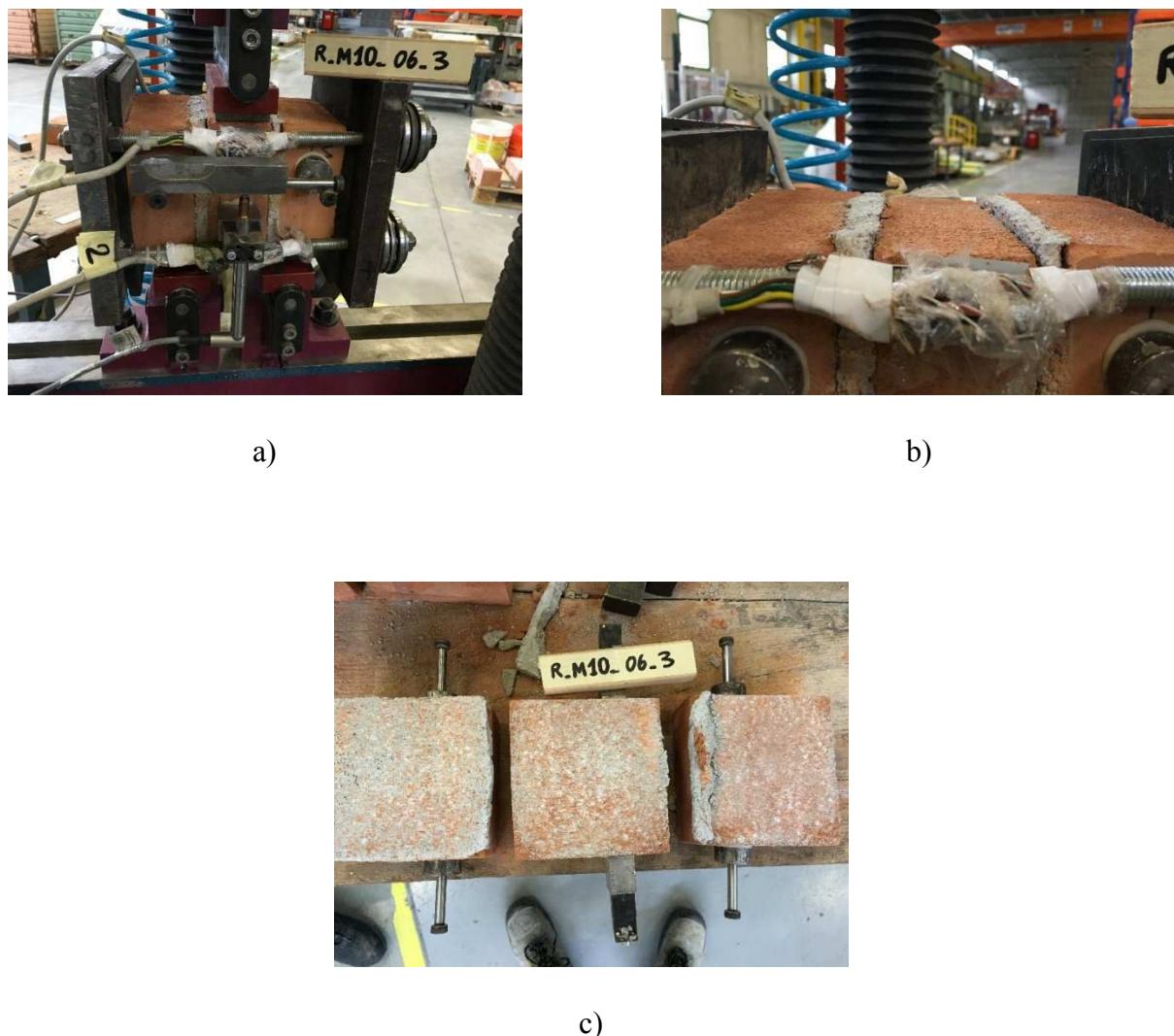
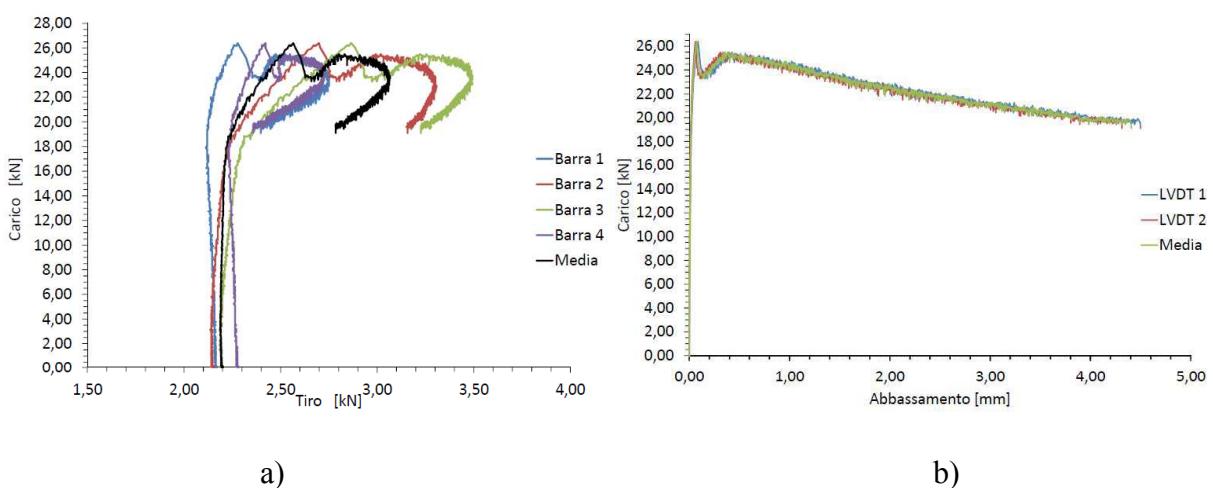


Figura 3.73 a, b, c – Campione 7\_R\_M10\_06\_3



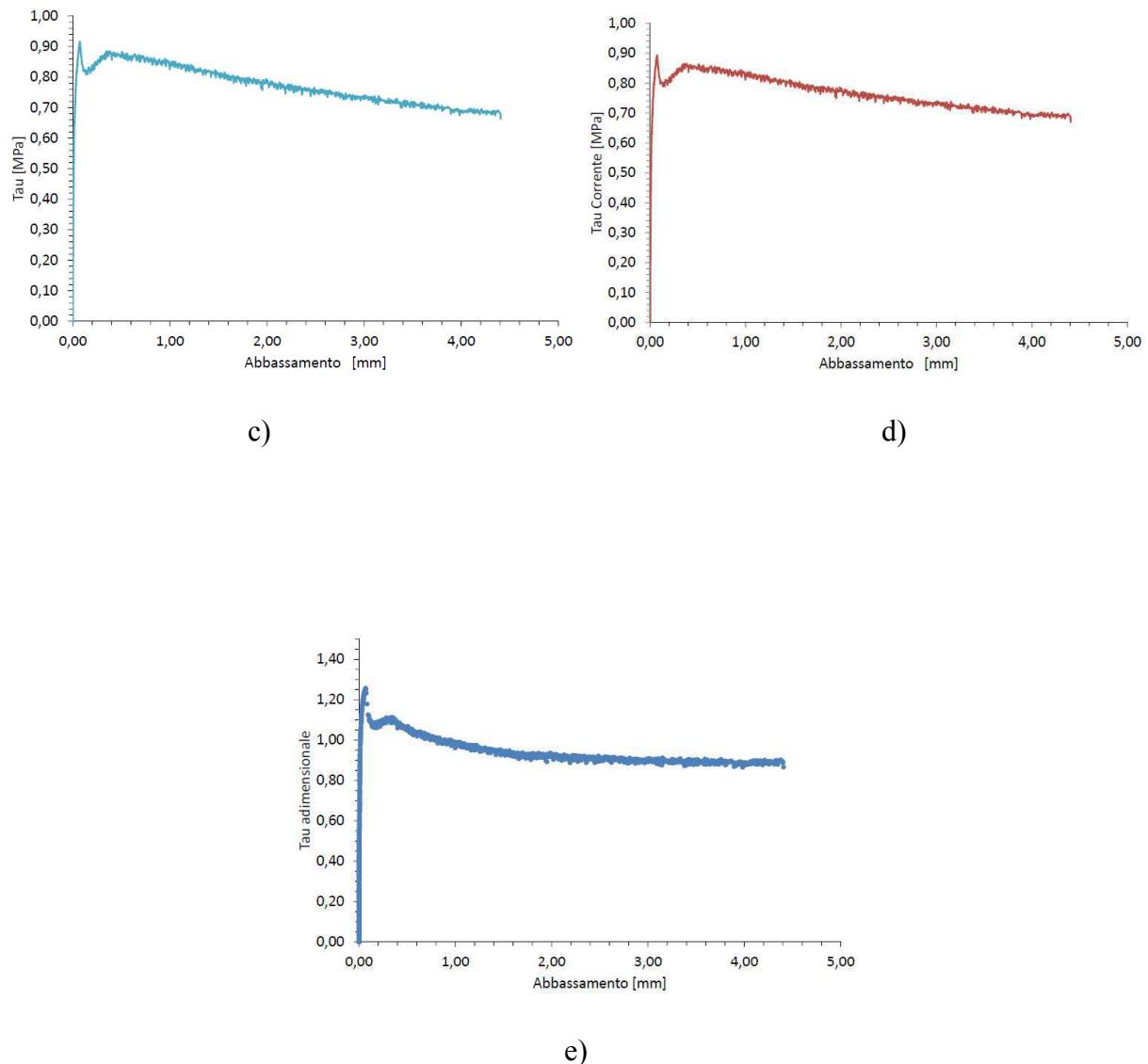


Figura 3.74 a, b, c, d, e – Diagrammi 7\_R\_M10\_06\_3

Note: campione con giunto di malta integro

• **8\_R\_M10\_06\_4**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	24,02 kN
$\tau_{MAX}$	0,83 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,83 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	1,02
<i>Abbassamento</i> ( $\tau_{adm_{MAX}}$ )	0,02 mm
<i>Coefficiente d'attrito</i>	0,74

Tabella 3.52 – Risultati 8\_R\_M10\_06\_4



a)

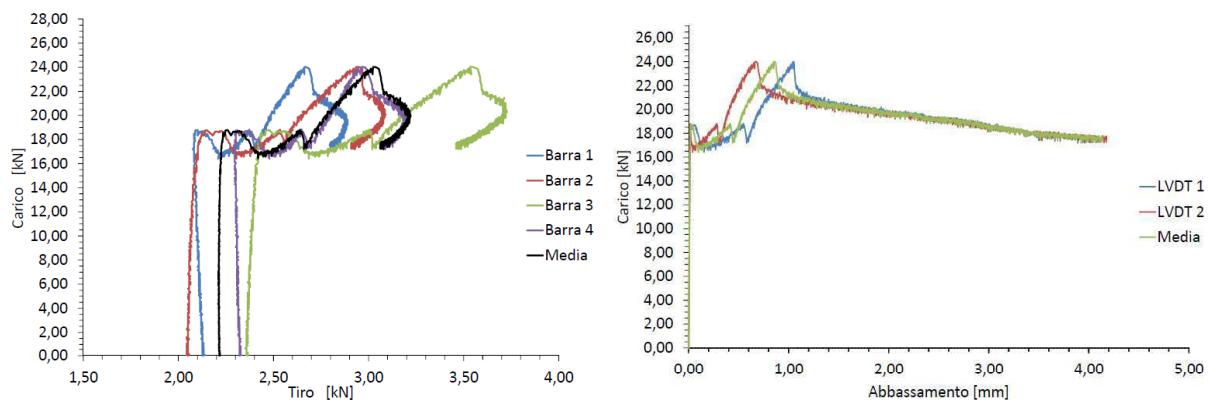


b)



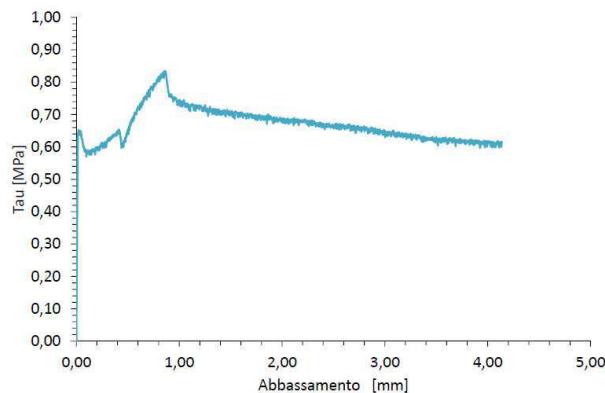
c)

Figura 3.75 a, b, c – Campione 8\_R\_M10\_06\_4

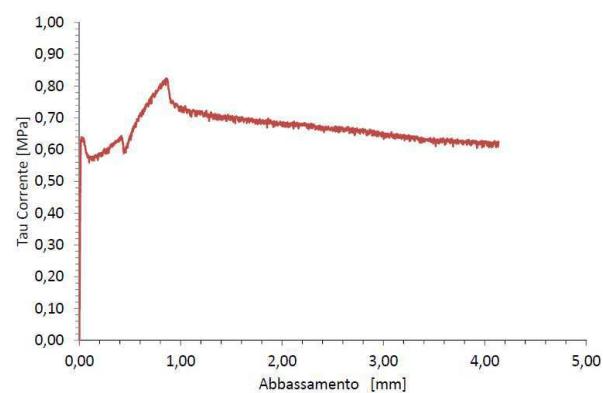


a)

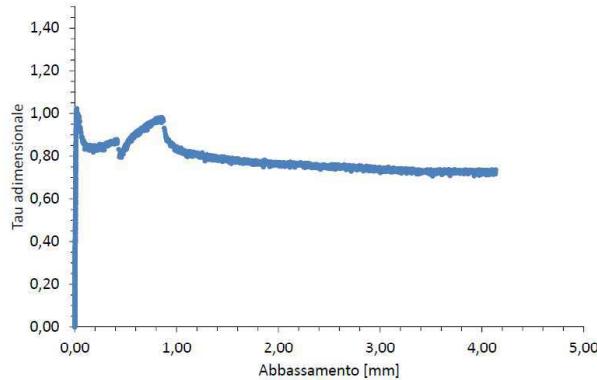
b)



c)



d)



e)

Figura 3.76 a, b, c, d, e – Diagrammi 8\_R\_M10\_06\_4

Note: campione con giunto di malta integro

- **9\_R\_M10\_1\_1**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	31,48 kN
$\tau_{MAX}$	1,09 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,91 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	1,19
$Abbassamento(\tau_{adm_{MAX}})$	0,54 mm
Coefficiente d'attrito	0,78

Tabella 3.53 – Risultati 9\_R\_M10\_1\_1

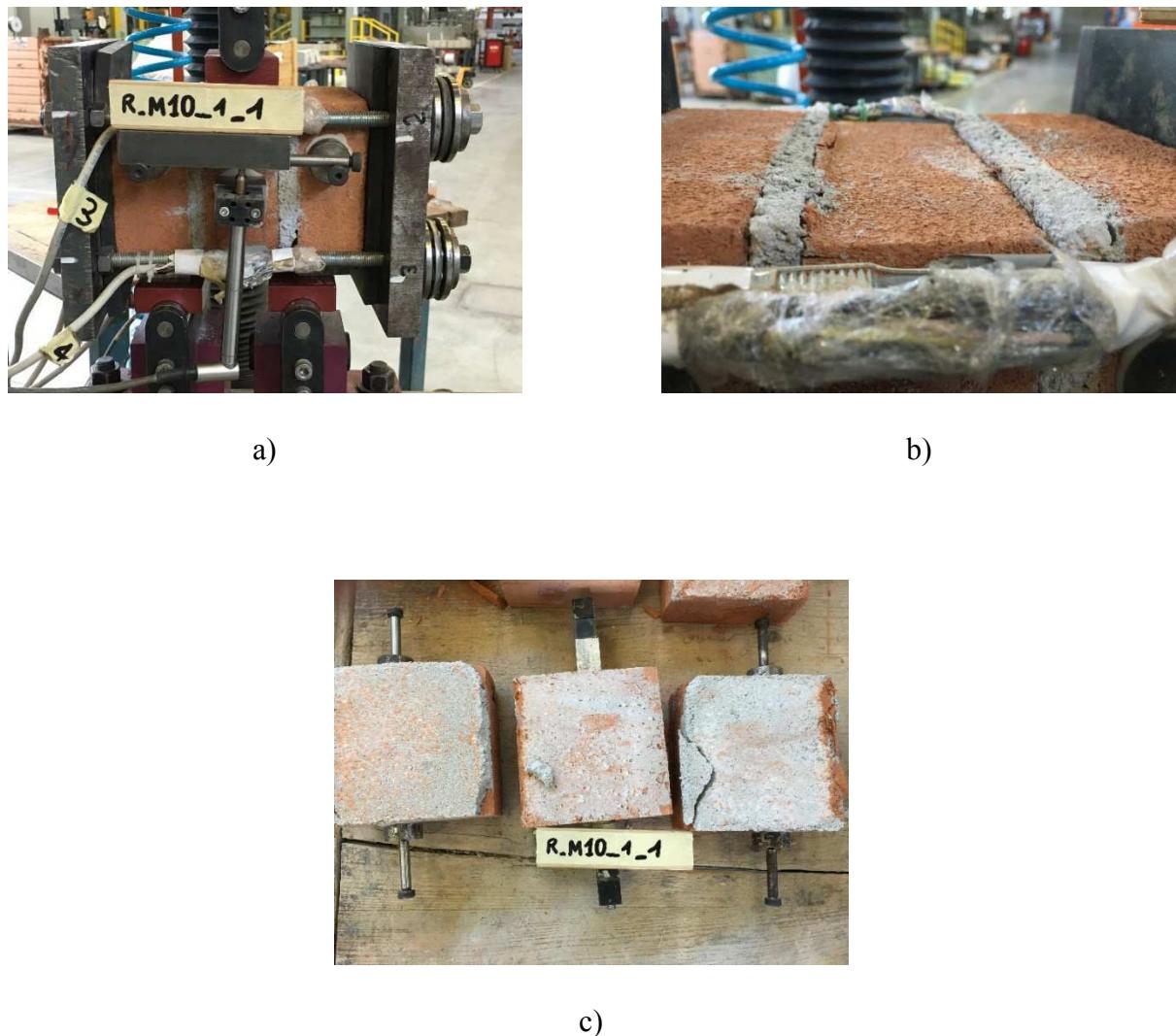
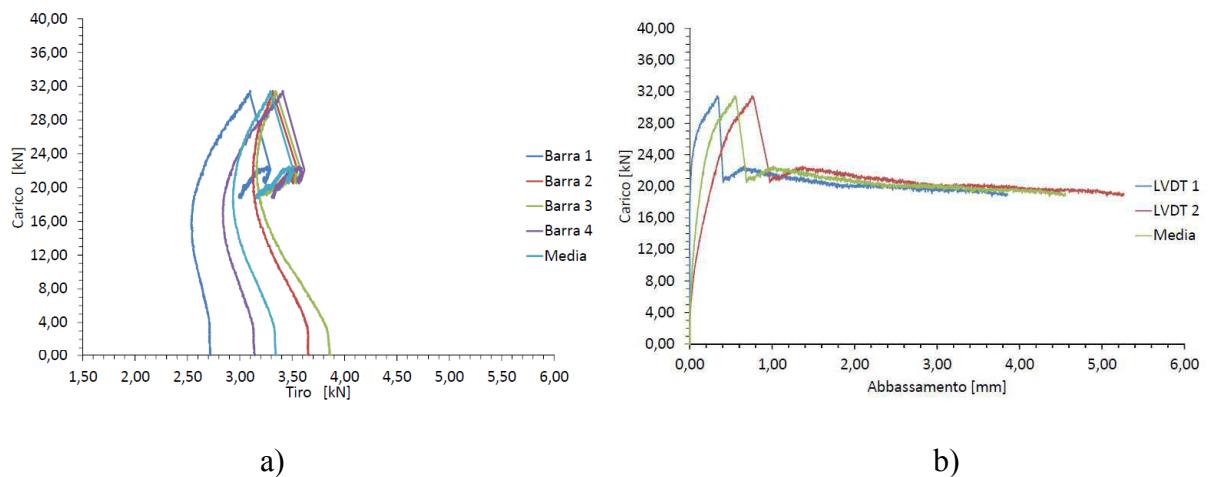
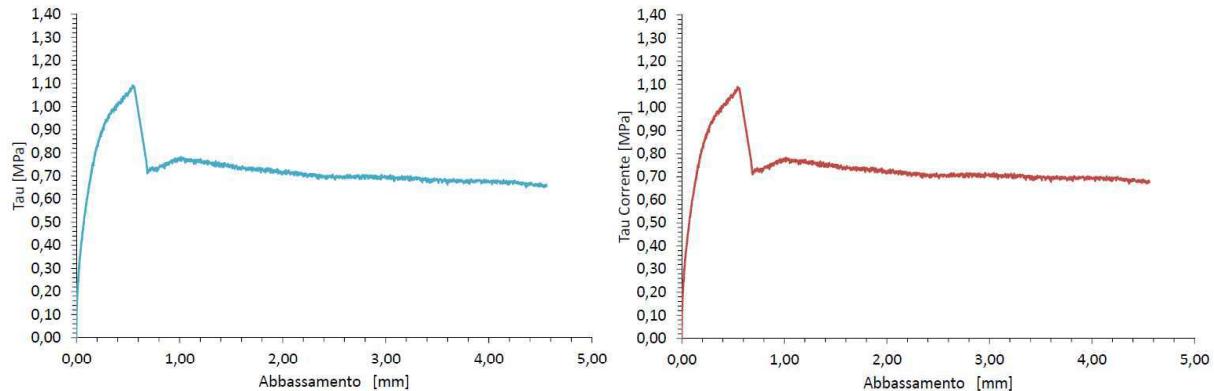


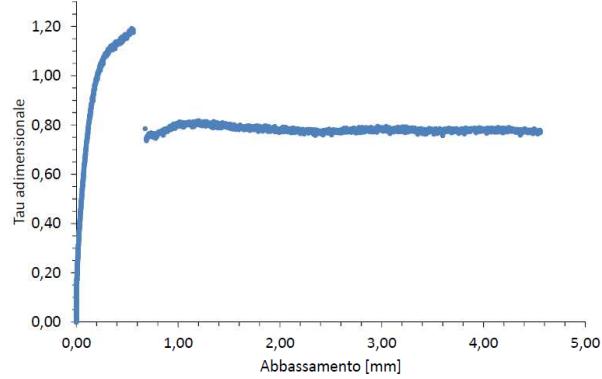
Figura 3.77 a, b, c – Campione 9\_R\_M10\_1\_1





c)

d)



e)

Figura 3.78 a, b, c, d, e – Diagrammi 9\_R\_M10\_I\_I

Note: campione con giunto di malta compromesso

- **10\_R\_M10\_1\_2**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	38,12 kN
$\tau_{MAX}$	1,32 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	1,16 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	1,11
<i>Abbassamento</i> ( $\tau_{adm_{MAX}}$ )	0,60 mm
<i>Coefficiente d'attrito</i>	0,82

Tabella 3.54 – Risultati 10\_R\_M10\_1\_2



a)

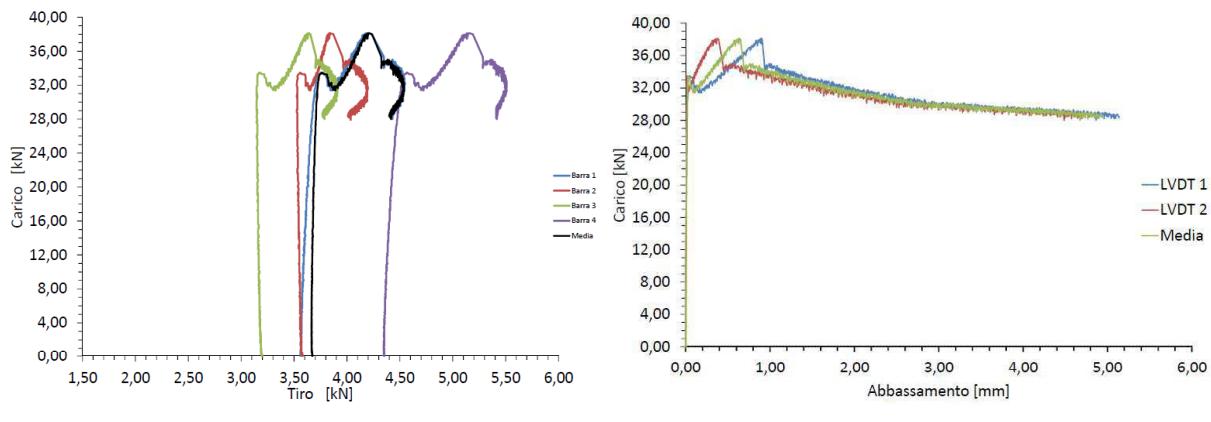


b)



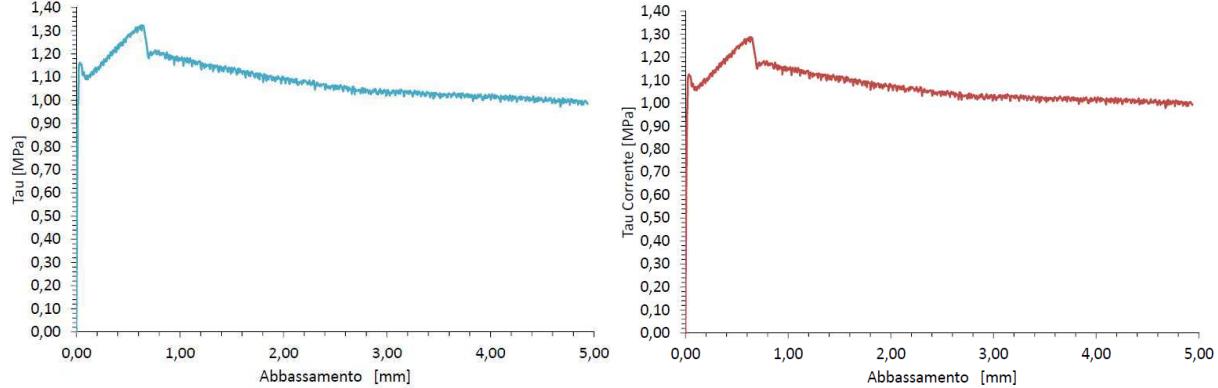
c)

Figura 3.79 a, b, c – Campione 10\_R\_M10\_1\_2



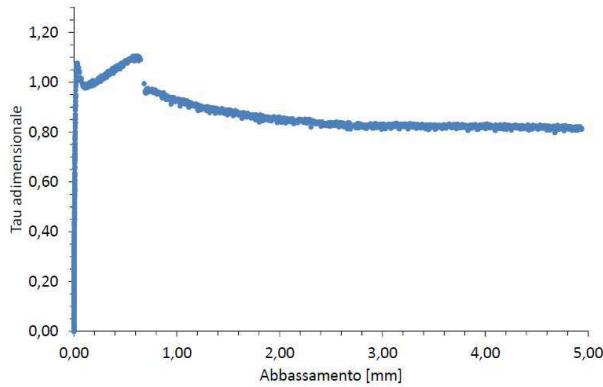
a)

b)



c)

d)



e)

Figura 3.80 a, b, c, d, e – Diagrammi 10\_R\_M10\_1\_2

Note: campione con giunto di malta integro

- **11\_R\_M10\_1\_3**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	33,98 kN
$\tau_{MAX}$	1,18 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	1,04 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	1,11
$Abbassamento(\tau_{adm_{MAX}})$	0,31 mm
Coefficiente d'attrito	0,90

Tabella 3.55 – Risultati 11\_R\_M10\_1\_3

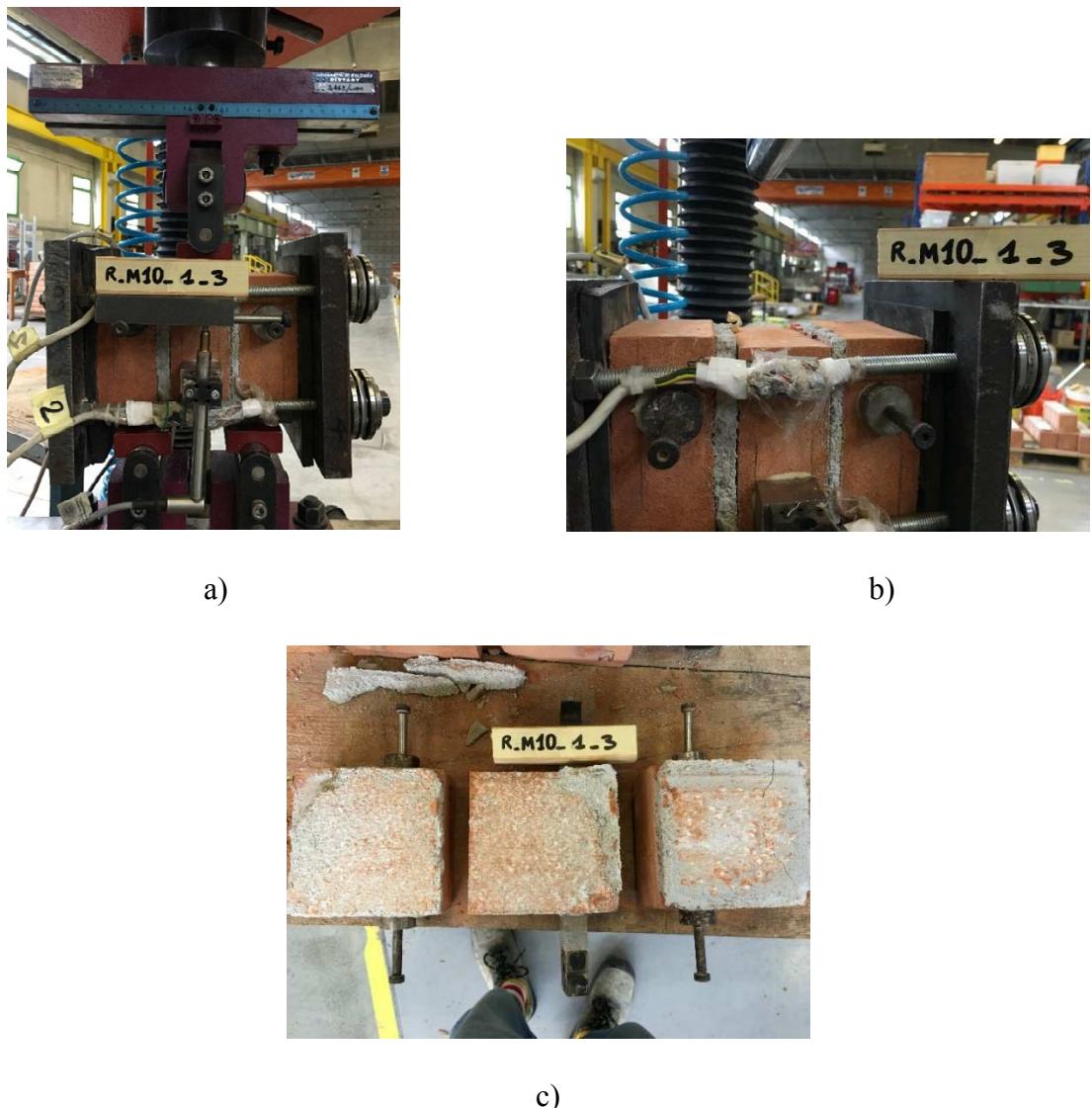
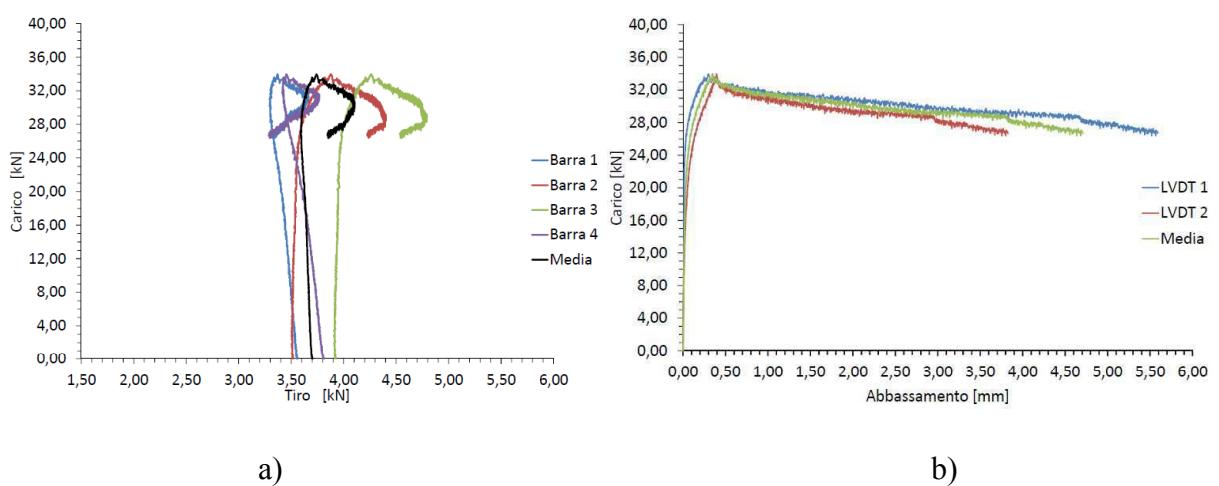


Figura 3.81 a, b, c – Campione 11\_R\_M10\_1\_3



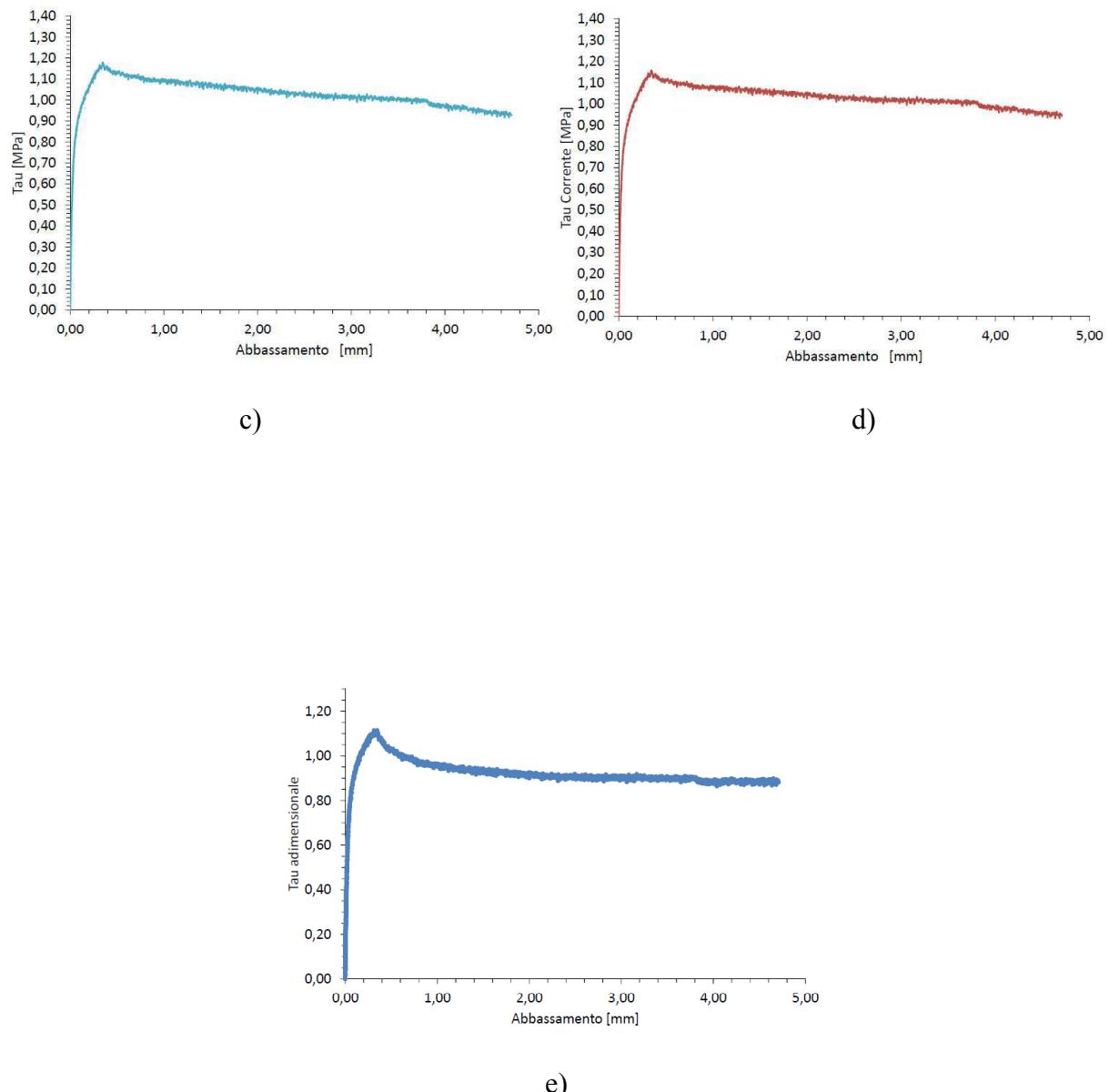


Figura 3.82 a, b, c, d, e – Diagrammi 11\_R\_M10\_1\_3

Note: campione con giunto di malta compromesso

---

• **12\_R\_M10\_1\_4**

I risultati della prova sono:

$P_{MAX}$	32,80 kN
$\tau_{MAX}$	1,14 MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,98 MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	1,18
<i>Abbassamento</i> ( $\tau_{adm_{MAX}}$ )	0,22 mm
<i>Coefficiente d'attrito</i>	1,07

Tabella 3.56 – Risultati 12\_R\_M10\_1\_4



a)

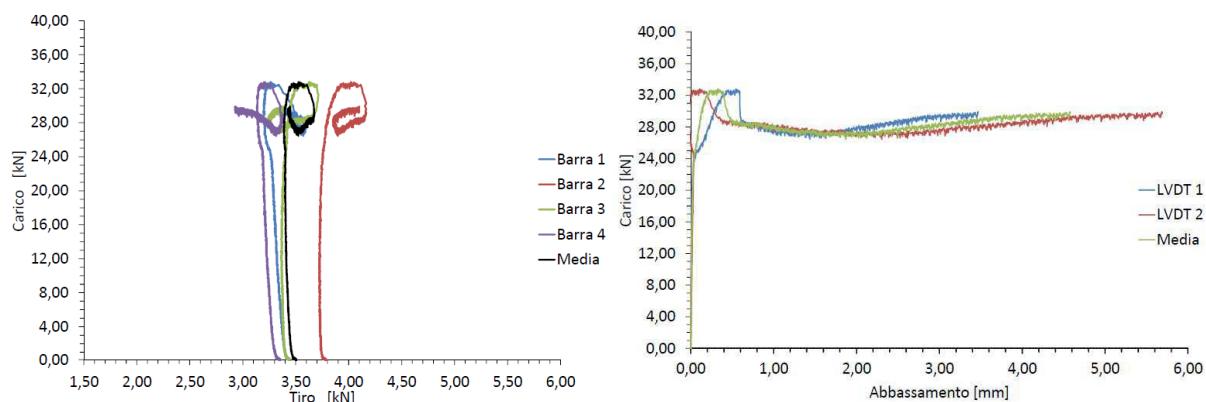


b)



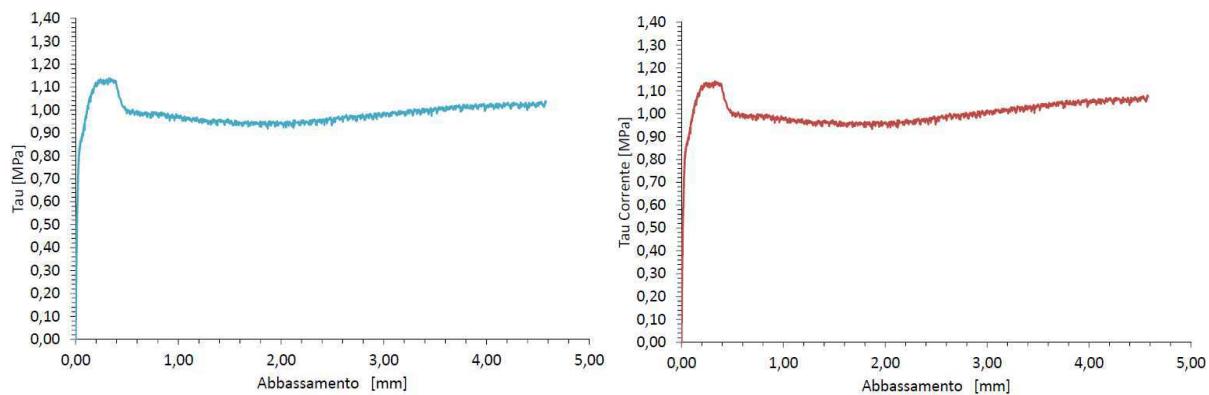
c)

Figura 3.83 a, b, c – Campione 12\_R\_M10\_1\_4



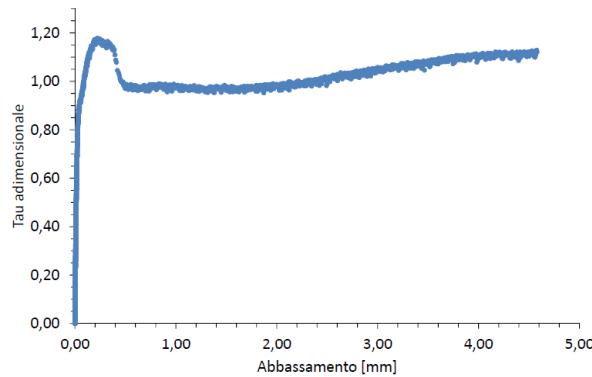
a)

b)



c)

d)

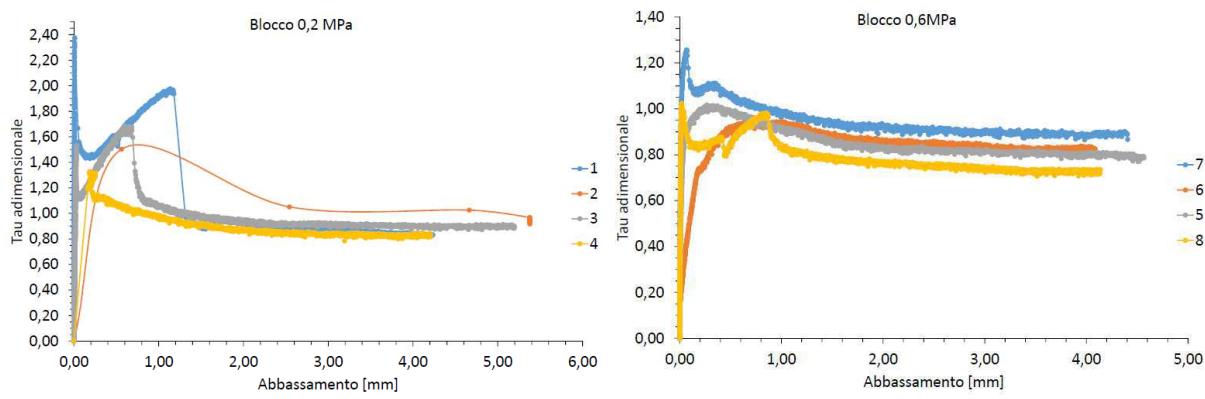


e)

Figura 3.84 a, b, c, d, e – Diagrammi 12\_R\_M10 \_1\_4

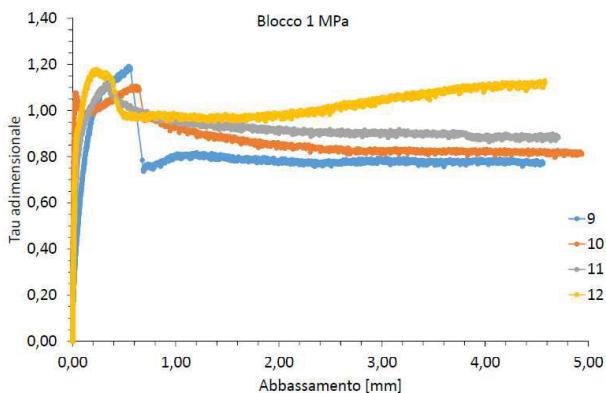
Note: campione con giunto di malta integro

Per comprendere meglio il comportamento dei campioni all'interno dei rispettivi blocchi di precompressione e per rendere più facile l'individuazione di eventuali similitudini o anomalie, i quattro diagrammi “tau adimensionale - abbassamento” vengono raggruppati in un unico diagramma. Ottenendo così tre diagrammi, ognuno dei quali con le relative quattro curve sovrapposte:



a)

b)



c)

Figura 3.85 a, b, c – Diagrammi tau adimensionale sigma sovrapposti

Viene dunque utile raggruppare in una tabella i parametri principali di questi grafici:

PROVINO	TAU ADIMENSIONALE MASSIMA		ABBASSAMENTO TAU ADIMENSIONALE MASSIMA		COEFFICIENTE D'ATTRITO	
	valore	media ( $\pm$ dev. standard)	valore	media ( $\pm$ dev. standard)	valore	media ( $\pm$ dev. standard)
1_R_M10_02_1	2,37	1,72 ( $\pm$ 0,46)	0,01	0,34 ( $\pm$ 0,28)	0,87	0,89 ( $\pm$ 0,04)
2_R_M10_02_2	1,50		0,56		0,94	
3_R_M10_02_3	1,68		0,59		0,91	
4_R_M10_02_4	1,33		0,19		0,84	
5_R_M10_06_1	1,02	1,06 ( $\pm$ 0,14)	0,27	0,26 ( $\pm$ 0,30)	0,81	0,82 ( $\pm$ 0,07)
6_R_M10_06_2	0,95		0,68		0,84	
7_R_M10_06_3	1,26		0,07		0,90	
8_R_M10_06_4	1,02		0,02		0,74	
9_R_M10_1_1	1,19	1,15 ( $\pm$ 0,04)	0,54	0,42 ( $\pm$ 0,18)	0,78	0,89 ( $\pm$ 0,13)
10_R_M10_1_2	1,11		0,60		0,82	
11_R_M10_1_3	1,11		0,31		0,90	
12_R_M10_1_4	1,18		0,22		1,07	

Tabella 3.57 – Tabella dei risultati adimensionali M10

Un ultimo passaggio nella trattazione del taglio è quello del tracciamento del grafico della legge di Coulomb. La legge di Coulomb cerca una correlazione tra sigma e tau in forma lineare:

$$\tau = \mu \cdot \sigma + c$$

Quindi si può agire in due modi diversi per quanto riguarda la sigma: si possono usare i valori dati dalla normativa, cioè: 0,2 MPa, 0,6 MPa e 1,0 MPa e le tau di rottura oppure usare le sigma corrispondenti alla tau di rottura:

- Coordinate normative

Provino	Sigma [MPa]	Tau [MPa]	
1_R_M10_02_1	0,20	0,20	0,82
2_R_M10_02_2	0,20		0,29
3_R_M10_02_3	0,20		0,54
4_R_M10_02_4	0,20		0,41
5_R_M10_06_1	0,60	0,60	0,69
6_R_M10_06_2	0,60		0,59
7_R_M10_06_3	0,60		0,92
8_R_M10_06_4	0,60		0,83
9_R_M10_1_1	1,00	1,00	1,09
10_R_M10_1_2	1,00		1,32
11_R_M10_1_3	1,00		1,18
12_R_M10_1_4	1,00		1,14

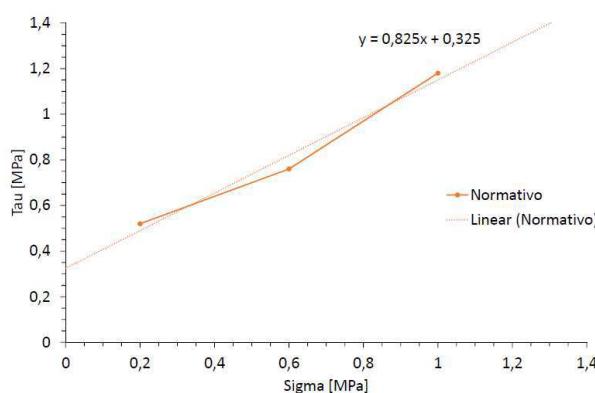
Tabella 3.58 – Coordinate normative

- Coordinate effettive

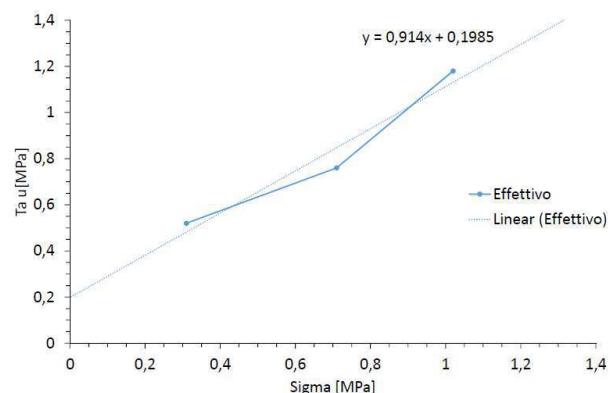
Provino	Sigma [MPa]	Tau [MPa]
1_R_M10_02_1	0,42	0,82 0,29 0,54 0,41
2_R_M10_02_2	0,19	
3_R_M10_02_3	0,32	
4_R_M10_02_4	0,31	
5_R_M10_06_1	0,69	0,69 0,59 0,92 0,83
6_R_M10_06_2	0,61	
7_R_M10_06_3	0,71	
8_R_M10_06_4	0,83	
9_R_M10_1_1	0,91	1,09 1,32 1,18 1,14
10_R_M10_1_2	1,16	
11_R_M10_1_3	1,04	
12_R_M10_1_4	0,98	

Tabella 3.59 – Coordinate effettive

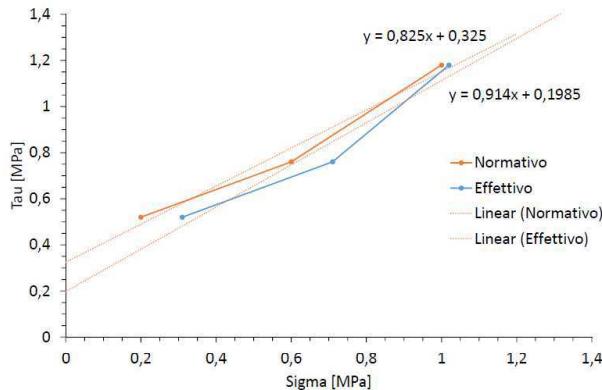
Dati questi due gruppi di coordinate traccio i grafici della legge di Coulomb nei due casi:



a)



b)



c)

Figura 3.86 a, b, c – Leggi di Coulomb

### 3.3.2 Analisi dei risultati

- Il diagramma *carico – tiro* è costituito da cinque curve. Quattro di queste sono associate alle quattro barre che tengono compressato il campione, la quinta è la media delle precedenti. Dal grafico si può evidenziare una prima parte rettilinea e verticale, nella quale si conserva il valore di precompressione impostato. Al termine di questa, in corrispondenza dei primi abbassamenti, tale conservazione viene a mancare e si hanno andamenti variabili a seconda delle specifiche del campione.
- Il diagramma *carico – abbassamento* è costituito da tre curve. Due di queste sono associate alle letture degli LVDT installati, la terza è la media delle due letture. Dal grafico si può evidenziare una prima fase rettilinea e verticale, una seconda curvilinea ma sempre crescente, fino al picco. Dopo il picco si ha un calo del carico in forma curvilinea tendente alla stabilizzazione.
- Il diagramma *tau – abbassamento* è costituito da una sola curva. Dal grafico si possono notare dei comportamenti analoghi a quello precedentemente analizzato. Si ha, quindi, una prima fase rettilinea e verticale, una seconda curvilinea ma sempre crescente, fino al picco. Dopo il picco si ha un calo del carico in forma curvilinea tendente alla stabilizzazione.
- Il diagramma *tau corrente – abbassamento* è costituito da una sola curva. Dal grafico si possono notare dei comportamenti analoghi a quello precedentemente analizzato. Si ha, quindi, una prima fase rettilinea e verticale, una seconda curvilinea ma sempre

crescente, fino al picco. Dopo il picco si ha un calo del carico in forma curvilinea tendente alla stabilizzazione.

- Il diagramma *tau adimensionale – abbassamento* è costituito da una sola curva. Dal grafico si possono notare dei comportamenti analoghi a quello precedentemente analizzato. Si ha, quindi, una prima fase rettilinea e verticale, una seconda curvilinea ma sempre crescente, fino al picco. Dopo il picco si ha un calo del carico in forma curvilinea tendente alla stabilizzazione.

**4.****Conclusioni**

Per concludere, sono qui raggruppate tutte le tabelle finali dei materiali esaminati durante il lavoro della campagna sperimentale.

Per il laterizio si sono ottenuti i seguenti risultati:

NOME	$E [GPa]$		$\sigma_{MAX} [MPa]$	
	SCHEDA TECNICA	VALORE SPERIMENTALE	SCHEDA TECNICA	VALORE SPERIMENTALE
Rosso Vivo	NP	6,60 ( $\pm 0,40$ )	18,00	16,20 ( $\pm 0,02$ )
Giallo Vivo	NP	13,28 ( $\pm 3,83$ )	22,00	19,60 ( $\pm 1,03$ )

N.B. media  $\pm$  deviazione standard

Tabella 4.1 - Tabella conclusiva Vivo

Per le malte:

NOME	$R_f [MPa]$		$R_c [MPa]$	
	SCHEDA TECNICA	VALORE SPERIMENTALE	SCHEDA TECNICA	VALORE SPERIMENTALE
M2.5	1,50	2,47 ( $\pm 0,41$ )	2,50	9,15 ( $\pm 1,54$ )
M10	3,50	2,81 ( $\pm 0,37$ )	10,00	10,46 ( $\pm 0,96$ )

N.B. media  $\pm$  deviazione standard

Tabella 4.2 - Tabella conclusiva flessione e compressione malte

NOME	$E [GPa]$		$\sigma_{MAX} [MPa]$	
	SCHEDA TECNICA	VALORE SPERIMENTALE	SCHEDA TECNICA	VALORE SPERIMENTALE
M2.5	5,00	8,71 ( $\pm 2,01$ )	2,50	6,65 ( $\pm 1,00$ )
M10	9,00	9,54 ( $\pm 0,15$ )	10,00	7,48 ( $\pm 1,00$ )

N.B. media  $\pm$  deviazione standard

Tabella 4.3 - Tabella conclusiva modulo malte

È immediato notare che i risultati ottenuti non confermano sempre i dati della scheda tecnica allegata al prodotto. Tale discrepanza è un problema che si manifesta regolarmente nella quotidianità. Il problema della variabilità dei parametri meccanici dei materiali è uno dei motivi che sta alla base dell'inserimento dei coefficienti di sicurezza in fase di progettazione.

Per quanto riguarda le triplette è interessante esaminare come cambiano i risultati ottenuti al variare della precompressione e della malta utilizzata. Qui di seguito sono stati mediati i risultati dei quattro campioni all'interno della stessa fascia di precompressione ottenendo:

- M2.5

Blocco 0,2 MPa

$P_{MAX}$	10,96 ( $\pm 2,16$ ) kN
$\tau_{MAX}$	0,38 ( $\pm 0,07$ ) MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,34 ( $\pm 0,04$ ) MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	1,20 ( $\pm 0,23$ )
Abbassamento( $\tau_{adm_{MAX}}$ )	0,21 ( $\pm 0,11$ ) mm
Coefficiente d'attrito	0,85 ( $\pm 0,15$ )

Tabella 4.4 – Risultati M2.5 blocco 0,20 MPa

Blocco 0,6 MPa

$P_{MAX}$	16,79 ( $\pm 3,24$ ) kN
$\tau_{MAX}$	0,58 ( $\pm 0,11$ ) MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,58 ( $\pm 0,09$ ) MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	1,01 ( $\pm 0,10$ )
<i>Abbassamento</i> ( $\tau_{adm_{MAX}}$ )	0,43 ( $\pm 0,04$ ) mm
<i>Coefficiente d'attrito</i>	0,85 ( $\pm 0,04$ )

Tabella 4.4 - Risultati M2.5 blocco 0,60 MPa

Blocco 1 MPa

$P_{MAX}$	22,12 ( $\pm 2,59$ ) kN
$\tau_{MAX}$	0,77 ( $\pm 0,09$ ) MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,82 ( $\pm 0,11$ ) MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	0,90 ( $\pm 0,04$ )
<i>Abbassamento</i> ( $\tau_{adm_{MAX}}$ )	0,54 ( $\pm 0,14$ ) mm
<i>Coefficiente d'attrito</i>	0,80 ( $\pm 0,02$ )

Tabella 4.5 - Risultati M2.5 blocco 1,00 MPa

Da tali tabelle si evince, come prevedibile, che all'aumentare del livello di precompressione aumenta lo sforzo necessario per la rottura.

Si può notare anche che il coefficiente d'attrito resta costante nei tre blocchi. Il risultato ottenuto è coerente con le aspettative perché è un valore della tau adimensionale, del rapporto tau su sigma, quindi l'effetto della precompressione è stato tolto.

L'abbassamento al massimo valore della tau adimensionale varia abbastanza ma è dovuto in buona parte ai campioni che sono stati provati già da rotti, quindi non è un parametro attendibile.

La precompressione invece come si può notare dai grafici nel capitolo precedente, di cui ne riporto uno soltanto per semplicità:

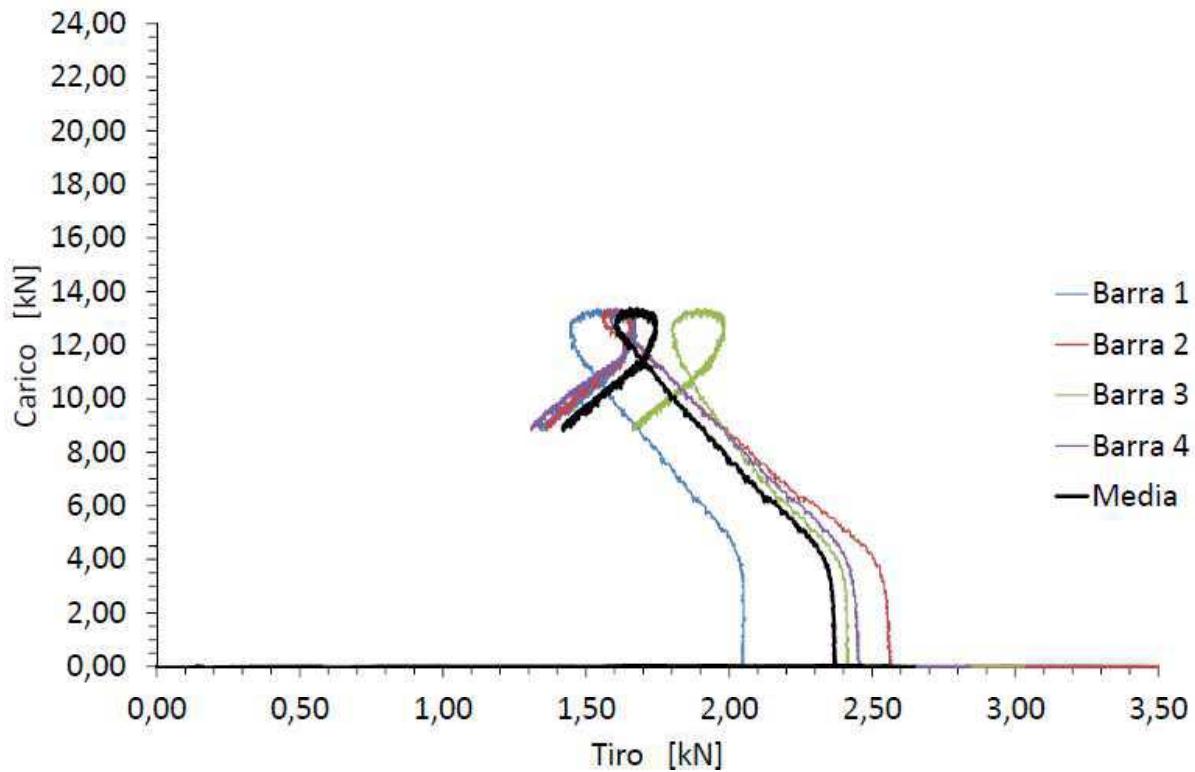


Figura 4.1 – Diagramma di esempio carico-tiro per le M2.5

ha variazioni significative rispetto al parametro di partenza. Tali variazioni possono essere giustificate, ad esempio, con la geometria del campione: se invece di essere perfettamente rettangolare è trapezoidale un suo spostamento ha influenze sulla precompressione sia ad aumentarla che a ridurla.

- 
- M10

Blocco 0,2 MPa

$P_{MAX}$	14,83 ( $\pm 6,52$ ) kN
$\tau_{MAX}$	0,52 ( $\pm 0,23$ ) MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,31 ( $\pm 0,09$ ) MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	1,72 ( $\pm 0,46$ )
<i>Abbassamento</i> ( $\tau_{adm_{MAX}}$ )	0,34 ( $\pm 0,28$ ) mm
<i>Coefficiente d'attrito</i>	0,89 ( $\pm 0,04$ )

Tabella 4.6 - Risultati M10 blocco 0,20 MPa

Blocco 0,6 MPa

$P_{MAX}$	21,83 ( $\pm 4,18$ ) kN
$\tau_{MAX}$	0,76 ( $\pm 0,15$ ) MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	0,71 ( $\pm 0,09$ ) MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	1,06 ( $\pm 0,14$ )
<i>Abbassamento</i> ( $\tau_{adm_{MAX}}$ )	0,26 ( $\pm 0,30$ ) mm
<i>Coefficiente d'attrito</i>	0,82 ( $\pm 0,07$ )

Tabella 4.7 - Risultati M10 blocco 0,60 MPa

### Blocco 1 MPa

$P_{MAX}$	35,43 ( $\pm 3,28$ ) kN
$\tau_{MAX}$	1,23 ( $\pm 0,11$ ) MPa
$\sigma(\tau_{MAX})$	1,07 ( $\pm 0,12$ ) MPa
$\tau_{adm_{MAX}}$	1,13 ( $\pm 0,04$ )
<i>Abbassamento</i> ( $\tau_{adm_{MAX}}$ )	0,51 ( $\pm 0,14$ ) mm
<i>Coefficiente d'attrito</i>	0,83 ( $\pm 0,05$ )

Tabella 4.8 - Risultati M10 blocco 1,00 MPa

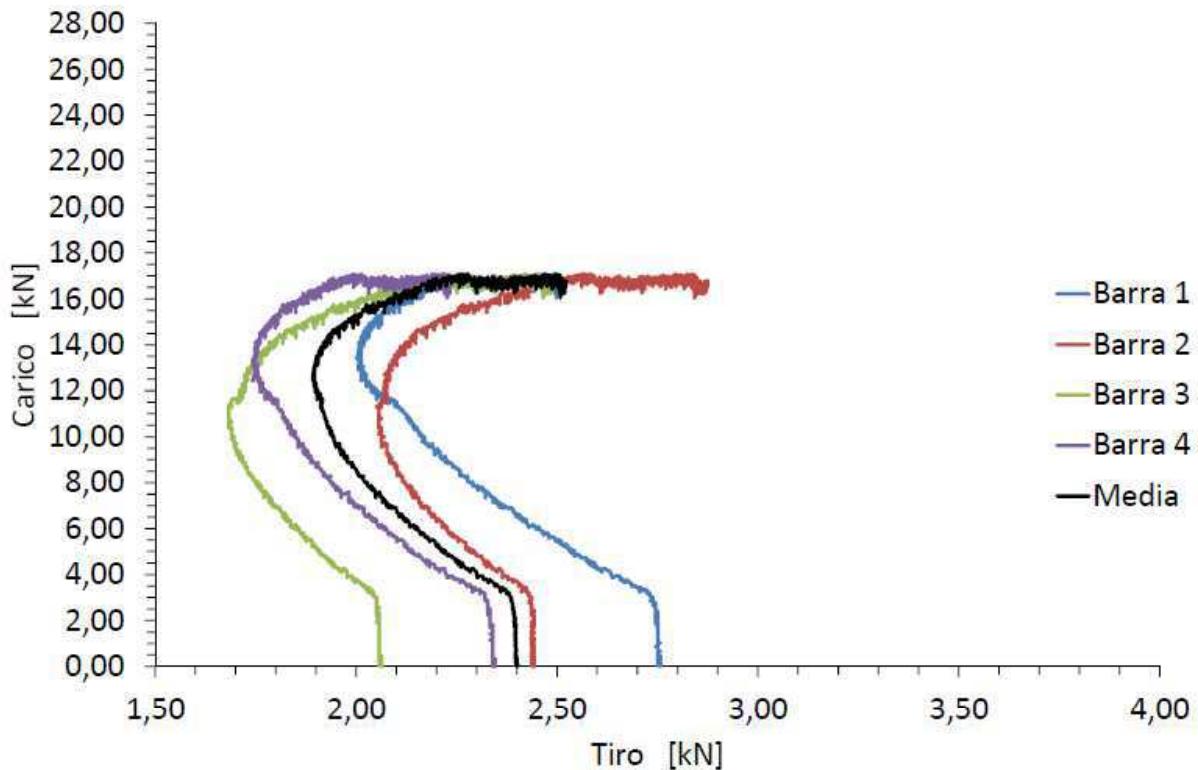
Anche per questo tipo di tripletta costruita con malta M10 vale quanto detto in precedenza.

Dalle tabelle si evince, come prevedibile, che all'aumentare del livello di precompressione aumenta lo sforzo necessario per la rottura.

Si può notare anche che il coefficiente d'attrito resta costante nei tre blocchi. Il risultato ottenuto è coerente con le aspettative perché è un valore della tau adimensionale, del rapporto tau su sigma, quindi stiamo togliendo l'effetto della precompressione.

L'abbassamento al massimo valore della tau adimensionale varia abbastanza ma è dovuto in buona parte ai campioni che sono stati provati già da rotti, quindi non è un parametro attendibile.

La precompressione invece come si può notare dai grafici nel capitolo precedente, di cui ne riporto uno soltanto per semplicità:



*Figura 4.2 – Diagramma di esempio carico-tiro per le M10*

ha variazioni significative rispetto al parametro di partenza. Tali variazioni possono essere giustificate, ad esempio, con la geometria del campione: se invece di essere perfettamente rettangolare è trapezoidale un suo spostamento ha influenze sulla precompressione sia ad aumentarla che a ridurla.

Dalla legge di Coulomb si arriva al tracciamento di una retta di regressione dei punti assegnati. I parametri delle quattro rette ottenute sono sintetizzati nella seguente tabella:

Malta	Effettivo		Normativo	
M2.5	$\mu$	0,7990	$\mu$	0,4875
	$c$	0,1137	$c$	0,2842
M10	$\mu$	0,9140	$\mu$	0,8250
	$c$	0,1985	$c$	0,3250

*Tabella 4.9 – Parametri delle rette*

Da questa tabella si evince, come prevedibile, che la M10 essendo più resistente fa aumentare lo sforzo necessario alla rottura, pertanto la sua retta avrà un coefficiente angolare più grande rispetto alla M2.5 portando dunque a una retta più inclinata.

Per concludere, tali informazioni non sono immediatamente applicative. Sono parte di uno studio più esteso. Tali valori saranno termine di paragone con altri ottenuti allo stesso modo, ma da materiali invecchiati artificialmente.

## 5.

# Bibliografia

1. UNIEN14580, *Metodi di prova per pietre naturali: Determinazione del modulo elastico statico*, 2005
  2. UNIEN196-1, *Metodi di prova dei cementi parte 1: Determinazione delle resistenze meccaniche*, 2005
  3. UNIEN13412, *Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture in calcestruzzo metodi di prova: Determinazione del modulo elastico statico in compressione*, 2007
  4. UNIEN1052-3, *Metodi di prova per muratura parte 3: Determinazione della resistenza iniziale a taglio*, 2007
  5. C. Gentilini, E. Franzoni, S. Bandini, L. Nobile, *Effect of salt crystallisation on the shear behaviour of masonry walls: An experimental study*, Elsevier Ltd, 2012
  6. E. Franzoni, C. Gentilini, G. Graziani, S. Bandini, *Towards the assessment of the shear behaviour of masonry in on-site conditions: A study on dry and salt/water conditioned brick masonry triplets*, Elsevier Ltd, 2014
  7. M. Como *Statica delle costruzioni storiche in muratura archi, volte, cupole, architetture monumentali, edifici sotto carichi verticali e sotto sisma*, Aracne editrice
  8. Castellazzi, G., de Miranda, S., Grementieri, L., Molari, L., Ubertini, F. *Multiphase model for hygrothermal analysis of porous media with salt crystallization and hydration*, Materials and Structures/Materiaux et Constructions, 2016
  9. Castellazzi, G., De Miranda, S., Grementieri, L., Molari, L., Ubertini, F. *Modelling of non-isothermal salt transport and crystallization in historic masonry*, Key Engineering Materials 2015
  10. Castellazzi, G., de Miranda, S., Formica, G., Molari, L., Ubertini, F. *Coupled hygro-mechanical multiscale analysis of masonry walls*, Engineering Structures, 2015
  11. Franzoni, E., Gentilini, C., Graziani, G., Bandini, S. *Compressive behaviour of brick masonry triplets in wet and dry conditions*, Construction and Building Materials, 2015
-

12. Gentilini, C., Franzoni, E., Graziani, G., Bandini, S. *Mechanical properties offired-clay brick masonry models in moist and dry conditions*, Key Engineering Materials, 2015

---

## **Ringraziamenti**

Un profondo e sentito grazie va indubbiamente alla Prof.ssa Cristina Gentilini, che mi ha supportato e guidato nell'intero lavoro: dalle prove sperimentali, alla rielaborazione dei dati e infine alla stesura dell'elaborato.

Ringrazio anche il Prof. Stefano de Miranda per avermi dato la possibilità di partecipare a questo lavoro dimostrandomi fiducia e credendo nelle mie capacità.

Un grazie va anche al Dott. Ing. Antonio Maria D'Altri che mi ha seguito in tutte le fasi del lavoro con grande interesse e dedizione.

Ringrazio anche Paolo Zanotti che assieme a me ha partecipato al lavoro mostrandosi un ottimo collaboratore e un buon amico.

Un grazie va anche a tutti i miei compagni di studio, senza i quali questo risultato non sarebbe stato lo stesso. In particolare ringrazio tantissimo Francesco, Andrea, Silvia e Maurizio.

Un doveroso grazie va anche alla mia famiglia che mi ha sostenuto per tutti gli anni di studio e mi ha permesso questo traguardo.

Un ringraziamento particolare va a Federica, lei sa quanto preziosa sia stata per me.

Ringrazio, infine, tutti i miei amici che mi sono stati vicini durante questo percorso. Li ringrazio per esserci stati sia nei momenti più bui in cui la pressione era alle stelle, che in quelli più felici quando festeggiavamo i miei traguardi raggiunti. Avervi intorno è sempre bellissimo, il vostro calore e la vostra presenza sono impagabili.

Grazie!

Marco Amato

