



Università Politecnica delle Marche

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Triennale In Ingegneria Edile

**ANALISI DI PROVE DI COMPRESSIONE DIAGONALE
SU MURATURA MODERNA RINFORZATA**

**DIAGONAL COMPRESSION TEST ANALYSIS ON
MODERN REINFORCED MASONRY**

RELATORE:
PROF. ING. ROBERTO CAPOZUCCA

CANDIDATO:
DENIS BARDHI

CORRELATORE:
ING. ERICA MAGAGNINI

ANNO ACCADEMICO 2018-2019

INDICE

| | |
|---|----|
| INTRODUZIONE..... | |
| 1. PREMESSA SULLE MURATURE..... | |
| 1.1. Edifici in muratura portante | 11 |
| 1.1.1. Tecniche Realizzative | 13 |
| 1.1.2. Concezione Strutturale..... | 15 |
| 1.1.3. Sollecitazioni combinate di taglio e compressione..... | 17 |
| 2. PROVE DI LABORATORIO SULLE MURATURE | |
| 2.1 Prova di compressione diagonale | 22 |
| 2.2 La ASTM: E 519 – 02..... | |
| 2.2.1. Scopo | 24 |
| 2.2.2 Significato ed Uso..... | 25 |

2.2.3. L'apparecchio.....25

2.2.4. Campioni Murari.....26

2.3 Prove di taglio.....28

2.4 Prova di compressione e taglio.....29

3.PROVE DI COMPRESSIONE DIAGONALE SU MURATURE MODERNE

3.1. Premessa sulle murature moderne.....32

3.2. Modelli Sperimentali.....

3.3. Caratteristiche meccaniche della muratura e dei materiali.....

3.3.1. Caratteristiche della muratura.....33

| | |
|--|----|
| 3.3.2. Blocchi Poroton..... | 33 |
| 3.3.3. Caratteristiche Blocchi Poroton..... | 35 |
| 3.3.4. Blocchi forati..... | 36 |
| 3.3.5. Blocchi in Cemento..... | 38 |
| 3.4. Malta..... | 40 |
| 3.4.1. Prova di compressione e flessione..... | 42 |
| 3.5.1 Rinforzo dei Panelli..... | 43 |
| 3.5.2 Caratteristiche dell'intonaco ESICEM 500..... | 46 |
| 3.5.3. Caratteristiche dell' Intonaco ARMAMURO..... | 47 |
| 3.5.4 Caratteristiche dell' intonaco BETONCINO BS15..... | 48 |

3.5.5 Caratteristiche dell'intonaco BETONCINO CALCEPURA RESTAURA.....50

3.6 Applicazione dei carichi.....51

4. ANALISI ED ELABORAZIONE DATI DEI PROVINI.

4.1.1. Blocco Poroton + Esicem 500.....54

4.1.2. Blocco forato da 8 cm + ESICEM 500.....59

4.1.3. Blocco in Cemento + ESICEM 500.....64

4.2.1. Poroton + Armamuro.....68

4.2.2. Forato da 8cm + Armamuro72

4.2.3. Blocco in cemento + Armamuro.....76

4.3.1. Poroton + Betoncino BS15.....79

4.4.1. Poroton + Calcepure.....82

4.5 Confronto e Conclusioni.....85

Bibliografia.....

INTRODUZIONE

In questo elaborato di tesi si affronta l'argomento "Analisi di murature Moderne con materiali fibrorinforzanti".

La tesi viene sviluppata in quattro capitoli. Nel primo capitolo viene introdotta la muratura, alcune delle sue caratteristiche, e soprattutto viene descritta la muratura portante e la sua concezione strutturale per poi proseguire con i meccanismi di rottura.

Nella seconda parte invece, ci si focalizza sulle prove di laboratorio eseguite sulle murature come la prova di compressione diagonale, e tutte le varie procedure e strumentazioni per eseguire questa prova. Nella ultima parte del capitolo, si parla anche della prova di compressione e taglio.

Nella terza parte della tesi, si confronta l'argomento della prova diagonale a compressione nelle murature moderne rinforzate e le varie tecniche di rinforzo per i pannelli murari.

Nella quarta parte della tesi, si è studiato il comportamento della muratura, dopo rinforzo, sotto prova di compressione diagonale e si sono analizzati i dati ottenuti tramite sperimentazione nel laboratorio della Università Politecnica delle Marche.

Nella ultima parte del capitolo, si è fatto il confronto tra i vari tipi di rinforzo e quale dei rinforzi presi in considerazione era il migliore per una certa tipologia di muratura.

1. PREMESSA SULLE MURATURE.

La muratura, in edilizia, è la tecnica per costruire una parete in pietre naturali o artificiali (mattoni). Queste pietre hanno forma più o meno regolare, sovrapposti gli uni agli altri con interposizione di una sostanza legante, che si chiama malta.

La muratura si è sviluppata in maniera sistematica con l'avvento delle grandi civiltà urbane e segna il passaggio da tecniche edilizie legate al legno, per passare ad un periodo più maturo di edifici più duraturi e solidi.

La muratura viene utilizzata per fini o prestazioni molto varie ed assolve spesso numerose funzioni.

Si distingue in:

- 1) **Muratura Portante** - è un elemento strutturale di un edificio che serve a scaricare a terra il peso delle strutture sovrastanti al muro stesso.

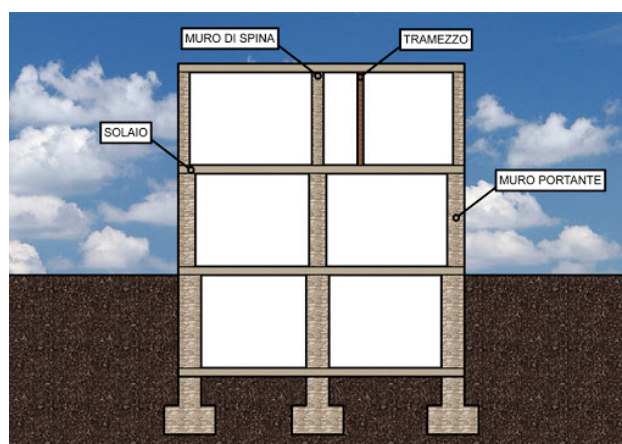


Figura 1.1- Edificio in Muratura Portante

- 2) **Murature di Tamponamento**- è la parete portata di chiusura perimetrale di un fabbricato costruito con una struttura intelaiata tridimensionale (generalmente in acciaio o calcestruzzo armato)

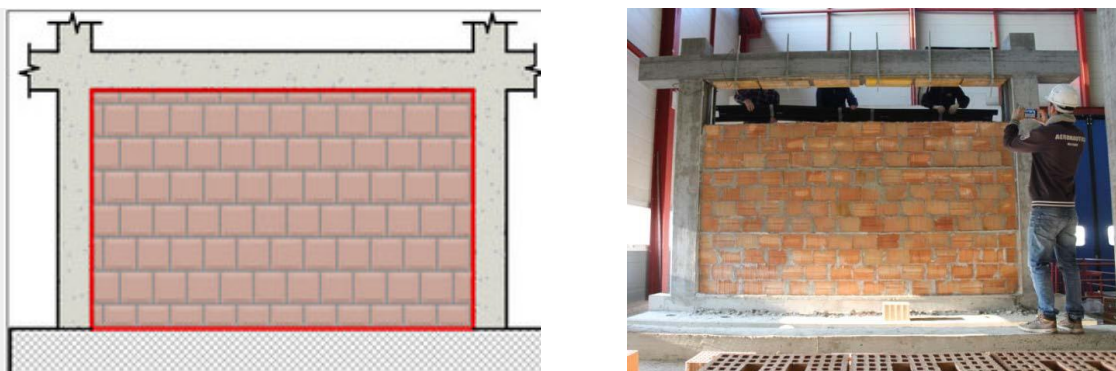


Figura 1.2 - Muratura di Tamponamento

- 3) **Muratura di Divisione Interna**- ha la funzione di suddividere in vani gli spazi interni, delimitati dai muri perimetrali di un edificio.

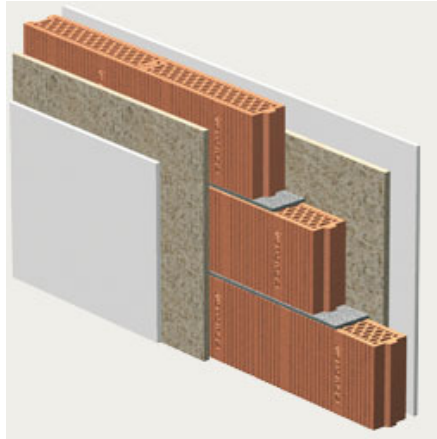


Figura 1.3 - Tramezzo in laterizio Poroton

- 4) **Muratura Faccia a Vista** - realizzata con materiali artificiali o naturali con finitura superficiale tale da poter essere lasciata a vista, senza necessità di essere intonacata.



Figura 1.4 - Villetta con Muratura a Faccia Vista

- 5) **Muratura Atrezzata** - dotata di particolari soluzioni atte a consentire il passaggio o flusso dei fluidi, canalizzazioni di impianti.

- 6) **Muratura di Protezione**- assolve il compito di assorbimento e protezione acustica di luoghi dove sia presente una sorgente di rumore.

1.1 Edifici in Muratura Portante

L'edificio in muratura portante è un organismo edilizio derivato dalla struttura trilitica. Gli edifici costruiti in Italia fino al 1950 circa sono realizzati in muratura portante.

Questo tipo di edifici ha i muri portanti in mattoni o pietre, che formano una parete continua dal terreno fino al tetto. Sui muri appoggiano le travi, che sorreggono i solaio, cioè gli elementi strutturali orizzontali che sostengono la copertura e i vari piani dell' edificio.

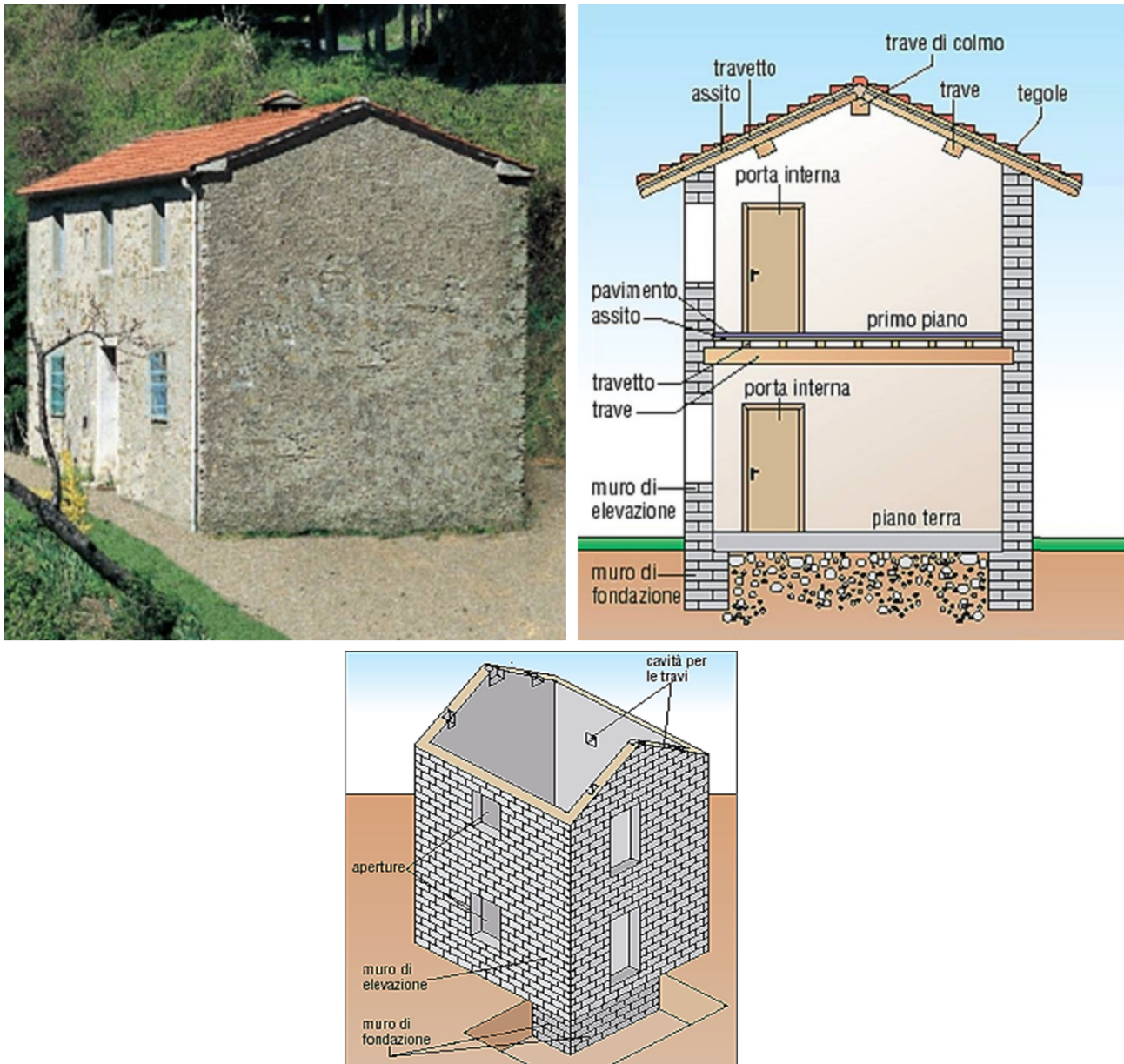


Figura 1.5 -Edificio in muratura portante

Strutture Verticali

Le strutture verticali di questi edifici in muratura portante sono i **muri portanti**, che stanno in piedi perché sono perfettamente verticali, sufficientemente larghi e resi stabile dai muri contigui a cui è collegato.

Il muro si costruisce usando dei mattoni, iniziando dal basso e si procede per strati paralleli e sfalsati, affinché siano collegati meglio. Come materiale legante si utilizza la **malta**.



Figura 1.6 Costruzione di un muro usando malta come materiale legante

Strutture Orizzontali

Le Strutture Orizzontali sono i **Solai**, che sostengono il peso dei pavimenti, delle persone e i mobili e della copertura. Fino al IX secolo si usavano di più le travi in legno per poi essere sostituite da travi in acciaio a doppio T permettendo così di aumentare la luce dei solai, data la maggiore resistenza a parità di altezza delle travi.



Figura 1.7 - Solaio in Legno

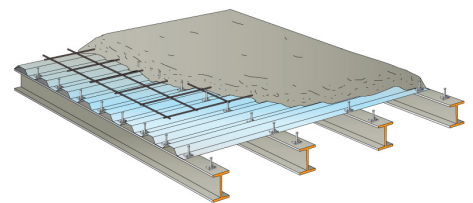


Figura 1.8 - Solaio in travi d'acciaio

1.1.1 Tecniche realizzative

Gli edifici in muratura portante possono essere realizzati secondo diverse tecniche costruttive, legate sia a fattori culturali che tecnologico-costruttivi:

1) Muratura ordinaria

È costituita dal semplice assemblaggio degli elementi resistenti con malta o a secco; presenta una bassa resistenza a trazione e meccanismi di collasso tendenzialmente fragili (per taglio e instabilità). È una tipologia molto diffusa nelle costruzioni esistenti e in quelle nuove di ridotta dimensione. A seconda dell'orientamento dell'elemento si ottengono giaciture e spessori diversi:

- Muratura in mattoni disposti in foglio;
- Muratura di mattoni ad una testa
- Murature a due teste
- Murature a tre o più teste
- Muratura in blocchi monostrato
- Muratura pluristrato con camera d'aria o isolante

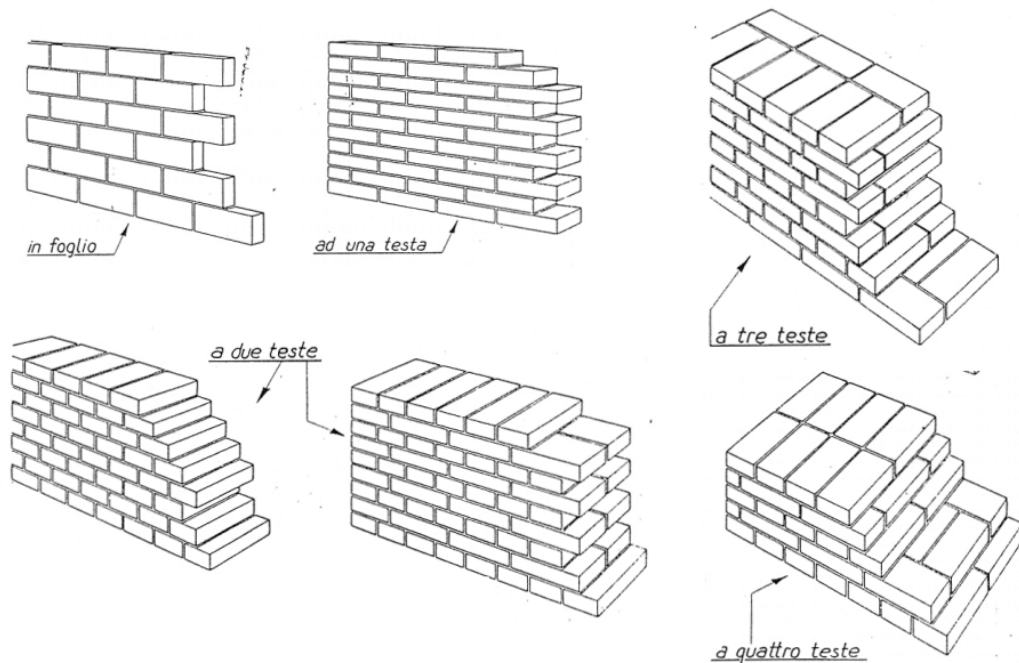


Figura 1.8 - Diverse tipologie di Muratura Ordinaria in base alla disposizione dei mattoni

2) Muratura armata

Sono presenti armature orizzontali e verticali all' interno della muratura.

Le armature verticali possono essere inserite in appositi alloggiamenti o fori presenti nei blocchi che vengono successivamente riempiti di malta e calcestruzzo; l'armatura orizzontale viene disposta nei letti di malta o in apposite scanalature sottoforma di semplici barre, tralicci o reti elettrosaldate.

L'armatura comporta un aumento della resistenza a flessione sia per azioni ortogonali che per quelli parallele al piano della muratura, con conseguente aumento della stabilità dell'edificio nei confronti delle azioni orizzontali (vento e sisma).

L'armatura evita collassi fragili successivi alla fessurazione e mantiene e mantiene l'integrità della parete nel campo post-elastico, con sensibile aumento della duttilità ed una diminuzione della suscettibilità al danneggiamento.

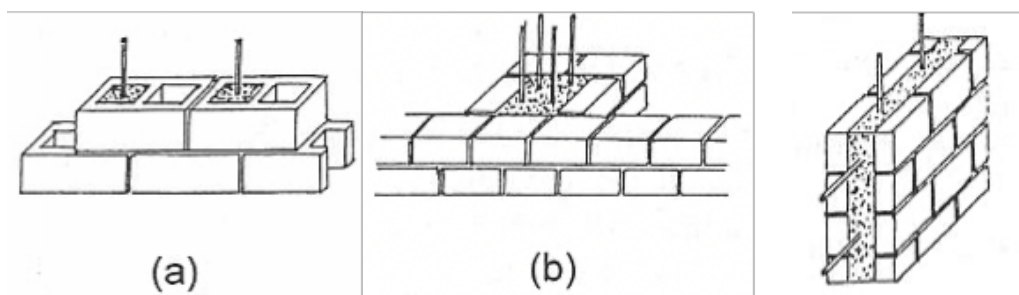


Figura 1.9 - Disposizione delle armature nella muratura

3) Muratura intelaiata

Viene realizzata mediante cordoli in cemento armato orizzontali e verticali adeguatamente connessi fra loro ed aderenti agli elementi murari assieme ai quali formano un unico organismo resistente.

L'effetto dell'intelaiamento è quello di fornire maggiore duttilità alla muratura, minor degrado di resistenza e ridurre la suscettibilità dal danneggiamento.

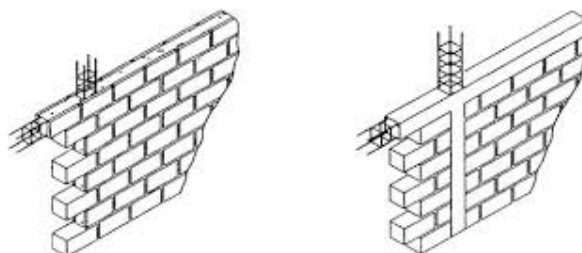


Figura 1.10 Esempio Muratura Intelaiata

1.1.2 Concezione Strutturale

Il sistema strutturale dell'edificio in muratura può essere concepito come "Sistema Scatolare". L'edificio viene considerato come un assemblaggio tridimensionale di muri e solai, la cui connessione strutturale garantisce il funzionamento scatolare e conferisce opportuna stabilità e rigidità all'insieme. È un requisito fondamentale che i muri portanti, quelli di controvento, e solai siano ben collegati e ammortati tra loro. Il buon ammortamento tra i muri consente la redistribuzione dei carichi fra i muri verticali e i muri orizzontali.

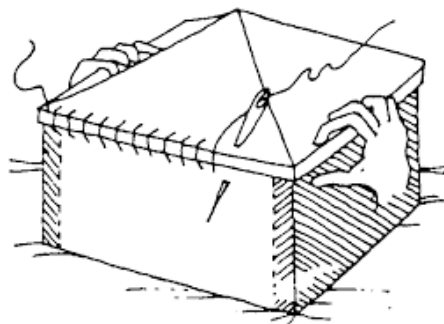


Figura 1.11 - Sistema Scatolare

Le azioni orizzontali che gravano sulla struttura si possono considerare suddivise in azioni agenti ortogonalmente al piano del muro e azioni agenti nel piano. La resistenza delle pareti portanti a forze agenti nel piano del muro è maggiore rispetto a quella nel caso di forze agenti ortogonalmente al piano e quindi è maggiore la loro efficacia come elementi di controventamento.

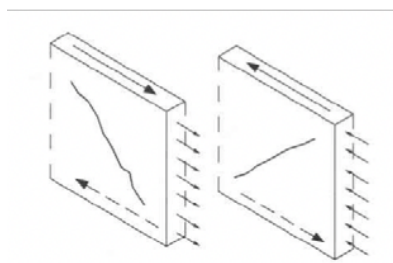


Figura 1.12 – Azioni agenti nel piano della struttura.

La stabilità alle azioni orizzontali richiede muri disposti secondo almeno due direzioni ortogonali, mentre la capacità dei muri di resistere alle azioni orizzontali è favorevolmente influenzata dalla presenza di forze verticali stabilizzanti. Si riconosce quindi che lo schema cellulare, in cui tutti i muri hanno funzione sia portante che di controventamento, è quello più efficiente dal punto di vista statico e che meglio realizza un effettivo comportamento di tipo scatolare. Questo concetto è ripreso dalle normative le quali specificano che, per quanto possibile, tutti i muri devono avere funzione portante e di controventamento.

In generale una buona concezione strutturale ed una corretta realizzazione dei dettagli strutturali garantisce un comportamento strutturale soddisfacente nella maggior parte dei casi. Questo principio giustifica la sostanziale stabilità di strutture costruite nel passato, quando non esistevano ancora i moderni modelli analitici dell'ingegneria strutturale.

Nel nostro caso ci occupiamo di resistenza a taglio delle pareti di controvento delle strutture portanti in muratura e quindi prenderemo in considerazione lo specifico meccanismo di rottura dovuto alle azioni orizzontali agenti nel piano del muro.

Si individuano due meccanismi di rottura dei pannelli murari dovuti ad azioni agenti nel piano del muro:

- Meccanismo di rottura per pressoflessione: genera lesioni alla base del lato di muro in trazione e rottura dello spigolo opposto in compressione. La condizione di rottura per pressoflessione nel piano è associata allo schiacciamento della muratura al lembo compresso delle sezioni estreme. Per bassi valori di azione assiale, l'estensione della zona compressa è modesta, si rileva un'ampia apertura delle fessure flessionali e il muro tende a sviluppare un cinematiso di ribaltamento simile a quello di un blocco rigido;

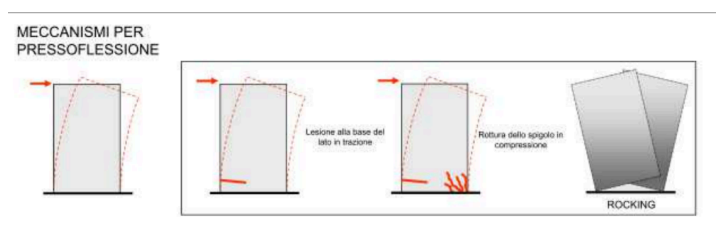


Figura 1.13– Comportamento delle pareti soggette a Pressoflessione

- Meccanismo di rottura per taglio: provoca lesioni continue alla base lungo i giunti principali o lesioni inclinate passanti tra giunti e blocchi o a scaletta tra i giunti principali e secondari. Si tratta di meccanismi fessurativi di diversa natura dovuti all'effetto delle tensioni tangenziali originate dalle azioni orizzontali in combinazione con le componenti di tensione normale. Questi tipi di rottura sono tra i più frequenti nelle costruzioni in muratura. Si distinguono due principali modalità di rottura: rottura per fessurazione diagonale e rottura per scorrimento a taglio, anche se nella realtà si verificano spesso meccanismi misti

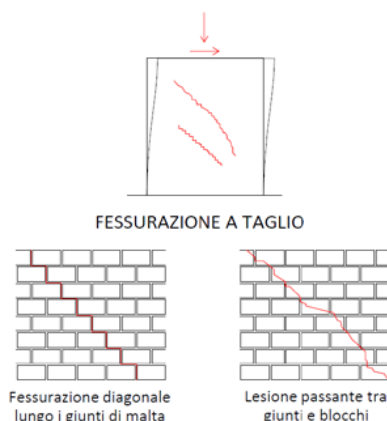


Figura 1.14 – Meccanismi di rottura per taglio

1.1.3. Sollecitazioni combinate di compressione a taglio

Le strutture in muratura sono sottoposte nella realtà a condizioni di carico spesso combinate, conseguenti ad esempio alle azioni eccezionali del sisma e a quelle verticali dei carichi permanenti. La muratura è quindi sottoposta a tensioni normali, parallele e/o perpendicolari ai giunti orizzontali di malta, e tensioni tangenziali dirette secondo i giunti.

Per una migliore comprensione del comportamento del materiale, la resistenza della muratura andrebbe valutata per stati di tensione biassiali, mentre spesso le prove sperimentali per la determinazione della resistenza della muratura sono basate su stati di tensioni uniassiali. Lo stato di tensione di un punto di un continuo può essere individuato in termini di tensioni principali.

Il valore delle tensioni principali per le quali si perviene al limite della resistenza del materiale rappresenta una curva limite di rottura, la cui conoscenza richiede la definizione di un criterio di rottura per la muratura sottoposta a stati di tensione combinati, con il quale effettuare le verifiche di resistenza degli elementi strutturali.

Essendo la muratura un materiale anisotropo, le proprietà elastiche e le caratteristiche di resistenza variano con la direzione degli stati tensionali rispetto ai piani dei giunti di malta. I criteri definibili per via teorica possono essere convalidati solo sperimentalmente.

Lo stato tensionale combinato è tipico degli elementi piani, o lastre, caratterizzati da uno spessore sottile rispetto alle altre dimensioni.

Le modalità di rottura di un pannello murario sottoposto a compressione e taglio dipendono sia dalle dimensioni che dalla natura dei materiali impiegati.

Fra i tipi di rottura di un pannello si distinguono:

- Rottura a flessione, in pannelli con rapporti altezza/lunghezza maggiori di 2
- Rottura per scorrimento, nel giunto di malta del pannello rispetto alla superficie d'appoggio o rispetto ad una parte del pannello stesso.
- Rottura per taglio, con fessure inclinate per pareti con valori del rapporto $H/L \leq 1$.

La rottura a taglio con bassi valori della tensione di compressione, avviene con linee di fessurazione inclinate che si sviluppano con l'andamento a gradino lungo il contatto mattone-malta con un'inclinazione di circa 45°, e in alcuni punti i mattoni con resistenza più bassa.

Al crescere delle tensioni di compressione, le linee di fessurazione attraversano sia i mattoni che i letti di malta con un'inclinazione minore di 45° rispetto la verticale.

Il criterio di rottura è un modo per descrivere le possibili condizioni che conducono alla crisi di un materiale.

Nell'ambito della resistenza della muratura sottoposta a stadi combinati di compressione e taglio, il criterio di resistenza che viene comunemente utilizzato per il controllo della resistenza della muratura è il criterio di resistenza di Coulomb:

$$\tau = \tau_0 + \sigma \cdot \tan\varphi \quad (1.1)$$

La resistenza a taglio, τ_R , disponibile su un piano di possibile scorrimento, è funzione della tensione normale, σ_R , agente su tale piano e delle caratteristiche del materiali τ_0 e φ che rappresentano, rispettivamente, coesione e angolo di attrito. L'equazione è rappresentata sul piano τ - σ da una retta.

I punti sulla retta rappresentano stati tensionali a rottura, mentre i punti al di sotto individuano uno stato di tensione con un certo margine di sicurezza rispetto alla situazione di rottura. I punti al di sopra della retta non hanno invece significato fisico, poiché quello stato tensionale non può verificarsi nella realtà per quel particolare materiale. Inoltre la condizione di rottura espressa dal criterio di Mohr può essere definita in termini di curva di involuppo, cioè di curva tangente ai cerchi di rottura (Figura 1.15).

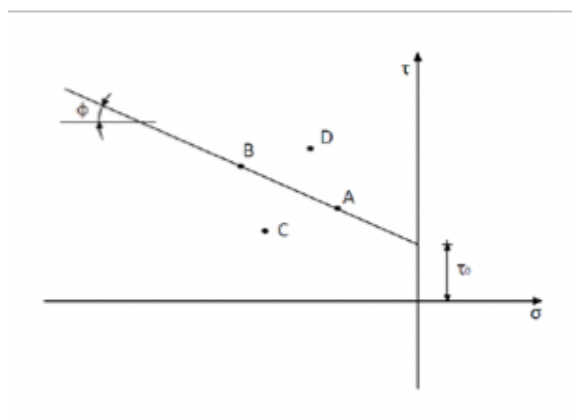


Figura 1.15- Equazione di Coulomb sul piano $\sigma - \tau$

Alla relazione di Coulomb viene associato il criterio di rottura di Mohr- Coulomb che considera la tensione tangenziale come funzione della tensione normale e prevede la rottura nel materiale quando la tensione di taglio in un punto, su un qualsiasi piano, raggiunge un valore ultimo che dipende linearmente dalla tensione normale agente su quel piano. Inoltre, secondo il criterio di Mohr - Coulomb , posso interpretare i modi in cui avviene la rottura nella muratura o tutti i materiali non resistenti a trazione.

Rottura può verificarsi in due modi:

- 1) Per TRAZIONE, a causa del raggiungimento delle capacità di resistenza a trazione del materiale e per questo motivo si ha la formazione delle fessure normali alla direzione della tensione massima di trazione.
- 2) Per SCORRIMENTO, dovuto a taglio nelle zone di tensioni normali di compressione, con un piano di fessurazione inclinato di $(\pi / 4 - \phi / 2)$

Alla relazione di Coulomb viene associato il criterio di rottura di Mohr - Coulomb che considera la tensione tangenziale come funzione della tensione normale e prevede la rottura nel materiale quando la tensione di taglio in un punto, su un qualsiasi piano, raggiunge un valore ultimo che dipende linearmente dalla tensione normale agente su quel piano. Inoltre, secondo il criterio di Mohr - Coulomb , posso interpretare i modi in cui avviene la rottura nella muratura o tutti i materiali non resistenti a trazione.

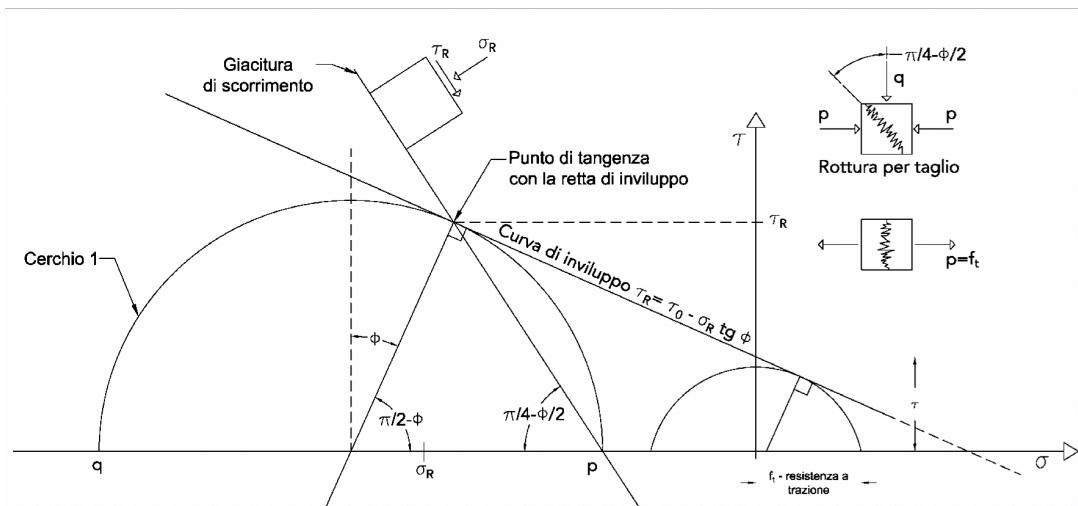


Figura 1.16 Criterio di Mohr- Coulomb

Per determinare il comportamento a compressione e taglio della muratura si utilizzano diverse tipologie di prove sperimentali, fra le quali le prove a compressione diagonale e le prove combinate con compressione verticale e forza di scorrimento orizzontale. In questo caso la muratura è contemporaneamente sottoposta a uno stato di compressione e ad uno stato di taglio.

Hendry riportò questi risultati in un diagramma sperimentale e notò un andamento di tipo Mohr-Coulomb. In questo caso si assume che la resistenza a taglio della muratura comprenda una resistenza iniziale di adesione tra malta ed unità e quindi si può presentare una formula analitica che deriva dalla formula di Mohr e prende in considerazione la rottura dello scollamento dei giunti di malta.

$$\tau = \tau_0 + \mu\sigma \quad (1.2)$$

dove: σ - sollecitazione di compressione normale ai giunti orizzontali

τ - resistenza a taglio media

τ_0 - resistenza a taglio media a precompressione nulla

μ - coefficiente d'attrito

Questo coefficiente d'attrito si distingue in due differenti coefficienti:

- 1) Coefficiente di attrito apparente - influenza la tensione verticale di compressione sulla resistenza a taglio della muratura. Questo ha significato quando la rottura a taglio avviene nei ricorsi di malta o nei mattoni di debole resistenza. Con questo coefficiente si cerca di interpretare in termini di attrito, l'incremento di resistenza a taglio dei giunti dovuto allo stato di confinamento della malta.
- 2) Coefficiente di attrito effettivo- viene espresso come il rapporto tra l'azione verticale e il carico orizzontale, quindi come attrito reale su una superficie di rottura inclinata, che attraversa elementi murari e giunti di malta.

Il valore di questo coefficiente varia tra 0.4 - 0.6.

Le prove a taglio condotte da Hendry e Sinha hanno permesso di valutare per la muratura una legge sperimentale per la resistenza a taglio, espressa dalla relazione seguente:

$$\tau = 0.3 + 0.5 \times \sigma \quad (1.3)$$

Questa formula è valida per mattoni con resistenza a compressione fra 20 e 50 N/mm²

Questa equazione viene adottata per descrivere la resistenza a taglio delle murature quando la rottura nei giunti di malta è prevalente. Per livelli di compressione elevati (>10N/mm²), si può verificare dalla rottura del giunto di malta alla rottura malta - mattone.

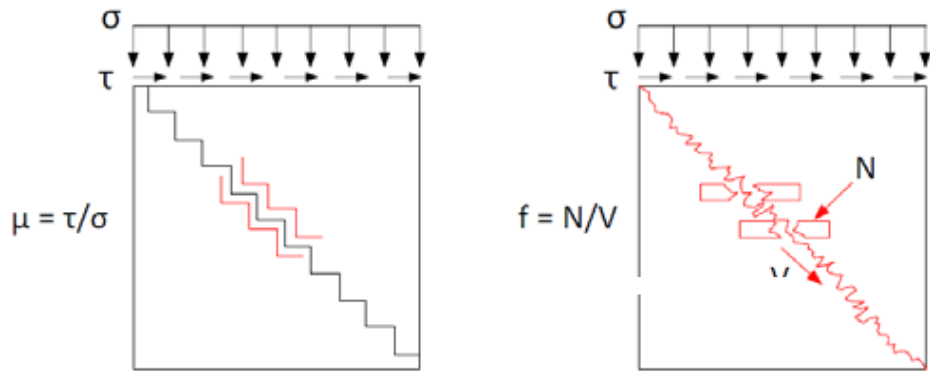


Figura 1.17 a) Pannello sottoposto a compressione e taglio con distacco dei giunti di malta

Figura 1.17b) Rottura diagonale del mattone e del giunto

2. Prove di laboratorio sulle murature

La conoscenza dei parametri meccanici della muratura è un requisito essenziale ai fini delle analisi e verifiche di sicurezza per gli edifici esistenti in muratura. La definizione di questi valori si ottiene attraverso specifiche prove eseguite in laboratorio, condotte su campioni di materiali dalla geometria definita e secondo standard unificati internazionalmente.

Le prove di usuale impiego per la muratura sono distruttive e distinte in:

- Prova di compressione
- Prova di taglio
- Prova di flessione

Le prove a taglio puro da eseguire su pannelli in muratura sono quelle di più difficile esecuzione, poiché resta complesso epurare la sollecitazione a taglio dalla componente flessione che la accompagna.

2.1 Prova di compressione diagonale

Questo tipo di prova correla la resistenza a taglio della muratura non rinforzata alla tensione principale di trazione. Viene eseguita secondo due modalità:

- Compressione diagonale con carico costante di precompressione q uniformemente distribuito (Fig.2.1a)
- Compressione diagonale in assenza di carico di precompressione (Fig.2.1b)

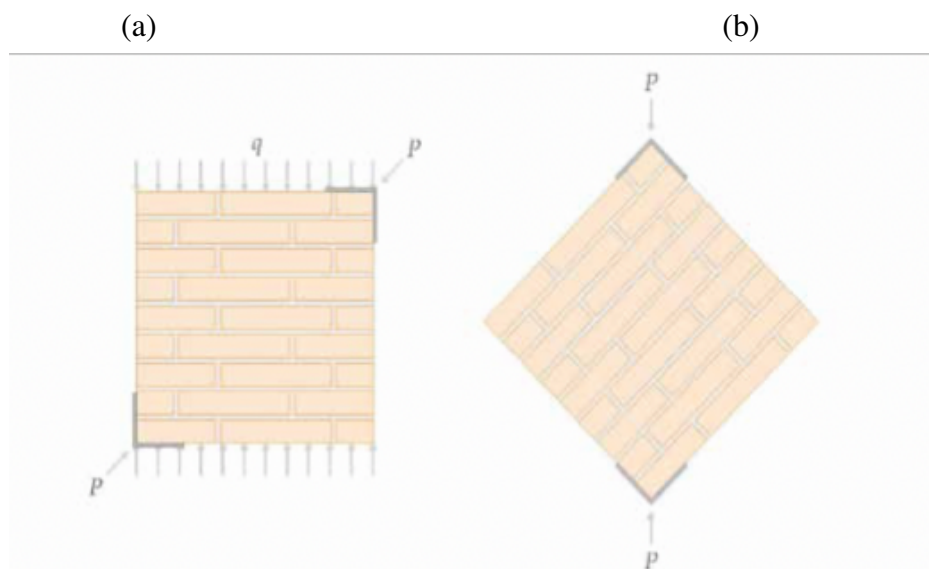


Figura 2.1 (a) - Modalità di esecuzione della prova di compressione diagonale con applicazione di carico uniformemente distribuito "q" e carico concentrato P lungo una delle diagonali.

Figura 2.1 (b) - Prova con applicazione del solo carico P concentrato lungo una delle due diagonali.

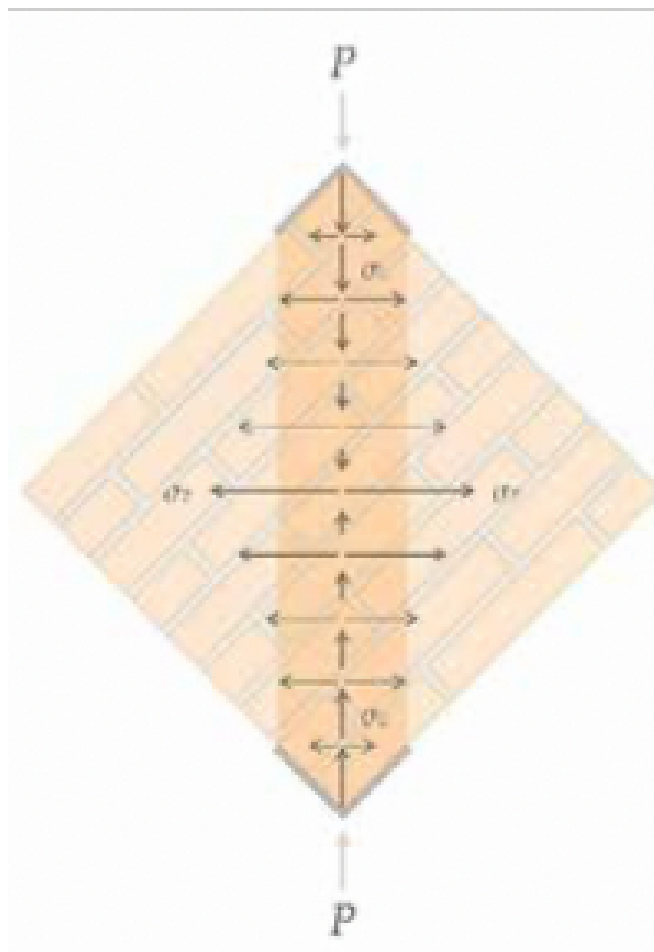


Figura 2.3 - Tensioni normali di trazione e compressione prodotte dall'applicazione del carico e distribuzione tensionale quasi uniforme tra le impronte di carico

L'applicazione del carico lungo la diagonale compressa genera nella diagonale tesa uno stato di tensione di trazione che induce la rottura del campione lungo la diagonale compressa, come visto nella Figura 2.1 (b). L'andamento delle lesioni risulta in genere parallelo alla direzione di applicazione del carico. Questa prova viene anche denominata la prova a taglio per trazione indiretta. Nella Figura 2.2 invece, si vede che la presenza delle scarpe metalliche con cui è trasmesso il carico al pannello produce uno stato di distribuzione tensionale quasi uniforme nella porzione di provino compresa tra le impronte di carico, e nella figura è stato riportato lo stato tensionale legato alle tensioni tangenziali.

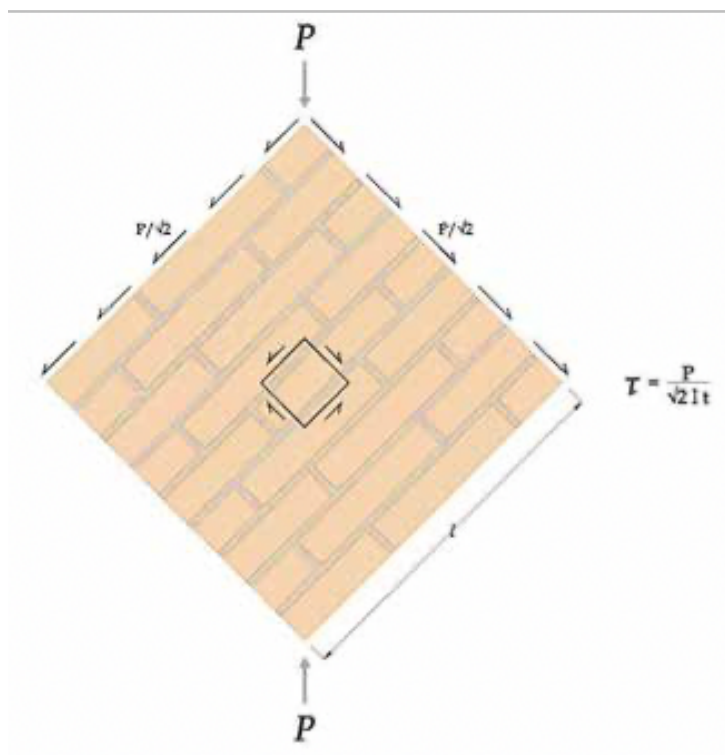


Figura 2.4 - Tensioni tangenziali indotti dall'applicazione del carico

Dunque, possiamo concludere che, la presenza del carico di precompressione, q , nella prova di compressione diagonale ha un effetto positivo sulla resistenza della muratura.

Riguardo i risultati che si ottengono tramite questa prova, occorrono due correnti di pensiero:

- RILEM TC-76-LUM - Per determinare la resistenza a trazione
- La ASTM: E 519 – 02 - Per determinare della resistenza al taglio

2.2 La ASTM: E 519 – 02

2.2.1 Scopo

Questo metodo copre la determinazione della resistenza al taglio di campioni murari a base quadrata, lato 120 x 120 cm e spessore pari a quello della muratura da indagare, caricandoli in compressione lungo una diagonale, causando una rottura diagonale con il campione che si lesiona in parallelo alla direzione del carico.



Figura 2.5 - Apparecchio per la determinazione della resistenza al taglio nei campioni murari

2.2.2 Significato ed Uso

Questo metodo di prova è stato sviluppato per misurare con maggiore precisione la resistenza a trazione diagonale (taglio) della muratura rispetto a quanto fosse possibile con altri metodi disponibili.

La dimensione del campione è stata selezionata come la più piccola che sarebbe ragionevolmente rappresentativa di un assemblaggio in muratura a grandezza naturale e che consentirebbe l'uso di macchine di prova come quelle utilizzate da molti laboratori.

2.2.3 L'apparecchio

L'apparecchio con il quale si esegue la prova deve avere una capacità di carico di compressione sufficiente e fornire una velocità di carico prescritta. Deve essere motorizzato e in grado di applicare il carico continuamente, piuttosto che in modo intermittente e senza scosse. Deve essere conforme ai requisiti delle sezioni delle Pratiche di calcolo e relazione

Per accomodare un provino quadrato di dimensioni 120 x 120 cm nell'apparecchio in modo tale che la sua diagonale sia in posizione verticale, l'apparecchio deve avere una apertura di altezza pari ad almeno 213cm. Per applicare il carico della macchina al campione, si usano delle "scarpe di caricamento" in acciaio, come mostrato nella figura 2.6. Generalmente si usano due scarpe.

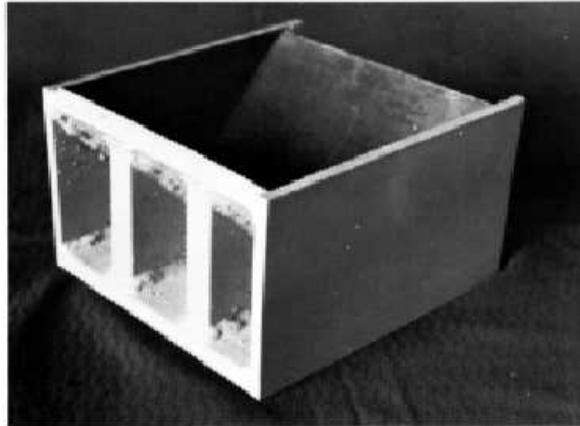


Figura 2.6 - "Le scarpe di caricamento" in acciaio

2.2.4 Campioni Murari

Si usano campioni murari di dimensioni 120 x 120 cm e lo spessore è uguale a quello della muratura che si sta indagando.

Il test deve essere eseguito su almeno tre campioni simili, costruiti con le stesse dimensioni e tipo di unità in muratura, malta e lavorazione.

I campioni devono essere stagionati in laboratorio per almeno 28 giorni, a temperatura di $24 \pm 8^\circ\text{C}$ con relativa umidità che varia tra 25 e 75 %.

2.2.5 Malta

Tre cubini di dimensione di lato 50mm, modellati da un campione di ciascun tipo di malta utilizzato per costruire i campioni murari e vengono conservati nelle stesse condizioni dei campioni a cui si associano.

2.2.6 Procedura

Il campione si posiziona centralmente e a piombo in un letto di gesso collocato nella schermata di caricamento inferiore. Se necessario, riempire gli spazi tra il campione e le piastre di limitazione laterale con il materiali di copertura, che viene lasciato stagionare per almeno due ore prima della prova.

Si misura l'accorciamento della diagonale verticale, e l'allungamento della diagonale orizzontale sotto carico con compressometro o estensimetro, che registrano le lunghezze del calibro.

Si applica il carico aumentandolo ciclicamente, con una certa velocità. Gli incrementi si scelgono in modo tale da ottenere almeno dieci letture di deformazione o tensione per determinare definitivamente la curvatura deformazione - sollecitazione.

2.2.7 Calcolo

Il valore della tensione tangenziale si calcola con la seguente formula:

$$S_s = 0.707 P / A_n \quad (2.1)$$

S_s = tensione tangenziale [N/mm^2]

P = carico applicato (kN)

A_n = area netta del campione [mm^2]

Questa Area netta del campione viene calcolata tramite la formula seguente:

$$A_n = (W+h)/2 \cdot t_n \quad (2.2)$$

con:

W = larghezza del provino espressa in [mm]

h = altezza del provino in [mm]

t = spessore totale del provino in [mm]

n = percentuale di superficie lorda [%]

Lo scorrimento angolare invece (SHEAR STRAIN), viene calcolato quando necessario ed è associato alla tensione tangenziale e viene determinato attraverso l'espressione:

$$\gamma = (\Delta V + \Delta H) / g \quad (2.3)$$

con:

γ = scorrimento angolare

ΔV = spostamento verticale in [mm]

ΔH = spostamento orizzontale [mm]

g = lunghezza misuratore verticale [mm]

Il modulo di elasticità tangenziale invece si calcola tramite il rapporto seguente:

$$G = S_s / \gamma \quad (2.4)$$

dove:

G = modulo di elasticità tangenziale [N/mm²].

2.3 Prove di taglio

Le prove a taglio puro da eseguire su pannelli in muratura sono quelle di più difficile esecuzione, poiché resta complesso epurare la sollecitazione a taglio dalla componente flessione che la accompagna.

Questa prova è normata dal Normativa UNI EN 1052 – 3 “Metodi di prova per muratura Parte 3: Determinazione della resistenza a taglio”. Questa normativa prevede due procedure diverse per determinare la resistenza iniziale a taglio.

Nella prima procedura si sottopongono i campioni a carichi di precompressione diversi, mentre la seconda prevede di non sottoporli a precompressione. Il provino è costituito da tre mattoni e due corse di malta. La prova consiste nel posizionare il campione nell’apparecchiatura di prova su due supporti aventi forma circolare e un diametro di circa 12mm. Il carico deve essere applicato al centro del provino costantemente fino a raggiungere la rottura che può essere di quattro tipi come illustrato nelle seguenti figure:

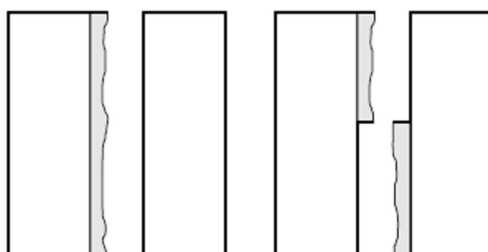


Figura 2.7 - Rottura per taglio nell’area di collegamento malta/mattone

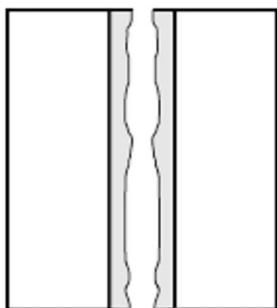


Figura 2.8 - Rottura solo nella malta

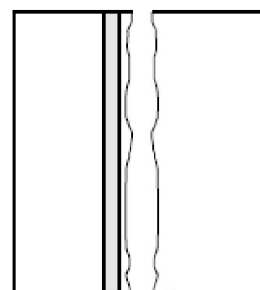


Figura 2.9 - Rottura solo nel mattone

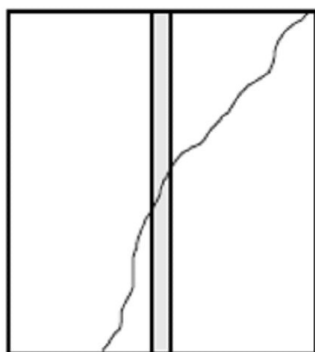


Figura 2.10 - Rottura per schiacciamento e/o scissione del mattone

2.3.1 Esecuzione della prova

La normativa italiana D. M. 14/01/2008 al §11.10.3.2.1, richiede che la determinazione sperimentale della resistenza a taglio della muratura avvenga sul almeno sei campioni. Il provino viene posizionato sopra due appoggi aventi forma circolare e il carico è stato applicato mediante un pistone, collegato ad una cella di carico, poggiante su una lastra di acciaio avente la funzione di ripartire uniformemente il carico sulla faccia del mattone centrale. Dalla cella di carico si innesca un cavo che la collega ad un personal computer che a sua volta è collegato ad una pompa che serve per dare pressione. L'applicazione del carico è controllata da un operatore posizionato al computer che mediante un apposito programma comanda l'accensione e lo spegnimento della pompa. Dopo la prova si misurano i valori della resistenza al taglio.

2.4 Prova di Compressione e taglio

E' una prova statica che simula l'azione a cui è sottoposta la muratura in condizioni sismiche sostituendo all'accelerazione prodotta dall'evento tellurico l'applicazione di una forza orizzontale statica, mediante carico ciclico o monotono. Se non adeguatamente preparata, la prova porta a rottura il campione per flessione e non per taglio; è necessaria quindi la presenza di flange poste agli estremi della sezione trasversale del campione, affinché queste ultime si facciano carico delle sollecitazioni flessionali che instaurano nella sezione a causa dell'azione del taglio; si configura una sezione finale di tipo a doppio T o a T, secondo che la forza orizzontale sia applicata rispettivamente in direzione bilaterale o unilaterale.

2.4.1 Esecuzione della prova

La prova si svolge applicando un carico costante di precompressione al pannello murario prima che inizi l'azione della forza orizzontale di taglio. La forza di precompressione simula il carico permanente verticale agente nel piano della parete muraria a cui la struttura è usualmente soggetta. Tre forze verticali trasmettono alla sezione trasversale del pannello un carico che produce una tensione uniforme, controllata durante tutta la prova affinché rimanga costante e uniforme. L'azione del taglio è trasmessa attraverso un jack che può applicare il carico sia in direzione bilaterale sia in direzione unilaterale. Il campione può essere strumentato con più tipologie di sensore per il controllo degli spostamenti e delle deformazioni. La prova può essere eseguita su più tipologie murarie, muratura in laterizio, mista mattone - pietra, muratura cava etc e elementi in scala o dimensione reale.

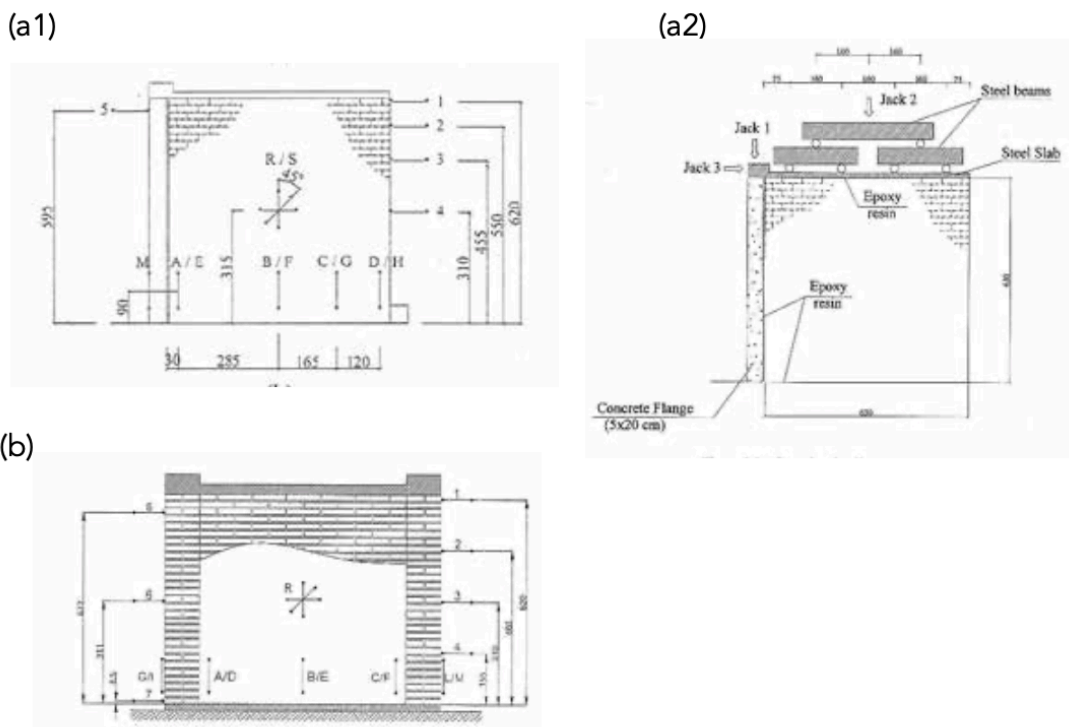


Figura 2.11 - Pannelli per prova di compressione a taglio: (a1) Pannello con una flangia per applicazione di carico unidirezionale; (a2) Pannello con una flangia: schema di applicazione dei carichi; (b) Pannello con doppia flangia per applicazione di carico bidirezionale (Immagini tratte da: (a1) R.Capozucca, *Experimental response of historic brick masonry under biaxial loading*, *Construction and Building Materials* 154 (2017), (a1) p.544 e (b) p.547 ; (a2) R. Capozucca, B.P. Sinha, *Experimental shear tests on historic masonry*, *Nota Tecnica n.11*, I.S.T.C, p.38)

2.4.2 Calcolo

Le espressioni da utilizzare per determinare la resistenza a taglio, in questo tipo di prova, dipendono dalla fessurazione che sviluppa il pannello murario durante il test.

Se si manifesta lo Shear Sliding Failure si ricorre alla legge di Mohr - Coulomb:

$$\tau_u = \tau_0 + \mu \cdot \sigma_v \quad (2.5)$$

In cui:

τ_u = resistenza media a taglio [N/mm²]

τ_0 = resistenza media a taglio in assenza di carico di precompressione [N/mm²]

σ_v = tensione media di compressione normale ai giunti di malta [N/mm²]

μ = coefficiente di attrito interno

Se il pannello sviluppa Diagonal Cracking Failure si adotta **la legge di Hendry**:

$$\tau_u = \tau_0^2 + 1.1 \tau_0 \cdot \sigma_v + 0.053 \sigma_v^2 \quad (2.6)$$

dove:

τ_u = resistenza media a taglio [N/mm²]

τ_0 = resistenza media a taglio in assenza di carico di precompressione [N/mm²]

σ_v = tensione media di compressione normale ai giunti di malta [N/mm²]

La prova consente, dunque, di determinare la resistenza a taglio del pannello murario in funzione del tipo di fessurazione a rottura che manifesta, non limitandosi ad una sola prova associata ad un unico modo di fessurazione.

3. Prove di Compressione diagonale su murature moderne rinforzate

3.1. Premessa sulle murature moderne

I risultati del processo di innovazione e di evoluzione della muratura moderna sono stati significativi particolarmente in questi ultimi anni, anche sulla spinta delle continue modifiche normative che hanno interessato tutti gli aspetti prestazioni degli edifici, da quello strutturale a quello del risparmio energetico, da quello del comfort acustico alla sicurezza in caso di incendio.

3.2. Modelli Sperimentali

L'attività sperimentale è condotta su quattro tipologie di pannello murario, ciascuna costituita da una serie di tre modelli in accordo con la normativa di riferimento per la prova adottata- per un totale di ventiquattro campioni. Geometria, dimensione e materiale costituente di base sono i medesimi per tutte le serie, che differiscono per la presenza del materiale di rinforzo contenuto nell'intonaco di rivestimento.

Ogni prova è stata identificata da una sigla in cui la prima lettera indica il tipo di laterizio, mentre la seconda indica il tipo di intonaco, come elencate in seguito:

| Codice | Laterizio | Numero Provini | Tipo Intonaco |
|-----------|----------------|----------------|--|
| A1 | Blocco Poroton | 3 | Intonaco esicem 500 su due lati s=2,5cm |
| A2 | Blocco Poroton | 3 | ARMAMURO su due lati s=2,5cm |
| B1 | Forato 8cm | 3 | Intonaco ESICEM 500 su due lati s=2,0cm |
| B2 | Forato 8cm | 3 | ARMAMURO su due lati s=2,0cm |
| C1 | Blocco cemento | 3 | Intonaco ESICEM 500 su due lati s=2,0cm |
| C2 | Blocco cemento | 3 | ARMAMURO su due lati s=2,5cm |
| D1 | Blocco Poroton | 3 | Betoncino BS15+rete 40x40 su due lati s=2,5cm |
| E1 | Blocco Poroton | 3 | Betoncino CALCEPURA + rete 40x40 su due lati=2,5cm |

3.3 Caratteristiche meccaniche della muratura e dei materiali

3.3.1 Caratteristiche della muratura

La muratura è un materiale disomogeneo, per la presenza di:

- Blocchi pieni o perforati realizzati in laterizio, calcio silicato o conglomerato cementizio.
- Giunti di malta
- Giunti di testa discontinui o continui

La muratura è un ottimo materiale da costruzione per le sue eccellenti proprietà in termini di aspetto, durabilità e costo, rispetto a materiali alternativi. La qualità della muratura in una costruzione dipende dalle caratteristiche di tutti i materiali con il quale è costituita, e devono essere conformi a dei requisiti standard.

Le tipologie di murature più frequentemente utilizzate con funzione portante sono le seguenti:

- Murature in mattoni o blocchi di laterizio normale o a massa alveolata
- Muratura in blocchi di cemento normale o cellulare

Le murature possono essere realizzate con elementi pieni o semipieni, con particolare attenzione nell' utilizzo di elementi che hanno una percentuale di foratura limitata nelle zone sismiche. Una particolare tipologia di muratura portante, valida per costruzioni in zona sismica, è quella costituita da un' armatura inglobata all'interno degli elementi, per aumentare la resistenza. Per quanto riguarda le murature rinforzate, ad oggi ci sono nuove tecnologie che ci permettono realizzare sia le murature esistenti che quelle di nuova costruzione, mediante intonaci rinforzati, particolarmente studiati a sopportare sollecitazioni elevate.

Le prove effettuate, riguardano 3 tipologie di murature con elementi di laterizio diversi, quali:

- Blocco POROTON
- Blocco in laterizio da 8 cm (forato)
- Blocco in cemento

3.3.2 Blocchi POROTON

I blocchi POROTON® 800 per muratura armata sono laterizi caratterizzati da una massa volumica lorda di circa 800-860 kg/m³, idonei all'impiego per la realizzazione di muratura portante armata in qualsiasi zona sismica.

Si tratta infatti di laterizi classificati semipieni (percentuale di foratura $\phi \leq 45\%$), da porre in opera a fori verticali, che forniscono valori di resistenza a rottura ampiamente superiori ai limiti richiesti dalla normativa.

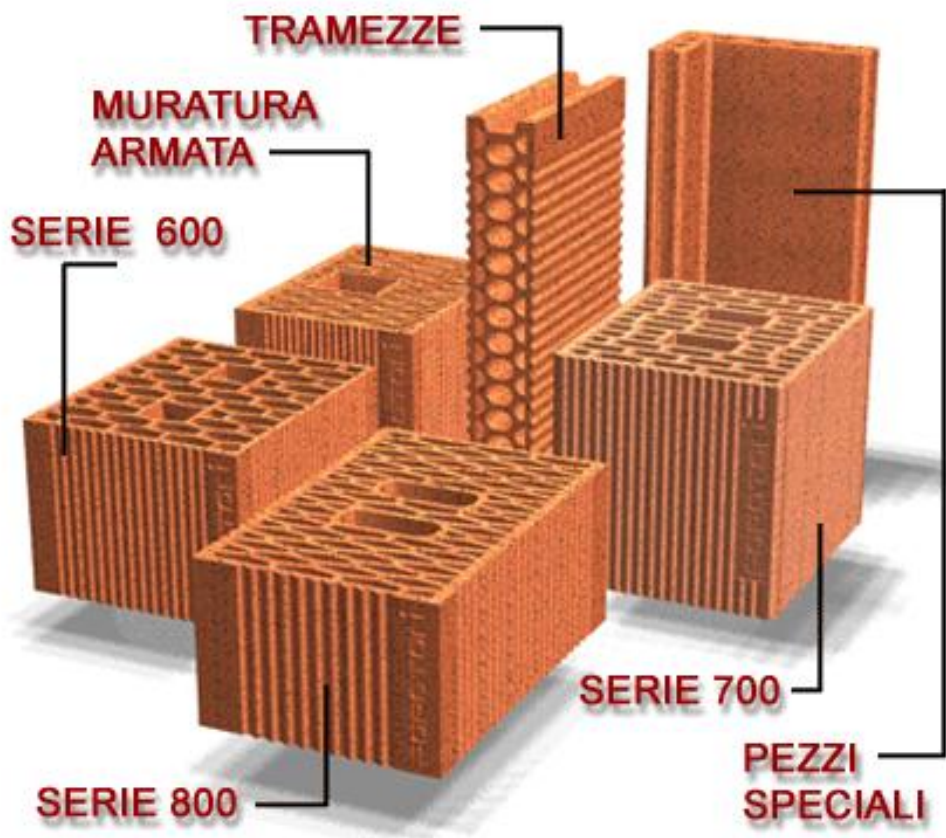


Figura 3.1 Blocchi Poroton



Figura 3.2 - Blocchi semipieno in laterizio P800 per muratura armata: "ad H" e "Brite"

3.3.3 Caratteristiche dei blocchi per muratura armata POROTON® 800

Le caratteristiche fisico-geometriche dei blocchi POROTON® 800 per muratura armata sono conformi ai requisiti stabiliti dalle recenti "Norme tecniche per le costruzioni" (D.M. 17/01/2018) anche in merito ai requisiti aggiuntivi previsti per i materiali per muratura da impiegarsi per la progettazione sismica, essendo caratterizzati in particolare da:

- setti disposti parallelamente al piano del muro continui e rettilinei (salvo le interruzioni ammesse in corrispondenza di eventuali fori di presa o del vano per l'alloggiamento dell'armatura);
- resistenza caratteristica a compressione degli elementi in direzione verticale $f_{bk} \geq 5 \text{ N/mm}^2$ ed ortogonale nel piano del muro $f'_{bk} \geq 1,5 \text{ N/mm}^2$.

I blocchi POROTON® 800 per muratura armata presentano una conformazione geometrica particolare che consente di abbinare alla muratura portante l'armatura metallica verticale. L'armatura orizzontale viene invece disposta all'interno dei giunti orizzontali di malta. L'uso del sistema costruttivo in muratura armata POROTON® è particolarmente indicato per le strutture ubicate in zona sismica; tuttavia l'inserimento di modeste quantità di armatura in alcuni punti della struttura in muratura può dare vantaggi in tutti i casi (per esempio minore rischio di fessurazioni). Le tipologie, le misure e gli spessori disponibili variano in relazione alla zona geografica di produzione e commercializzazione e sono generalmente compresi tra 25 cm e 45 cm.

Per questo elemento è stata eseguita nel "Laboratorio Prove Materiali" e Strutture della Sezione Strutture, Dipartimento DICEA, la prova a compressione semplice, ottenendo i seguenti risultati:

| Provino | b | h | s | Area grossa [mmq] | Area netta [mmq] | Forza di compressione P_u [kN] | $\tau = P_u/A_{grossa}$ | $\tau_2 = P_u/A_{netta}$ |
|---------|-----|-----|-----|-------------------|------------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1 | 300 | 240 | 190 | 72000 | 39600 | 465 | 6,46 | 11,74 |
| 2 | 300 | 240 | 190 | 72000 | 39600 | 566 | 7,86 | 14,29 |
| 3 | 300 | 240 | 190 | 72000 | 396000 | 547 | 7,60 | 13,81 |



Figura 3.3 Prova di compressione semplice su un blocco Poroton

3.3.4 Blocchi Forati

Secondo la normativa UNI 8942, si definiscono forati quei blocchi in laterizio con una percentuale di vuoti superiore al 45% della massa totale ma inferiore al 70%, valore sopra al quale verrebbe compromessa l'integrità del blocco.

I blocchi forati in laterizio sono dunque caratterizzati da dei fori al centro, generalmente in un numero compreso tra 3 e 21. Vengono praticati per ridurre il peso del forato, renderlo più facilmente lavorabile e trasportabile ma anche, come vedremo, per sfruttare le intercapedini per inserire altri elementi all'interno del muro.

La realizzazione dei forati in laterizio avviene quasi interamente come quella dei mattoni pieni, con l'eccezione della fase di stampaggio, che avviene all'interno di stampi reticolati della forma e della dimensione desiderata dal produttore.

Peso, dimensioni, numero di fori e persino la direzione di questi ultimi, sono variabili. Esiste infatti un'enorme varietà di forati, che vengono scelti in base alla loro destinazione d'uso.

Quello che si è usato nel nostro caso è un blocco di dimensioni 25x25x8 cm.

Vantaggi

I forati in laterizio hanno sicuramente dei pregi che li fanno preferire in molti casi ai mattoni pieni. Innanzitutto, il trasporto di questi elementi è molto più semplice, aiutato dal loro peso ridotto; anche la posa è avvantaggiata, in quanto questi blocchi sono facilmente maneggiabili.

Inoltre, la loro struttura e in particolar modo la superficie porosa e zigrinata aiuta l'assorbimento dell'intonaco, garantendo un risultato finale di ottima qualità.

Utilizzo

I forati in laterizio possono essere utilizzati sia per muri portanti che per muri non portanti, così come per pareti sia perimetrali che interne. Ovviamente, a seconda della destinazione d'uso, verrà scelto un forato differente. In particolare:

- Quando la foratura è di una percentuale minore del 45% i forati possono essere usati per costruire **pareti portanti**;
- Con una percentuale di foratura tra il 45% e il 55%, i blocchi forati possono essere usati per la costruzione di **murature portanti**.
- Con una percentuale di vuoti compresa tra il 55% e il 70%, i blocchi forati possono essere usati solo per murature di tamponamento e per costruire **tramezzi**.

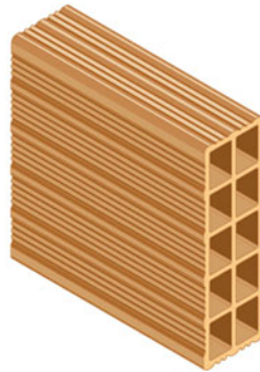


Figura 3.4 - Blocco Forato 25x25x8 cm

| | |
|--|---------------------------|
| Dimensioni | 25x25x8cm |
| Peso elemento normale | ± 3kg |
| Percentuale di foratura | ≤ 65% |
| Resistenza Caratteristica f_{bk} | >5,0 (N/mm ²) |

Per questo elemento è stato eseguito la prova a **compressione semplice**, ottenendo i seguenti risultati:

| Provino | b | h | s | Area grossa [mmq] | Area netta [mmq] | Forza di compressione P_u [kN] | $\tau = P_u/A_{grossa}$ | $\tau_2 = P_u/A_{netta}$ |
|---------|-----|-----|----|-------------------|------------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1 | 250 | 250 | 80 | 20000 | 11000 | 170 | 8,50 | 15,45 |
| 2 | 250 | 250 | 80 | 20000 | 11000 | 100 | 5,00 | 9,09 |
| 3 | 250 | 250 | 80 | 20000 | 11000 | 133 | 6,65 | 12,09 |



Figura 3.5 Prova di Compressione su un blocco Forato

3.3.5 Blocchi in cemento

I blocchi in cemento rappresentano uno dei sistemi più diffusi ed economici per realizzare murature. Il blocco di cemento vibrocompresso è un elemento in cemento a forma di parallelepipedo, prodotto industrialmente, forato o pieno.

Sono blocchi che uniscono le grandi prestazioni di resistenza al fuoco a quelle di resistenza meccanica. Questi blocchi trovano ideale applicazione nella formazione di pareti portanti, di tamponamento e divisorie in qualsiasi ambito di intervento, garantendo inoltre ottimi valori di fonoisolamento e buone caratteristiche termoigrometriche. Sono fabbricati con impasti cementizi di aggregati normali (massa volumica non inferiore a 1800kg/mc); per ridurre il peso, vengono ampiamente forati, pur mantenendo una sezione resistente adatta alla costruzione di murature portanti per edifici di pochi piani (in genere non più di tre in zona non sismica). Il blocco che si è messo sotto prova di compressione ha delle dimensioni 50x20x25 cm

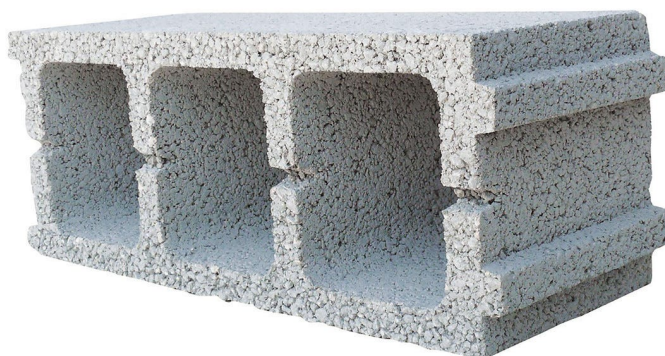


Figura 3.6 - Blocco in cemento 50x20x25 cm

| | |
|---|----------------------------|
| Dimensioni | 50x20x25cm |
| Peso elemento normale | ± 28kg |
| Percentuale di foratura | 65% |
| Resistenza Caratteristica f_{bk} | >5,0 (N/mm ²) |
| Res.caratt.in dir.ortogonale ai carichi verticali e nel piano del muro, f'_{bk} | ≥ 1.5 (N/mm ²) |

Per questo elemento è stata eseguita nel “Laboratorio Prove Materiali” e Strutture della Sezione Strutture, Dipartimento DICEA, la prova a compressione semplice, ottenendo i seguenti risultati:

| Provino | b | h | s | Area grossa [mmq] | Area netta [mmq] | Forza di compressione P_u [kN] | $\tau = P_u/A_{grossa}$ | $\tau_2 = P_u/A_{netta}$ |
|---------|-----|-----|-----|-------------------|------------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1 | 500 | 200 | 250 | 100000 | 65000 | 560 | 5,60 | 8,62 |
| 2 | 500 | 200 | 250 | 100000 | 65000 | 590 | 5,90 | 9,08 |
| 3 | 500 | 200 | 250 | 100000 | 65000 | 575 | 5,75 | 8,85 |



Figura 3.7 - Prova di Compressione su un blocco in Cemento

3.4 Malta

La malta è un conglomerato costituito da una miscela di legante, acqua, inerti ed eventuali additivi e deve essere proporzionata in modo tale da assicurare lavorabilità all'impasto bagnato e resistenza meccanica allo stato asciutto dopo i fenomeni di presa ed indurimento.

Il legante è una sostanza con proprietà adesive e coesive che, quando impastata con altri materiali, dà origine ad una massa plastica.

I Leganti possono essere idraulici o aerei.

In base ai leganti le malte si suddividono in:

- **Malta areea** - Fanno presa ed indurimento soltanto quando sono messe in contatto con l'aria. Fanno parte di questa categoria le malte con base un legante aereo come la calce o il gesso,
- **Malta idraulica**- Dopo il fenomeno di presa, fanno indurimento nell'acqua anche non a contatto con l'aria. Fanno parte di questa categoria le molte con base un legante idraulico come il cemento, la calce idraulica.
- **Malte Cementizie** - Sono le malte che si usano di più per muri e cassetti perché hanno resistenza meccanica elevata e perciò sono adatte a lavorazioni che dovranno sopportare elevate sollecitazioni. Sono composte da cemento, sabbia ed acqua.
- **Malte Bastarde** - sono malte composte da più leganti. Questo succede per sopperire i difetti delle molte comuni. La malta bastarda più comune è composta da cemento, calce, sabbia ed acqua. Questa tipologia di malta ha resistenza meccanica più grande di quella solo cementizia e meno meno problemi di ritiro.
- **Malte con additivi** - per questa tipologia di molte è previsto l'uso di un additivo che ne migliora le caratteristiche e le fa diventare più idonee alla lavorazione da compiere. Ad esempio, un additivo può fluidificare la viscosità dell'impasto, un altro tipo può ritardarne/accelerarne la presa o indurimento.



Figura 3.8 - Malta (in grigio)

Le NTC hanno introdotto una nuova classificazione delle malte per muratura .

Le malte per muratura sono suddivise in due categorie:

- Malte a prestazione garantita
- Malte a composizione prescritta

Le prestazioni meccaniche dell malta sono definite mediante la sua resistenza media a compressione f_m . La classe di una malta è definita da una sigla costituita dalla lettera M seguita da un numero che indica la resistenza f_m espressa in N/mm^2 .

Per le malte a prestazione garantita (NTC, § 11.10.2.1) sono previste le classi indicate nella tabella seguente:

| Classe | M2.5 | M5 | M10 | M15 | M20 | Md |
|--------------------------|------|----|-----|-----|-----|----|
| Res. a compr. N/mm^2 . | 2.5 | 5 | 10 | 15 | 20 | d |

d è una resistenza a compressione maggiore di 25 N/mm^2 dichiarata dal produttore

Le malte a composizione prescritta (NTC, § 11.10.2.2), sono definite in rapporto alla composizione in volume secondo la tabella seguente:

| Classe | Tipo malta | Cemento | Calce Aerea | Calce idraulica | Sabbia | Pozzolana |
|--------|------------|---------|-------------|-----------------|--------|-----------|
| M2.5 | idraulica | - | - | 1 | 3 | - |
| M2.5 | pozzolana | - | 1 | - | - | 3 |
| M2.5 | bastarda | 1 | - | 2 | 9 | - |
| M5 | bastarda | 1 | - | 1 | 5 | - |
| M8 | cementizia | 2 | - | 1 | 8 | - |
| M12 | cementizia | 1 | - | - | 3 | - |

Anche se in piccoli percentuali all'interno della struttura muraria, la malta è molto importante perché ha una notevole influenza sul comportamento della muratura e perciò è essenziale che soddisfatti determinati requisiti.

La malta indurita dev'essere in grado di sviluppare una buona aderenza con i mattoni e non deve sviluppare ritiri eccessivi, che permetterebbero all' acqua piovana di infiltrarsi e di provocare perdite di resistenza o lesioni nei mattoni.

3.4.1 Prova di Compressione e Flessione

Si sottopongono alla prova i campioni dopo 28 giorni di stagionatura. Si pulisce la superficie di appoggio della macchina di prova e poi si posiziona il campione nella macchina in modo che il carico sia applicato ad una delle sue facce.



Figura 3.9 - Provino di malta sottoposto a compressione

Invece la prova di flessione a carico centrato consiste nel posizionare il provino su due appoggi laterali (rulli d'appoggio), facendo attenzione al corretto centramento del provino e che la direzione di applicazione del carico risulti perpendicolare alla direzione del getto del provino. A questo punto, si prosegue con la prova di carico, portando a rottura il provino di malta.

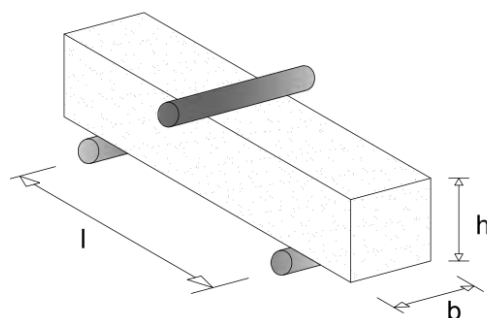


Figura 3.10 - Prova di flessione su un provino di malta

Eseguita la prova si calcola la resistenza a flessione:

$$f_{cf} = \frac{3Fi}{2bh} \quad (3.1)$$

dove:

F - Carico massimo a rottura [N]

B-h - dimensioni provino

I - distanza tra i rulli di appoggio

Fct- resistenza a flessione

Queste prove si effettuano per capire se si verificano i requisiti dalla normativa vigente.

3.5 Rinforzo dei pannelli

Per garantire un miglioramento sismico, i pannelli vengono rinforzati con tecniche di intonaco innovative. Tramite delle prove sperimentali, si analizza l'efficacia dell'intervento di rinforzo.

3.5.1 Tecniche di Rinforzo

Le malte che si possono mettere nei provini sono di 4 tipologie:

- Intonaco ESICEM 500
- Intonaco ARMAMURO
- Intonaco BETONCINO BS15+RETE 40X40
- Intonaco BETONCINO CALCEPURA + RETE 40X40

Alcuni di questi intonaci usano il sistema FIBER REINFORCED CEMENTITIOUS MATRIX che sono dei rinforzi sotto forma di intonaci armati strutturali con leganti cementizi e reti in fibra di carbonio. Questa tecnologia è versatile, consentendo consolidamenti strutturali e sistemi di rinforzo strutturale per muratura e calcestruzzo dei Beni Culturali e delle dimore storico-artistiche.

Questa tecnica consente di ottenere un miglioramento generale delle caratteristiche meccaniche delle strutture soggette ad azioni sismiche, attraverso un rinforzo strutturale, formato da fibre in carbonio, vetro, acciaio in matrici inorganiche reversibili e traspiranti.

Nei sistemi di rinforzo FRCM la matrice inorganica, a base di cemento o calce viene rinforzata con reti realizzate con fibre continue di una o più delle seguenti tipologie di materiali:

- Acciaio ad alta resistenza
- Arammide
- Carbonio
- Vetro AR

La matrice funge anche da adesivo al substrato interessato dall'intervento di rinforzo.

Nel sistema FRCM possono essere presenti anche altre componenti organiche quali:

- Eventuali promotori di adesione rete- matrice
- Eventuali additivi per migliorare le proprietà reologiche della matrice

Questi componenti non devono superare il limite del 10% in peso del legante inorganico. Può essere presente anche un eventuale rivestimento della rete di rinforzo allo stato secco, che non rientra nel limite del 10% suddetto.

(a)



(b)



(c)



Figura 3.11 - (a) FRCM in fibre di acciaio. (b) FRCM in fibre di vetro. (c) FRCM fibra in cromo

Iniziamo ad analizzare le caratteristiche degli intonaci.

3.5.2 Caratteristiche dell'intonaco ESICEM 500

Esicem intonaco 500 è un prodotto a base cemento, calce, inerte calcareo selezionato ed additivi specifici, per la formazione di intonaci interni ed esterni. Conforme UNI EN 998-1

Si usano per la realizzazione di intonaci interni o esterni su superfici tradizionali ad applicazione a macchina. La costanza del prodotto garantisce un'uniformità di prestazioni, buona lavorabilità ed economicità del lavoro, ottima adesione al supporto.

Il solido deve essere libera da polvere, sporco, oli, efflorescenze saline, parti inconsistenti . Si sconsiglia l'utilizzo di ESICEM INTONACO 500 su superfici con elevata presenza di umidità di risalita.

L'applicazione si effettua a mano o a macchina con intonacatrice. Si verifica il corretto dosaggio d'acqua d'impasto regolando il relativo flussimetro della macchina intonacatrice. In ogni caso il prodotto deve risultare consistente e plastico. Lo spessore d'applicazione deve essere di circa 1 cm per mano d'applicazione e comunque non superiore ai 2 cm. per mano. Si attende una prima fase di presa per alcuni minuti prima di procedere al livellamento con staggia d'alluminio. Dopo alcune ore (circa 4 dipendente dalle temperature d'applicazione) a prodotto indurito si riquadrano gli angoli spigoli. Si rifinisce l'intonaco con rasatura civile tipo malta fine last lime.



Figura 3.12 - Applicazione dell'intonaco ESICEM 500

| Dati Tecnici | |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| Granulometria | <1,4mm |
| Massa Volumica della polvere | 1400 kg/m ³ |
| Massa Volumica Impastata | 1750 kg/m ³ |
| Massa Volumica indurito | 1650 kg/m ³ |
| Massa Volumica dry | 1500 kg/m ³ |
| Permeabilità al vapore | μ 5/20 |
| Conducibilità termica | λ 0,47 W/mK |
| Reazione al fuoco | EUROCLASSE A1 |
| Assorbimento d'acqua | > 0,4kg(m ² .min0,5) |
| Conforme alla norma UNI EN 998-1 | GP-CS II-WO |
| Consumo teorico per 1 cm di spessore | 14 Kg/m ² |

3.5.3 Caratteristiche dell' Intonaco Armamuro

Il betoncino strutturale fibrato cementizio ha delle elevate caratteristiche meccaniche per il rinforzo antisismico. Offre una buona lavorabilità e ottima adesione al supporto ed è molto economico. È particolarmente adatto per intonaci di murature di ogni tipo sollecitate a taglio da eventi sismici.

I solidi dove si applicano devono essere solidi, puliti e privi di sostanze che possono compromettere la lavorabilità e l'aderenza del prodotto. Prima dell'applicazione del prodotto si deve assicurarsi l'avvenuta scarnita della malta esistente tra gli elementi costituenti la muratura. Si inumidisce la superficie alcune ore prima di procedere all'applicazione della prima mano d'intonaco. Il prodotto viene applicato a mano o con intonacatrice.



Figura 3.10 - Applicazione dell' Intonaco ARMAMURO

| Dati Tecnici | |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| Granulometria | <1,4mm |
| Massa Volumica della polvere | 1400 kg/m ³ |
| Massa Volumica Impastata | 1750 kg/m ³ |
| Massa Volumica indurito | 1650 kg/m ³ |
| Massa Volumica dry | 1500 kg/m ³ |
| Permeabilità al vapore | μ 5/20 |
| Conducibilità termica | λ 0,47 W/mK |
| Reazione al fuoco | EUROCLASSE A1 |
| Assorbimento d'acqua | > 0,4kg(m ² .min0,5) |
| Conforme alla norma UNI EN 998-1 | GP-CS II-WO |
| Consumo teorico per 1 cm di spessore | 14 Kg/m ² |

3.5.4 Caratteristiche dell'intonaco BETONCINO BS15

L'intonaco Betoncino BS15 è un prodotto a base cemento, inerte calcareo selezionato ed additivi specifici per rendere il prodotto altamente resistente e per migliorarne la lavorabilità e l'adesione, per la formazione di intonaci interni ed esterni. Conforme UNI EN 998-2

Il prodotto garantisce buona lavorabilità con ottima adesione al supporto. Le elevate caratteristiche di resistenza permettono di intervenire con il prodotto su pareti strutturali. Questo prodotto si usa per la realizzazione di intonaci interni o esterni su superfici tradizionali ad applicazione a macchina idoneo per rendere strutturale la parete.

Il solido dev'essere libero di polvere, sporco, oli, efflorescenze saline. Qualora si debba intervenire su murature precedentemente stonate si dovrà assicurare una ottimale solidità al fondo mediante posa di apposito primer consolidante, al fine di assicurare adesione e coesione all'applicazione successiva.

Pulire e trattare tutti i ferri di armatura. Applicare, se richiesto, rete elettrosaldata ancorata direttamente alla parete sottostante.

In mancanza eventuali giunti vanno armati con opportuna rete porta intonaco. Inumidire la superficie alcune ore prima dell'applicazione.

| Dati Tecnici | |
|--|-----------------------------------|
| Granulometria | <3mm |
| Classifica UNI EN 998-2 | M15 |
| Massa Volumica Impastata | 1900 kg/m ³ |
| Massa volumica apparente della polvere | 1400 kg/m ³ |
| Massa volumica dry | 1700 kg/m ³ |
| Reazione al fuoco | EUROCLASSE A1 |
| Resistenza meccanica compressione 28gg | >15 N/mm ² |
| Resistenza meccanica flessione 28gg | >4,0N/mm ² |
| Resistenza al taglio iniziale | 0.15 N/mm ² |
| Consumo teorico per 1 cm di spessore | 16 kg/m ² |
| Acqua d'impasto | 19% (±2) |
| Classifica UNI EN 998-1 | GP CSIV WI |
| Assorbimento d'acqua | < 0,4 kg/(m ² .min0,5) |
| Coefficiente di permeabilità al vapore acqueo | μ 15/35 |
| Conducibilità termica (v.t. P=50%) | λ 0,83 W/mK |
| Resistenza meccanico allo strappo | 0,15N/mm ² |

3.5.5 Caratteristiche dell'intonaco BETONCINO CALCEPURA RESTAURA

Calceapura restaura è una malta strutturale fibrata di classe M15 a base di calce idraulica naturale NHL 5.0, inerti calcarei selezionati in granulometria controllata, fibre e additivi specifici che ne migliorano la lavorabilità.

Conforme UNI EN 998-2. Il prodotto risulta ideale per la realizzazione di murature storiche o nel settore bioedilizia. CALCEPURA RESTAURA presenta un'alta permeabilità al vapore acqueo ed una limitata reattività ai sali contenuti nelle murature contribuendo ad un migliore benessere abitativo. Risulta quindi un idoneo prodotto di intonacatura per il restauro di strutture murarie antiche.

La malta va utilizzata come una normale malta da intonaco facendo attenzione di applicare uno spessore minimo di 2,5 cm per mano d'applicazione. Applicare una prima mano a basso spessore ("rinzaffata") e procedere successivamente dopo qualche ora con la prima mano d'applicazione. A completa asciugatura l'intonaco potrà essere rifinito con rasature a seconda della finitura che si vuole ottenere.

| | |
|--|-----------------------------------|
| Colore: | nocciola |
| Granulometria | < 2,5 mm |
| Classifica UNI EN 998-2 | M15 |
| Classe UNI EN 998-1 | GP CSIV WI |
| Massa volumica apparente della polvere | 1400 kg/m ³ |
| Massa volumetrica indurito | 1900 kg/m ³ |
| Massa volumetrica dry | 1800 kg/m ³ |
| Acqua d'impasto | 19%(±2) |
| Resistenza a compressione a 28gg UNI EN 1015-11 | > 15,0N/mm ² |
| Resistenza a flessione a 28 gg UNI EN 1015-11 | > 5,0N/mm ² |
| Temperatura di applicazione | +5°C a +35°C |
| Tempo di applicazione | circa 40 minuti |
| Reazione al fuoco | EUROCLASSE A1 |
| Assorbimento d'acqua | < 0,4 kg/(m ² .min0,5) |
| Coefficiente di permeabilità al vapore acqueo | μ 15/35 |
| Conducibilità termica (v.t. P=50%) | λ 0,83 W/mK |
| Resistenza al taglio iniziale | 0,15N/mm ² |

3.6 Applicazione dei carichi

La prova eseguita sui provini è una prova di compressione diagonale, e consiste nello studiare il comportamento della muratura quando il provino viene inclinato di 45° rispetto l'orizzontale dei mattoni.

Questi pannelli vengono strumentati dei trasduttori applicati in verticale e orizzontale su entrambe facciate e servono per misurare gli spostamenti di allungamento e accorciamento durante la prova di compressione.

Questo consente di valutare il diagramma costitutivo della muratura che compone il pannello mettendo in relazione la tensione tangenziale e la deformazione a taglio. Portando il pannello a rottura è possibile determinare la resistenza tangenziale media della muratura t_0 . Questa resistenza viene calcolata tramite la formula:

$$\tau_0 = P_v / A \quad (3.2)$$

dove:

P_v - carico verticale di compressione applicato

A - Area della sezione trasversale del pannello

Entrambe le quantità sono note, perché il carico verticale e gli spostamenti sono acquisiti mediante il collegamento al sistema operativo dove vengono registrati tutti gli spostamenti al variare del carico a cui è sottoposto il provino. La prova è stata eseguita per cicli di carico, in modo da verificare il comportamento della muratura, iniziando il ciclo uno con un carico che varia da 0-5 KN, ciclo due 0-10 KN, ciclo tre 0-20 per portare a rottura con il ciclo quattro.

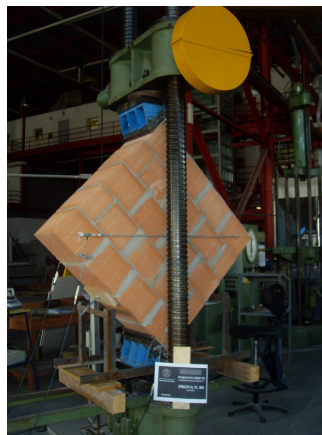


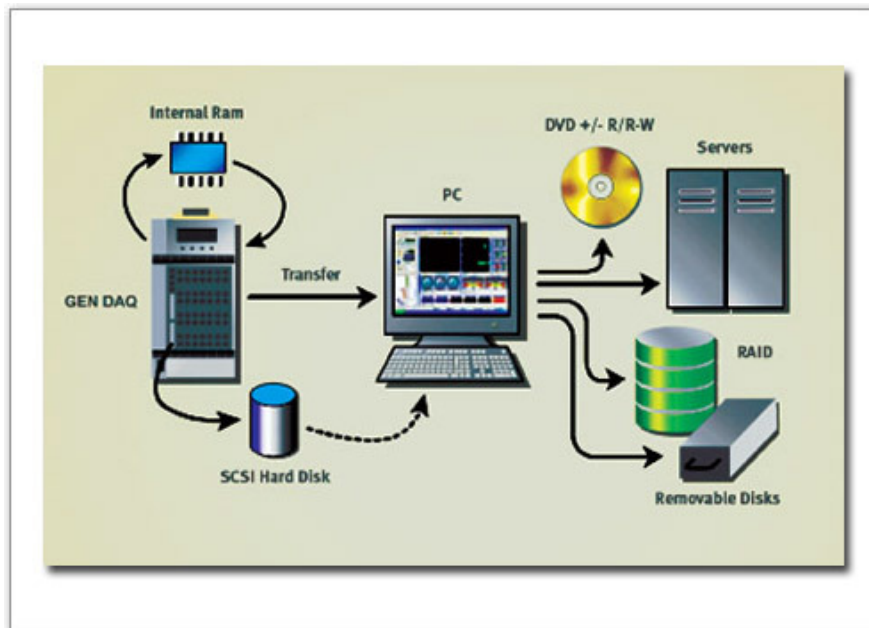
Figura 3.11 Prova di compressione diagonale

Come capito anche dalla figura precedente, le prove sono state effettuate con macchina prova materiali.



Figura 3.12 Macchina prova materiali

Sulla macchina è posizionato un trasduttore di pressione che trasmette il segnale della forza applicata al provino alla centralina di acquisizione dati. Il valore della forza è determinato attraverso l'opposizione che il pannello fornisce alle piastre di trasmissione carico ed è espressa in KN. L'acquisizione dati è effettuata con un hardware - Data Acquisition Systems (DAQ) – che converte i segnali elettrici dei sensori in segnali analogici. Tali segnali sono interpretati dal software presente nel computer che riceve i dati. Il software rielabora i dati trasmessi dal DAQ in valori di forza, spostamenti e deformazioni e li riporta in un foglio di calcolo formato Excel. I valori sono in seguito utilizzati per definire i parametri necessari a determinare le caratteristiche meccaniche dei provini testati.



Gli spostamenti sono controllati attraverso sensori di spostamento induttivi a trasformatore differenziale Linear Variable Differential Transformer di tipo elettromagnetico.



Figura 3.14 LVDT

Lo spostamento meccanico che si verifica nel LVDT è convertito in segnale elettrico sotto forma di tensione.

I trasduttori sono posizionati su entrambi i lati del pannello, in corrispondenza delle diagonali, così da registrare spostamenti verticali (uv) e spostamenti orizzontali (uh) sia sui pannelli non rinforzati che quelli rinforzati. Questi LVDT sono identificati mediante un codice alfa numerico che ne individua le basi di misura. Ogni trasduttore è stato ulteriormente codificato per una migliore lettura delle immagini e delle misure iniziali.

4. ANALISI ED ELABORAZIONE DATI DEI PROVINI.

Come abbiamo parlato anche nel capitolo precedente, i provini che prendiamo in considerazione sono di tre tipi:

- Blocchi Poroton
- Blocchi Forati
- Blocchi in Cemento

A ciascuno dei blocchi si sono applicate le tecniche di rinforzo e si è studiato il comportamento sotto la prova di compressione diagonale. Per ogni tipo di provino si sono effettuate 3 prove. Iniziamo dal blocco poroton rinforzato con Esicem 500.

4.1.1. Blocco Poroton + Esicem 500

(Tutte le prove sono state effettuate nel “Laboratorio Prove Materiali e Strutture” della sezione Strutture, Dipartimento DICEA.)

Provino A1 - Sperimentazione 1

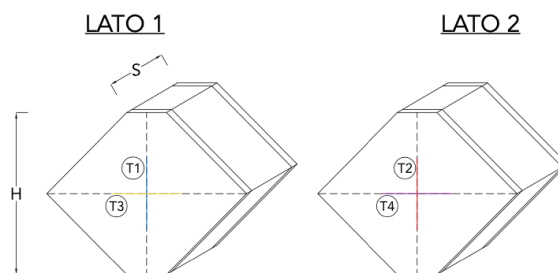
Posizionamento della muratura sotto la pressa e misurazioni.



Figura 4.1 - Provino A 1.1 sotto la prova di compressione diagonale

| Dimensione del provino | H (mm) | S (mm) |
|------------------------|--------|--------|
| | 680 | 315 |

| Dimens. Trasduttori | T1 (mm) | T2 (mm) | T3 (mm) | T4 (mm) |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|
| | 288 | 303 | 313 | 290 |



Con queste dimensioni di provino e trasduttori si nota che la muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico pari a 85KN, arrivando a rottura con un carico di 124KN, corrispondente ad una resistenza a taglio di 0.58N/mm². Il punto di rottura si nota molto bene nel trasduttore numero 4, dove inizialmente si ha un andamento lineare costante, poi un'inclinazione che indica una prima fessurazione del materiale. Da questi risultati si può dire che la muratura ha ottenuto un buon risultato.

I TRASDUTTORI

- T1 ———
- T2 ———
- T3 ———
- T4 ———

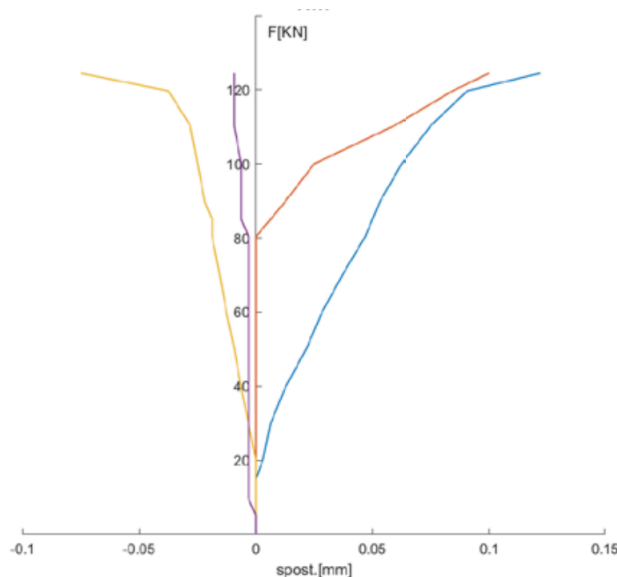


Grafico 4.1 Forza - Spostamento

Dal grafico sopra si capisce che i trasduttori 3 e 4 sono i più sollecitati e questo perché, per compressione, lateralmente si ottiene uno spanciamento e quindi trazione. Nonostante queste, le fessurazioni nella malta della figura 4.1, evidenziano che l'intonaco ha reagito bene sotto sforzo.

Seguendo la stessa procedura, si esegue una seconda sperimentazione e si nota che la muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico pari a 82 KN, arrivando a rottura con un carico di 123KN, corrispondente ad una resistenza di taglio 0.60 N/mm².

Le fessurazioni in questo caso sono più accentuate rispetto al precedente provino, fino a quasi un distacco della malta, ma comunque possiamo confermare che il materiale ha risposto bene alle azioni di taglio (figura 4.2)

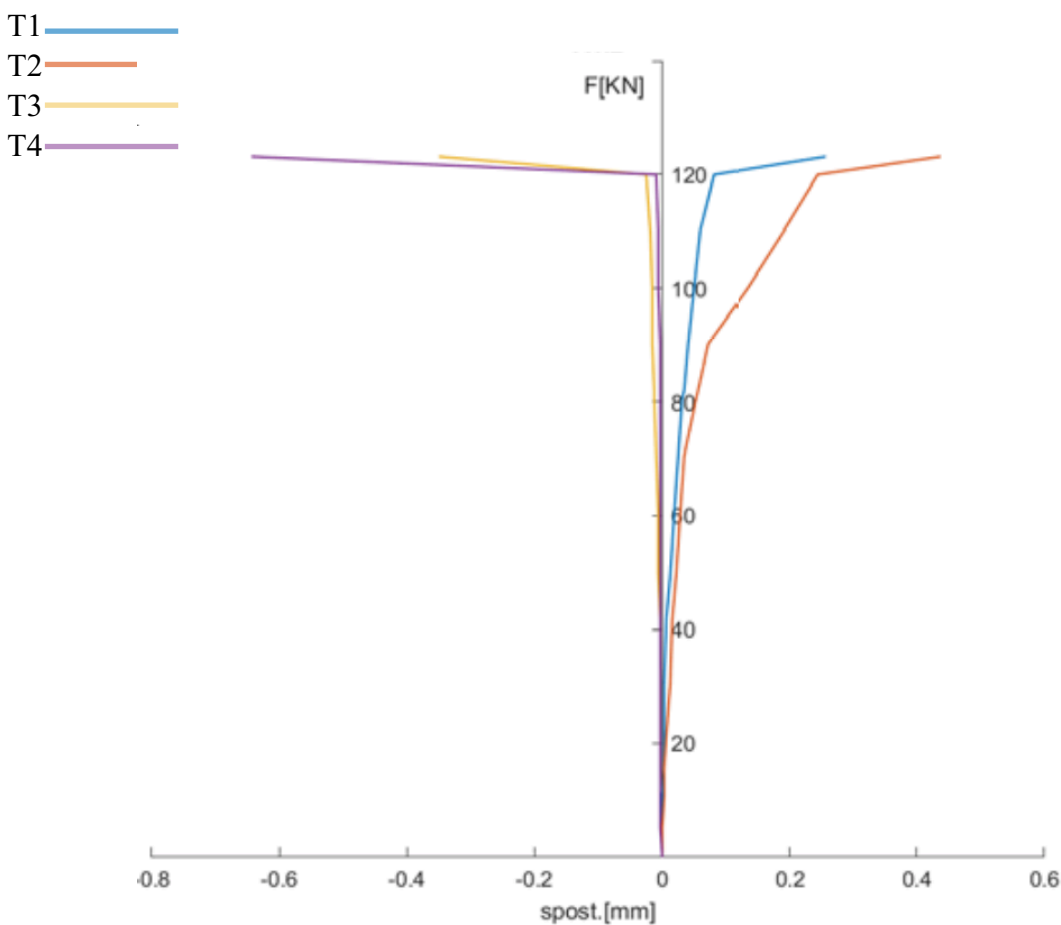


Grafico 4.2 Forza - Spostamento

Come si nota anche da questo grafico i trasduttori più sollecitati sono T3 e T4, questo perché per effetto di compressione, lateralmente abbiamo ottenuto uno spanciamento e quindi trazione. Il punto di rottura si nota molto bene invece nel trasduttore numero 1 e 2.

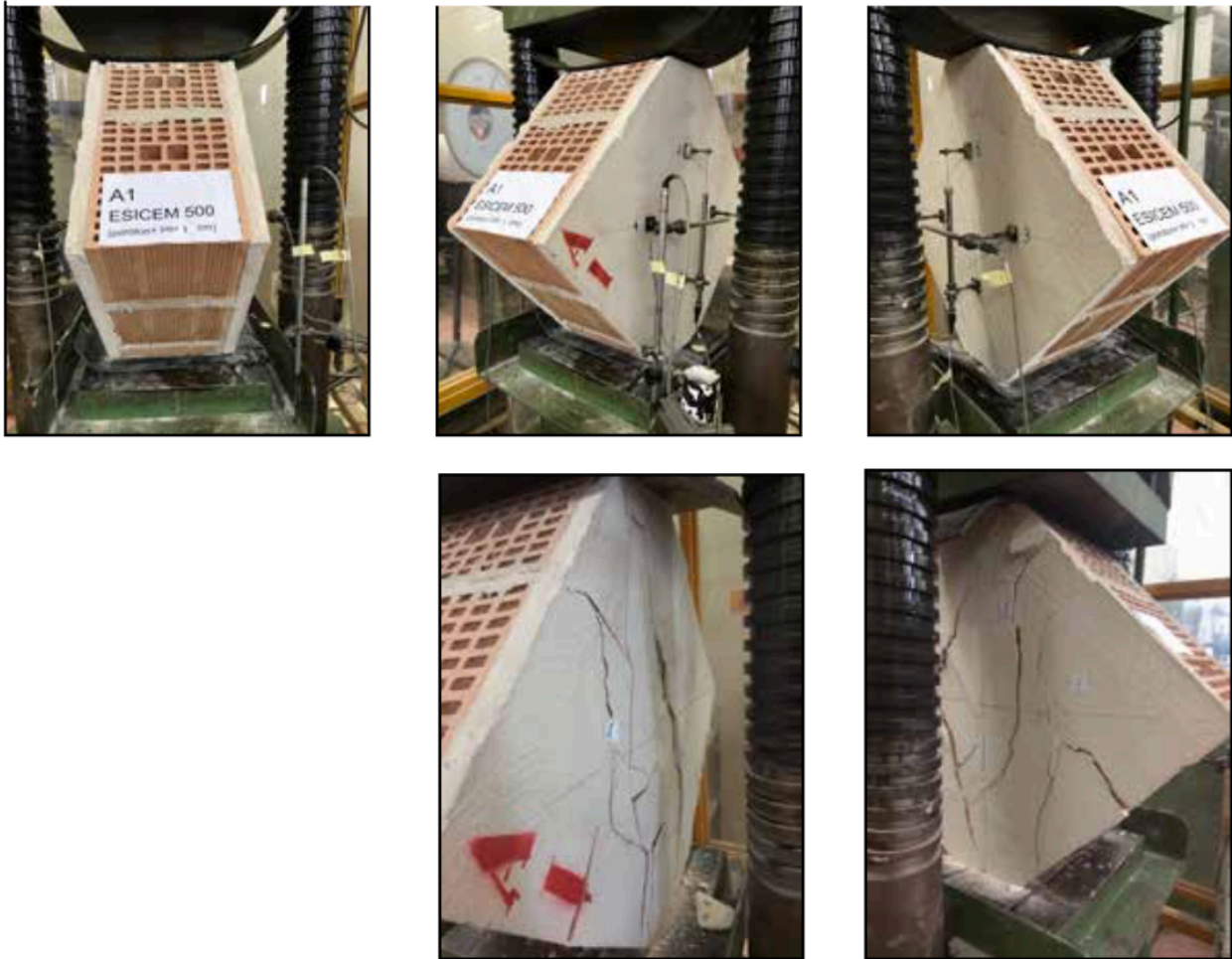


Figura 4.2 - Provino A 1.2 sotto la prova di compressione diagonale

Seguendo la stessa procedura, si effettua la terza prova e si nota che la muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico pari a 39 KN, arrivando a rottura con un carico di 75 KN ad una resistenza a taglio di 0.38N/mm^2 .

Come possiamo notare dai risultati analizzati, la muratura ha ottenuto un valore molto basso rispetto ai precedenti due provini. Questo valore molto basso potrebbe dipendere da diversi fattori tipo, la messa in opera della malta o la scarsa resistenza del laterizio. Possiamo dire che il materiale in questo caso, non ha reagito bene all'azione del taglio (Figura 4.3)

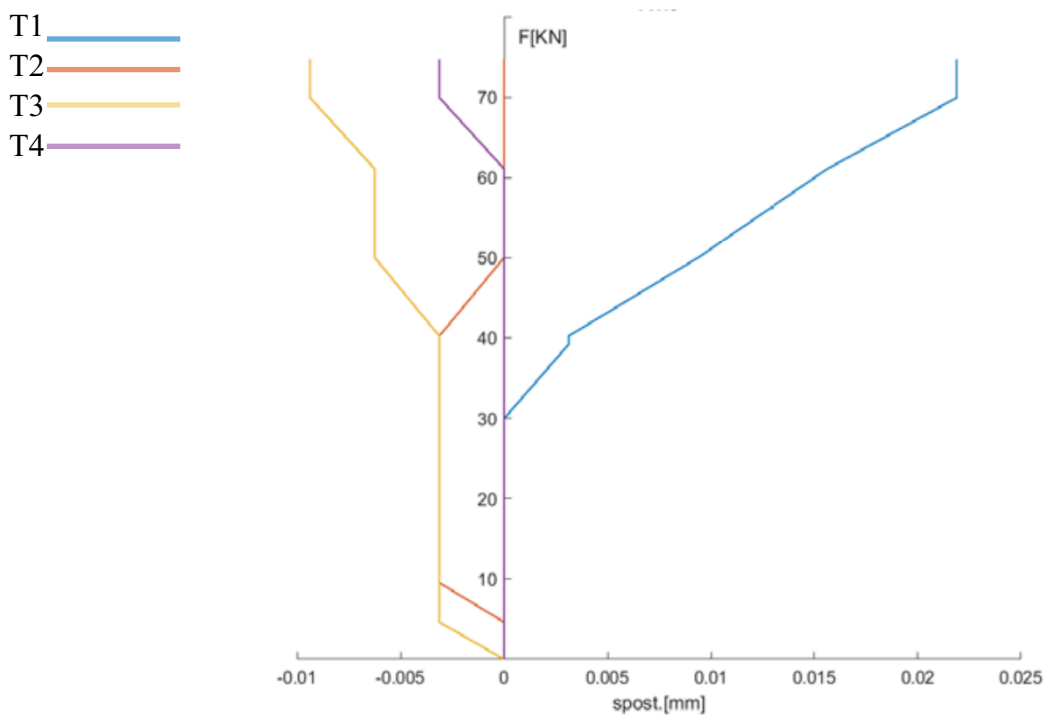


Grafico 4.3 Forza - Spostamento



Figura 4.3 - Provino A 1.3 sotto Prova di compressione diagonale

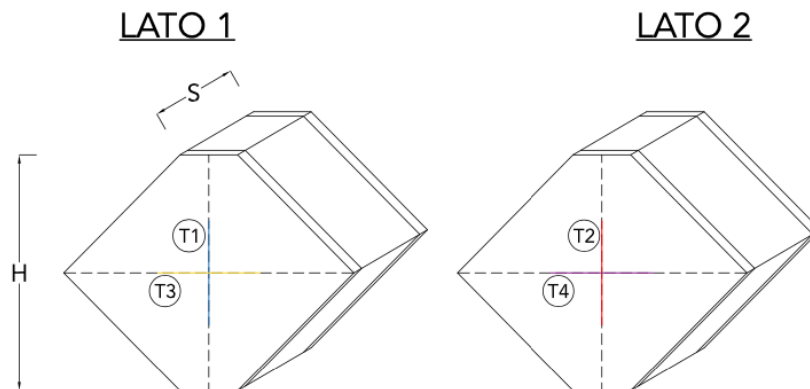
Riepilogando, si può dire che la muratura Poroton rinforzata con intonaco ESICEM 500 ha una resistenza a compressione diagonale media di 123.5 KN, non considerando la terza sperimentazione, in quanto ha avuto un risultato molto inferiore alle precedenti.

L'intonaco ESICEM 500 è un buon rinforzo antisismico, per le murature con laterizio di tipo POROTON, in quanto ha riportato lesioni solo nell'intonaco.

| Codice | Laterizio | Tipo Intonaco | P prima rottura (KN) | P ultima rottura (KN) |
|--------|----------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------|
| A1.1 | Blocco Poroton | Esicem 500 su due lati s=2.5cm | 85 | 124 |
| A1.2 | Blocco Poroton | Esicem 500 su due lati s=2.5cm | 82 | 123 |
| A 1.3 | Blocco Poroton | Esicem 500 su due lati s=2.5cm | 39 | 75 |

4.1.2 Blocco forato da 8 cm + ESICEM 500

Si prende un provino e B1 e si sottopone alla PRIMA PROVA.



DIMENSIONE PROVINO:

| | | |
|---|----|-----|
| H | mm | 690 |
| S | mm | 120 |

DIMENSIONI TRASDUTTORI:

| | | |
|----|----|-----|
| T1 | mm | 303 |
| T2 | mm | 290 |
| T3 | mm | 303 |
| T4 | mm | 295 |

Si procede uguale come con il blocco forato.

La muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico pari a 25 KN, e la rottura si arriva con un carico di 48 KN , corrispondente a una resistenza di taglio 0.57 N/mm².

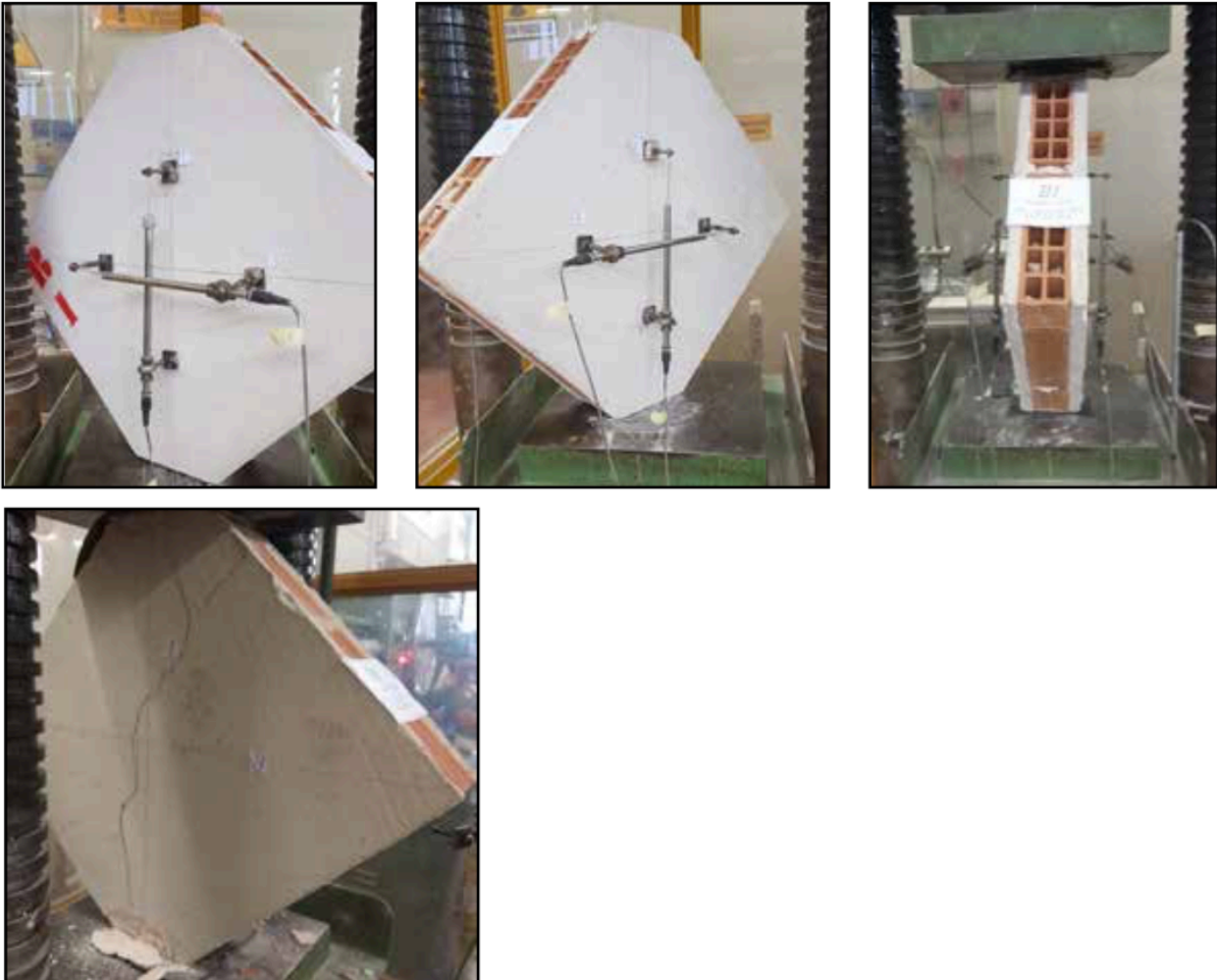
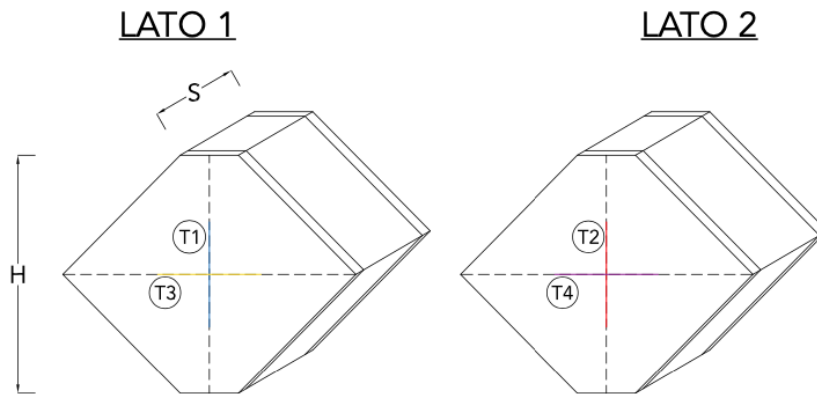


Figura 4.4 - Provino B.1 sotto prova di compressione diagonale

Dalle immagini si nota che, la muratura riporta delle fessurazioni che sembrano passanti. Essa si è rotta creando una fessura perpendicolare al carico a cui era sottoposta ciò fa dire che è come se avesse subito un taglio netto.

Se fossimo stati nel caso del sisma, si verificherebbe la formazione delle croci di Sant' Andrea che preannunciano un meccanismo di collasso della muratura, e che sono classificate come le fessurazioni più pericolose.

PROVINO B1 - SECONDA PROVA



DIMENSIONE PROVINO:

| | | |
|---|----|-----|
| H | mm | 690 |
| S | mm | 120 |

DIMENSIONI TRASDUTTORI:

| | | |
|----|----|-----|
| T1 | mm | 302 |
| T2 | mm | 298 |
| T3 | mm | 302 |
| T4 | mm | 300 |

La muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico pari a 25 KN, arrivando a rottura con un carico di 47 Kn, corrispondente ad una resistenza al taglio di 0.57 N/mm².

Come si nota anche dalle immagini, il provino ha avuto gli stessi risultati come il provino precedente.

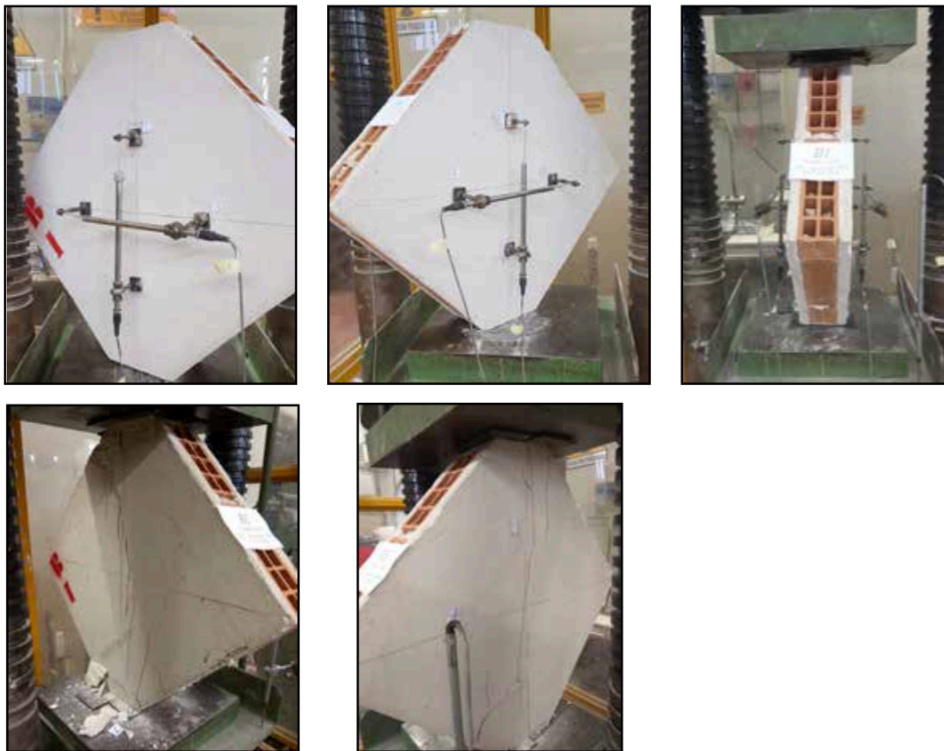
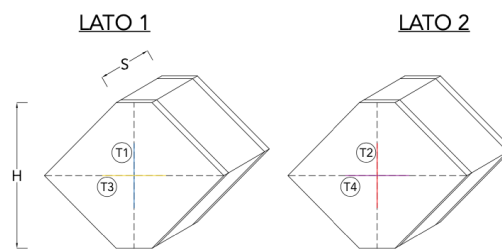


Figura 4.5 - Provino B1.2 sotto prova di Compressione Diagonale

PROVINO B1 - PROVA 3



DIMENSIONE PROVINO:

| | | |
|---|----|-----|
| H | mm | 680 |
| S | mm | 130 |

DIMENSIONI TRASDUTTORI:

| | | |
|----|----|-----|
| T1 | mm | 297 |
| T2 | mm | 298 |
| T3 | mm | 298 |
| T4 | mm | 294 |

La muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico 25 KN e arriva rottura con un carico di 50 KN , corrispondente a una resistenza a taglio di 0.57N/mm².

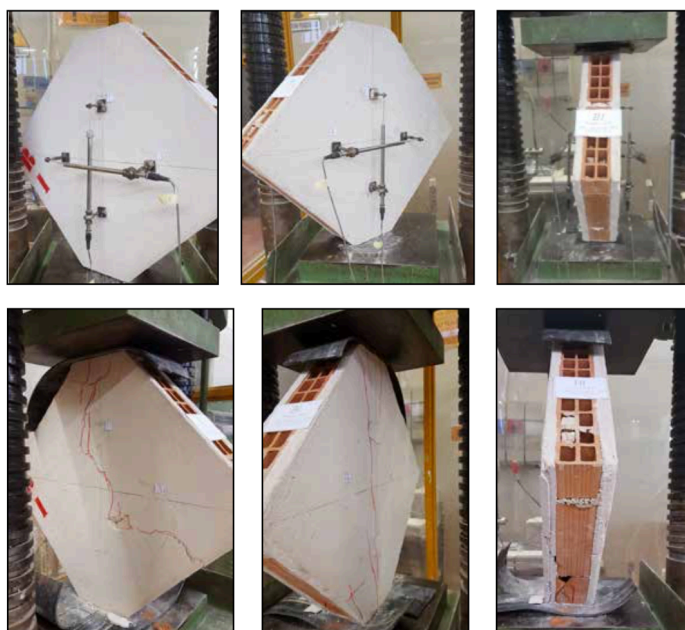


Figura 4.6 Provino B1.3 sotto prova di Compressione Diagonale

Come è possibile capire dalle immagini, la muratura ha ottenuto gli stessi risultati dei provini precedente, con delle lesioni leggermente più accentuate.

RIEPILOGANDO:

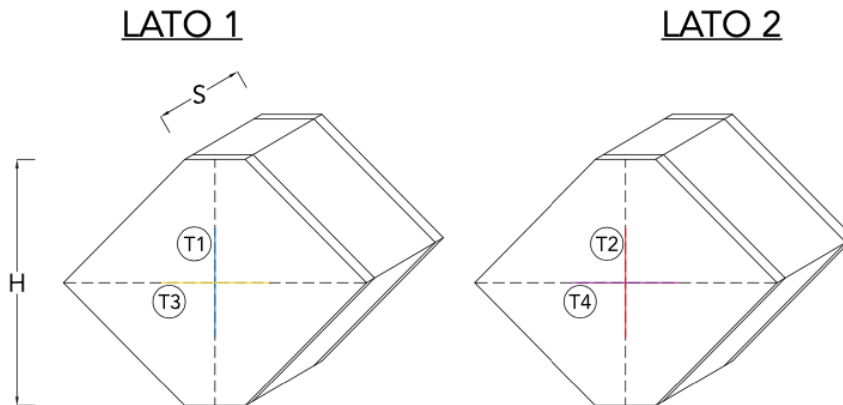
Posso dire che, la muratura con i blocchi forati da 8 cm, rinforzata con intonaco ESICEM 500 ha una resistenza a compressione diagonale media pari a 48 KN.

L'intonaco ESICEM 500 non è un buon rinforzo antisismico, per questa tipologia di muratura, in quanto i provini esaminati hanno riportato lesioni pericolose, taglio netto verticale della muratura, su entrambe i lati, che in caso di sisma preannuncia il collasso della muratura.

| CODICE | LATERIZIO | TIPO INTONACO | P prima rottura (KN) | P ultima rottura (KN) |
|--------|---------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------|
| B1.1 | Forato da 8cm | Esicem 500 su due lati s=2.5cm | 25 | 48 |
| B1.2 | Forato da 8cm | Esicem 500 su due lati s=2.5cm | 25 | 47 |
| B1.3 | Forato da 8cm | Esicem 500 su due lati s=2.5cm | 25 | 50 |

4.1.3 Blocco in Cemento + ESICEM 500

PROVINO C1 - PROVA 1



DIMENSIONI PROVINO:

| | | |
|---|----|-----|
| H | mm | 680 |
| S | mm | 300 |

DIMENSIONI TRASDUTTORI:

| | | |
|----|----|-----|
| T1 | mm | 298 |
| T2 | mm | 300 |
| T3 | mm | 296 |
| T4 | mm | 302 |

La muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico pari a 81 KN, e arriva a rottura con un carico di 153 KN, corrispondente a una resistenza a taglio di 0.75 N/mm².

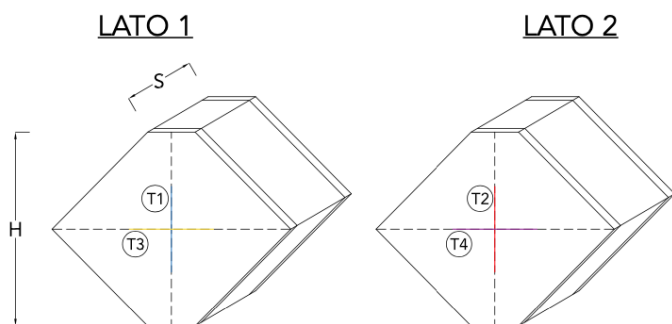
Come si può notare dalle immagini, le fessurazioni evidenziate nella malta, ci fanno capire che l'intonaco ha subito delle sollecitazioni tali che hanno causato una rottura verticale che sembra passante.

Mentre nella parte bassa del provino si nota una frattura diagonale corrispondente su entrambi i lati, identificando che il blocco in cemento si è rotto.



Figura 4.7 - Provino C1 sotto prova di Compressione diagonale

PROVINO C1 - PROVA 2



DIMENSIONI PROVINO:

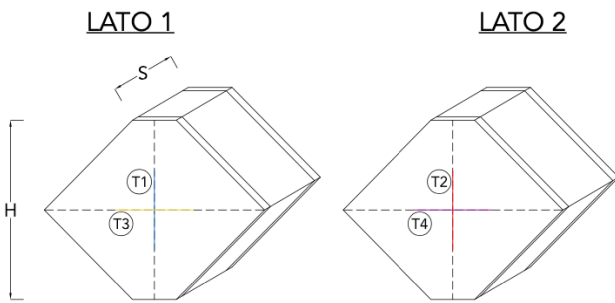
| | | |
|---|----|-----|
| H | mm | 678 |
| S | mm | 305 |

DIMENSIONI TRASDUTTORI:

| | | |
|----|----|-----|
| T1 | mm | 297 |
| T2 | mm | 295 |
| T3 | mm | 305 |
| T4 | mm | 304 |

Nella seconda prova, la muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico pari a 62 KN, arrivando a rottura con un carico di 124 KN, corrispondente ad una resistenza a taglio pari a 0.60 N/mm². In questo caso, la muratura ottiene un buon risultato, il provino riporta delle fessurazioni solamente in un lato, in quanto si rompe il blocco in cemento.

PROVINO C1 - PROVA 3



DIMENSIONI PROVINO:

| | | |
|---|----|-----|
| H | mm | 683 |
| S | mm | 300 |

DIMENSIONI TRASDUTTORI:

| | | |
|----|----|-----|
| T1 | mm | 295 |
| T2 | mm | 303 |
| T3 | mm | 303 |
| T4 | mm | 303 |



Figura 4.8 Provino C1.2 sotto prova di Compressione Diagonale



Figura 4.9 Provino C1.3 sotto prova di Compressione Diagonale

La muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico pari a 63 Kn, arrivando a rottura con un carico di 143 KN, corrispondente ad una resistenza a taglio di 0.70 N/mm².

La muratura ha ottenuto un buon risultato.

La muratura ha riportato delle fessurazioni nella malta evidenti, ma soprattutto si è spaccata a metà, dividendo il blocco in cemento. Questo fenomeno in caso di sisma con forza più elevata del risultato ottenuto creerebbe un meccanismo di collasso della muratura, “apertura a carciofo”.

RIEPILOGANDO:

Possiamo dire che la muratura con i blocchi in cemento, rinforzati con intonaco ESICEM 500 ha una resistenza a compressione diagonale media pari a 140 KN quindi si può dire che il rinforzo di questa muratura con l'intonaco ESICEM 500 è un buon rinforzo antisismico.

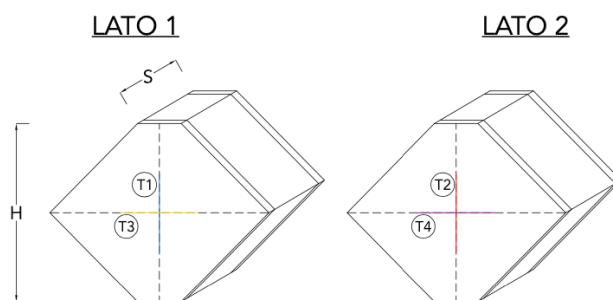
| CODICE | LATERIZIO | TIPO INTONACO | P prima rottura (KN) | P ultima rottura (KN) |
|--------|----------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------|
| C1.1 | Blocco cemento | Esicem 500 su due lati s=2.5cm | 81 | 153 |
| C1.2 | Blocco cemento | Esicem 500 su due lati s=2.5cm | 62 | 124 |
| C1.3 | Blocco cemento | Esicem 500 su due lati s=2.5cm | 63 | 143 |

4.2 PROVINI CON INTONACO ARMAMURO

Per ogni tipologia di laterizio sono state prese in considerazione tre prove e poi si è fatto il confronto tra di loro.

4.2.1 Poroton + Armamuro

PROVINO A2 - PROVA 1



DIMENSIONI PROVINO:

| | | |
|---|----|-----|
| H | mm | 680 |
| S | mm | 315 |

DIMENSIONI TRASDUTTORI:

| | | |
|----|----|-----|
| T1 | mm | 295 |
| T2 | mm | 295 |
| T3 | mm | 303 |
| T4 | mm | 300 |

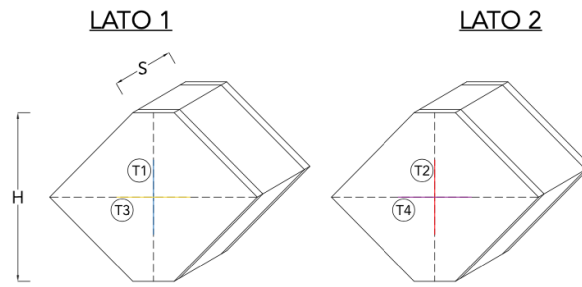


Figura 4.10 Provino A 2.1 sotto prova di Compressione Diagonale

La muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico pari a 85 KN, arrivando a rottura con un carico di 128 KN, corrispondente ad una resistenza di taglio pari a 0.60 N/mm².

Dalle immagini, possiamo notare che, la muratura ha riportato delle lesioni verticali al carico applicato. Inizialmente si distacca la malta dalla muratura, raggiungendo un distacco di 1 cm. Quando il provino viene tolto dal macchinario di prova, posso effettuare una piccola pressione, dalla fessura verso l'esterno, ottenendo il completo distacco della malta dalla muratura (apertura a carciofo).

PROVINO A2 - PROVA 2



DIMENSIONI PROVINO:

| | | |
|---|----|-----|
| H | mm | 677 |
| S | mm | 307 |

DIMENSIONI TRASDUTTORI:

| | | |
|----|----|-----|
| T1 | mm | 300 |
| T2 | mm | 300 |
| T3 | mm | 310 |
| T4 | mm | 297 |

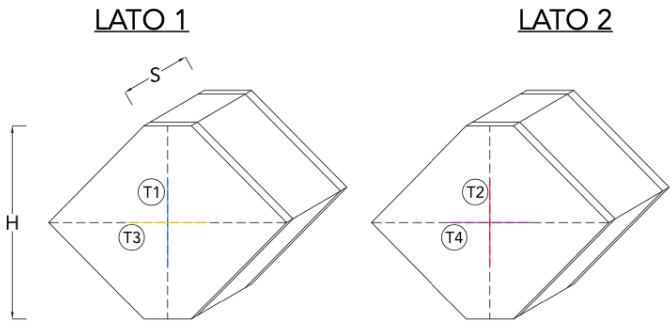


Figura 4.11 Provino A2.2 sotto prova di Compressione Diagonale

La muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico pari a 85 KN e arriva a rottura con un carico di 125 KN, corrispondente a una resistenza al taglio di 0.60 N/mm².

Si verifica un distacco della malta dalla muratura, pari ad 1 cm e in questo caso si verificano lesioni solo dal lato dei trasduttori 1-3, mentre dall'altro lato nessuna lesione, ma solo il distacco della malta.

PROVINO A3 - PROVA 3



DIMENSIONI PROVINO:

| | | |
|---|----|-----|
| H | mm | 685 |
| S | mm | 305 |

DIMENSIONI TRASDUTTORI:

| | | |
|----|----|-----|
| T1 | mm | 298 |
| T2 | mm | 295 |
| T3 | mm | 302 |
| T4 | mm | 308 |

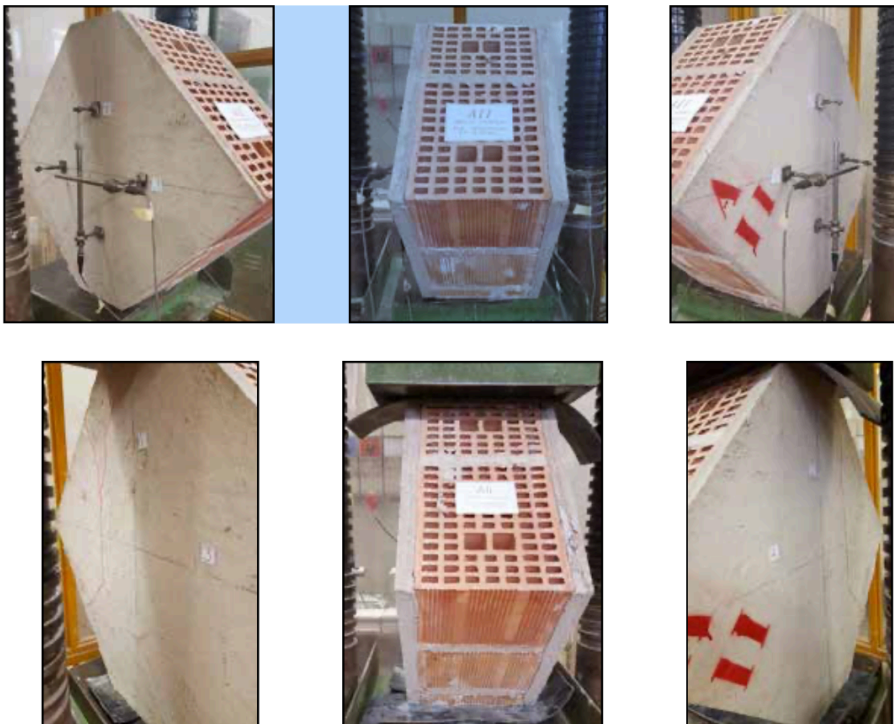


Figura 4.12 Provino A.3 sotto prova di Compressione Diagonale

La muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico pari a 85 KN, arrivano a rottura con un carico di 168 KN, corrispondente ad una resistenza a taglio di 0.81 N/mm².

In questo caso la muratura riporta solamente delle fessurazioni, ed ha raggiunto un ottimo risultato perché rispetto ai due precedenti provi, sopporta meglio le sollecitazioni e non ha avuto distaccamenti di malta.

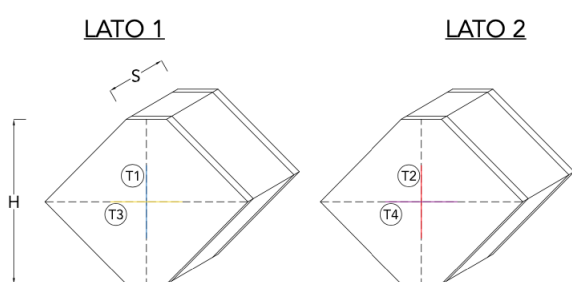
RIEPILOGANDO:

La muratura POROTON rinforzata con intonaco ARMAMURO ha una resistenza a compressione diagonale media pari a 140 KN e questo vuol dire che l'intonaco ARMAMURO è un buon rinforzo antisismico, per le murature con laterizio di tipo POROTON in quanto riporta solo lesioni nell'intonaco o il distacco della malta in blocco.

| CODICE | LATERIZIO | TIPO INTONACO | P prima rottura (KN) | P ultima rottura (KN) |
|--------|----------------|------------------------------|----------------------|-----------------------|
| A2.1 | Blocco POROTON | ARMAMURO su due lati s=2.5cm | 85 | 128 |
| A2.2 | Blocco POROTON | ARMAMURO su due lati s=2.5cm | 62 | 125 |
| A2.3 | Blocco POROTON | ARMAMURO su due lati s=2.5cm | 85 | 168 |

4.2.2 FORATO DA 8 CM + ARMAMURO

PROVINO B2 - PROVA 1



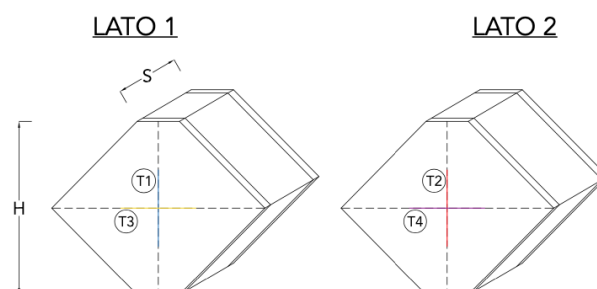
| | | |
|-------------------------|----|-----|
| H | mm | 690 |
| S | mm | 130 |
| DIMENSIONI TRASDUTTORI: | | |
| T1 | mm | 303 |
| T2 | mm | 303 |
| T3 | mm | 305 |
| T4 | mm | 298 |



Figura 4.13 Provino B 2.1 sotto prova di Compressione Diagonale

La muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico pari a 45 KN, e la rottura avviene con un carico di 63KN, corrispondente a un valore di resistenza a taglio di 0.70 N/mm². La muratura riporta delle lesioni diagonali al carico applicato e si nota un distacco di malta della muratura di 1.5cm. Continuando a sollecitare il provino oltre il carico di rottura, siamo arrivati ad ottenere la completa distruzione, cioè il mattone si divide a metà.

PROVINO B2 - PROVA 2



DIMENSIONI PROVINO:

| | | |
|---|----|-----|
| H | mm | 692 |
| S | mm | 130 |

DIMENSIONI TRASDUTTORI:

| | | |
|----|----|-----|
| T1 | mm | 303 |
| T2 | mm | 299 |
| T3 | mm | 304 |
| T4 | mm | 304 |

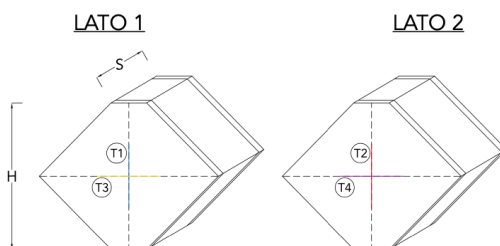


Figura 4.14 Provino B 2.2 sotto prova di Compressione Diagonale

La muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico pari a 45 KN, arrivando a rottura con un carico di 81KN, corrispondente ad una resistenza a taglio di 0.90 N/mm².

Rispetto al provino precedente questo resiste meglio alle sollecitazioni per taglio e questo si può notare anche dalle immagini, dove chiaramente si vede che le lesioni sono minime, perciò si può dire che ha ottenuto un buon risultato.

PROVINO B2 - PROVA 3



| | | |
|-------------------------|----|-----|
| H | mm | 690 |
| S | mm | 130 |
| DIMENSIONI TRASDUTTORI: | | |
| T1 | mm | 299 |
| T2 | mm | 302 |
| T3 | mm | 300 |
| T4 | mm | 294 |

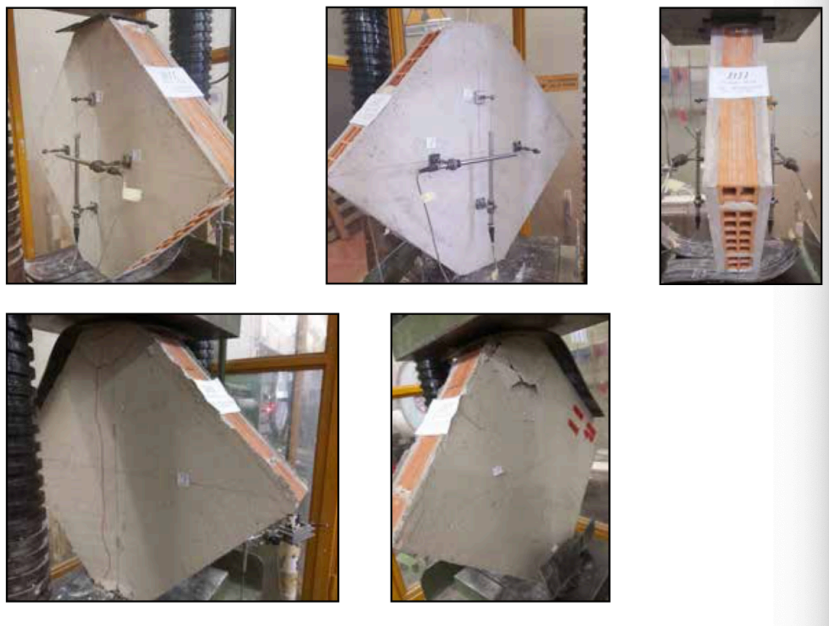


Figura 4.15 Provino B 2.3 sotto prova di Compressione Diagonale

La muratura inizia a plasticizzarsi ad un un carico pari a 45 N/mm², arrivando a rottura con un carico di 90 KN, corrispondente ad una resistenza a taglio di 1.00 N/mm².

Il provino riporta una leggera fessurazione nel lato dei trasduttori 2-4, mentre nel lato opposto una fessurazione perpendicolare al carico a cui era sottoposto. Possiamo concludere , dicendo che dai risultati, il provino ha raggiunto un risultato migliore rispetto ai due provini precedenti.

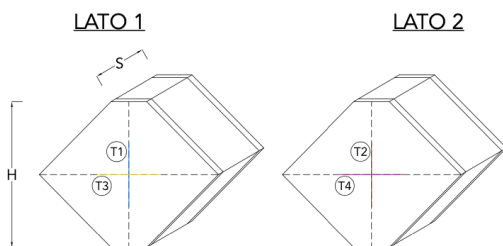
RIEPILOGANDO:

La muratura con i blocchi in laterizio forato da 8 cm, rinforzata con intonaco ARMAMURO ha una resistenza a compressione diagonale media paria a 78 KN. L'intonaco ARMAMURO è un buon rinforzo antisismico per questa muratura.

| CODICE | LATERIZIO | TIPO INTONACO | P prima rottura (KN) | P ultima rottura (KN) |
|--------|---------------|------------------------------|----------------------|-----------------------|
| B2.1 | Forato da 8cm | ARMAMURO su due lati s=2.5cm | 45 | 63 |
| B2.2 | Forato da 8cm | ARMAMURO su due lati s=2.5cm | 45 | 81 |
| B2.3 | Forato da 8cm | ARMAMURO su due lati s=2.5cm | 45 | 90 |

4.2.3 BLOCCO IN CEMENTO + ARMAMURO

PROVINO C2 - PROVA 1



| | | |
|---|----|-----|
| H | mm | 670 |
| S | mm | 305 |

DIMENSIONI TRASDUTTORI:

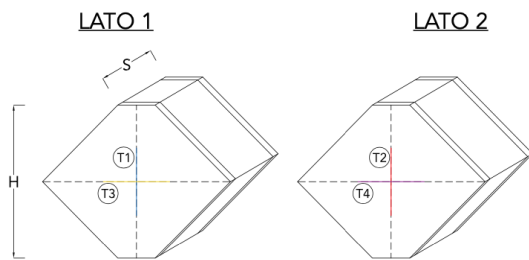
| | | |
|----|----|-----|
| T1 | mm | 306 |
| 2 | mm | 298 |
| 3 | mm | 307 |
| 4 | mm | 299 |



Figura 4.16 Provino C 2.1 sotto prova di Compressione Diagonale

La muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico pari a 83 KN, e arriva a rottura con un carico di 184 KN, corrispondente ad una resistenza a taglio di 0.90 N/mm². Dalle immagini si può capire che il provino ha subito delle lesioni perpendicolari al carico applicato rompendosi a metà del suo spessore e lesionandosi da un lato.

PROVINO C2 - PROVA 2



| | | |
|-------------------------|----|-----|
| H | mm | 665 |
| S | mm | 295 |
| DIMENSIONI TRASDUTTORI: | | |
| T1 | mm | 299 |
| T2 | mm | 302 |
| T3 | mm | 315 |
| T4 | mm | 297 |

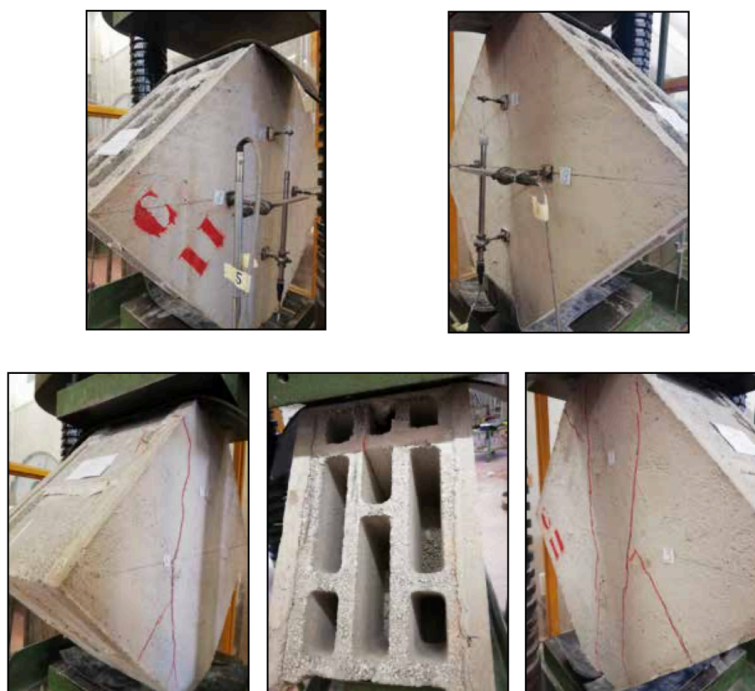
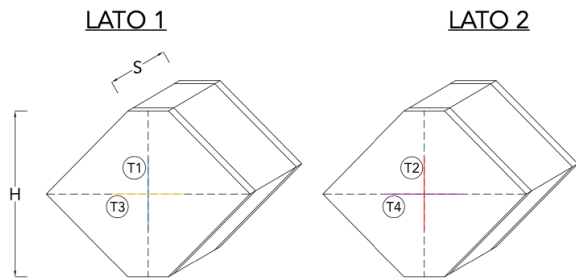


Figura 4.16 Provino C 2.2 sotto prova di Compressione Diagonale

La muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico pari a 81 KN, e la rottura avviene con un carico di 197 KN, corrispondente a una resistenza a taglio di 1.01 N/mm². Le lesioni sono simili a quelle riscontrate nel campione precedente, ad eccezione fatta per una maggiore resistenza alla compressione di taglio.

PROVINO C3 - PROVA 3



| | | |
|-------------------------|----|-----|
| H | mm | 670 |
| S | mm | 305 |
| DIMENSIONI TRASDUTTORI: | | |
| T1 | mm | 310 |
| T2 | mm | 304 |
| T3 | mm | 305 |
| T4 | mm | 298 |



Figura 4.17 Provino C3.2 sotto prova di Compressione Diagonale

La muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico pari a 83 KN, arrivando a rottura con un carico pari a 143KN, corrispondente a una resistenza a taglio di 0.70 N/mm². Ovviamente, si capisce che le lesioni in questo provino saranno maggiori rispetto a quelli precedenti e si capisce che questo è il provino con il risultato più debole nella resistenza al taglio. Questo non vuol dire però che questo tipo di rinforzo non è buono per questo tipo di muratura.

RIEPILOGANDO:

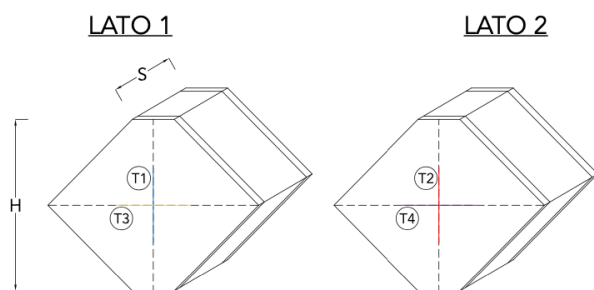
La muratura con i blocchi in cemento, rinforzata con intonaco ARMAMURO ha una resistenza diagonale a compressione media di 175 KN. L'intonaco ARMAMURO è un buon rinforzo antisismico per questa tipologia di muratura.

| CODICE | LATERIZIO | TIPO INTONACO | P prima rottura (KN) | P ultima rottura (KN) |
|--------|----------------|------------------------------|----------------------|-----------------------|
| C2.1 | Blocco cemento | ARMAMURO su due lati s=2.5cm | 83 | 184 |
| C2.2 | Blocco cemento | ARMAMURO su due lati s=2.5cm | 81 | 197 |
| C2.3 | Blocco cemento | ARMAMURO su due lati s=2.5cm | 83 | 143 |

4.3 PROVINI CON INTONACO BETONCINO BS15

4.3.1 POROTON + BETONCINO BS 15

PROVINO D1 - PROVA 1



| | | |
|-------------------------|----|-----|
| H | mm | 680 |
| S | mm | 300 |
| DIMENSIONI TRASDUTTORI: | | |
| T1 | mm | 300 |
| T2 | mm | 310 |
| T3 | mm | 310 |
| T4 | mm | 296 |

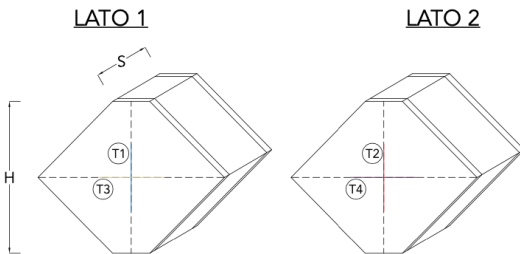


Figura 4.18 Provino D 1.1 sotto prova di Compressione Diagonale

CAPITOLO 4

La muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico pari a 84 kN e la rottura avviene per un carico pari a 124 kN, corrispondente a una resistenza a taglio pari di 0.60 N/mm². Si verificano lesioni in diverse profondità, alcune anche per tutto lo spessore della malta.

PROVINO D1 - PROVA 2



| | | |
|---|----|-----|
| H | mm | 680 |
| S | mm | 315 |

DIMENSIONI TRASDUTTORI:

| | | |
|----|----|-----|
| T1 | mm | 288 |
| T2 | mm | 303 |
| T3 | mm | 313 |
| T4 | mm | 290 |

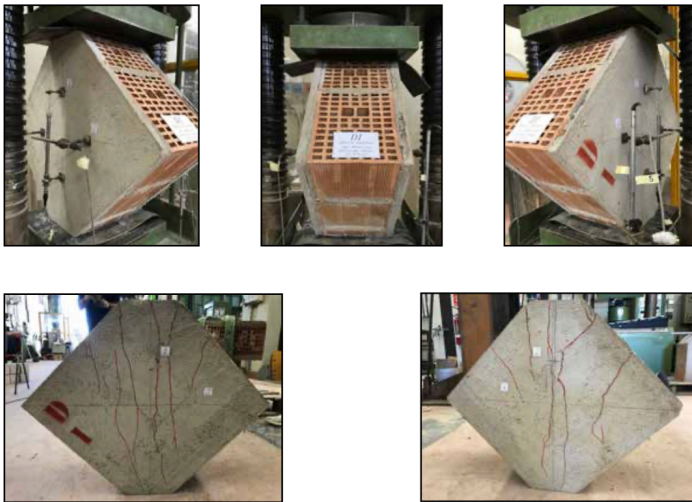
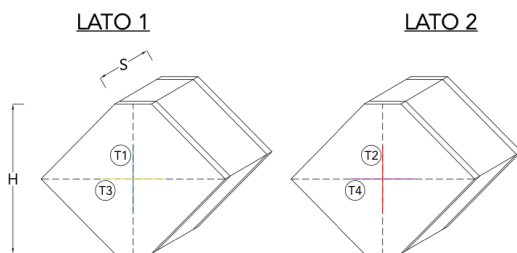


Figura 4.19 Provino D1.2 sotto prova di Compressione Diagonale

La muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico pari a 83 kN, arrivando a rottura con un carico di 137 kN, corrispondente ad una resistenza a taglio di 0.66 N/mm². Lesioni simili al provino precedente ma con una differenza di una maggiore resistenza al taglio.

PROVINO D1- PROVA 3



| | | |
|---|----|-----|
| H | mm | 680 |
| S | mm | 300 |

DIMENSIONI TRASDUTTORI:

| | | |
|----|----|-----|
| T1 | mm | 290 |
| T2 | mm | 296 |
| T3 | mm | 308 |
| T4 | mm | 296 |

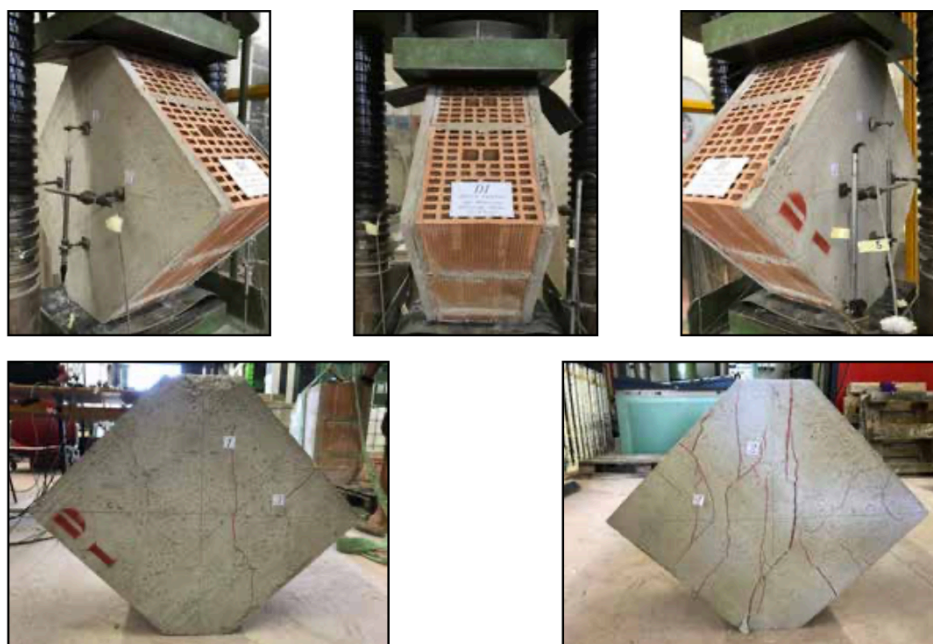


Figura 4.20 Provino D 1.3 sotto prova di Compressione Diagonale

La muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico pari a 85 KN, arrivando a rottura con un carico di 168 KN, corrispondente ad una resistenza a taglio di 0.81 N/mm². Lesioni simili, resistenza a taglio maggiore.

RIEPILOGANDO:

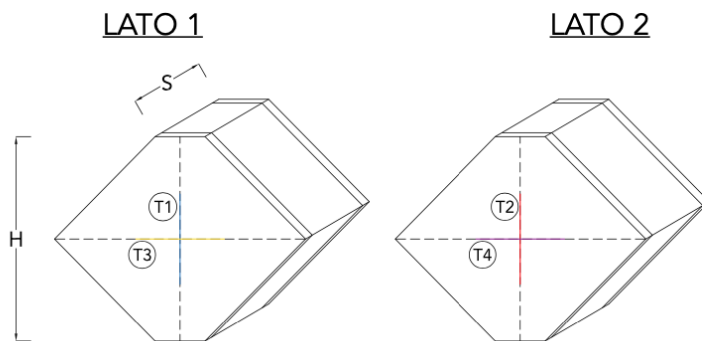
La muratura con blocco POROTON rinforzata con BETONCINO BS15 ha una resistenza diagonale a compressione media pari a 143 KN. Questo rinforzo è un buon rinforzo sismico per questa tipologia di muratura, ma nel caso di un evento sismico, il meccanismo di danno comporterà lo sgretolamento dell'intonacatura con probabile distacco di esso dal blocco Poroton.

| CODICE | LATERIZIO | TIPO INTONACO | P prima rottura (KN) | P ultima rottura (KN) |
|--------|----------------|---|----------------------|-----------------------|
| D1.1 | Blocco POROTON | BETONCINO BS15 + RETE 40X40 su due lati s=2.5cm | 84 | 124 |
| D1.2 | Blocco POROTON | BETONCINO BS15 + RETE 40X40 su due lati s=2.5cm | 83 | 137 |
| D1.3 | Blocco POROTON | BETONCINO BS15 + RETE 40X40 su due lati s=2.5cm | 85 | 168 |

4.4 PROVINI CON INTONACO IN CALCEPURA RESTAURA

4.4.1 POROTON + CALCEPURA

PROVINO E1 - PROVA 1



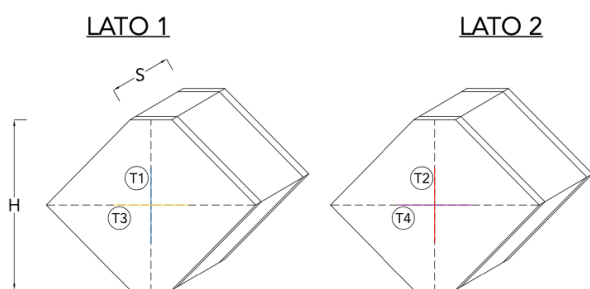
| | | |
|-------------------------|----|-----|
| H | mm | 680 |
| S | mm | 315 |
| DIMENSIONI TRASDUTTORI: | | |
| T1 | mm | 288 |
| T2 | mm | 303 |
| T3 | mm | 313 |
| T4 | mm | 290 |



Figura 4.21 Provino E1.1 sotto prova di Compressione Diagonale

La muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico pari a 106 kN, arrivando a rottura con un carico di 148 kN, corrispondente ad una resistenza a taglio di 0.79 N/mm². Si notano diverse lesioni, le quali mostrano diverse profondità, alcuni dei quali percorrono tutto lo spessore della malta.

PROVINO E2 - PROVA 2



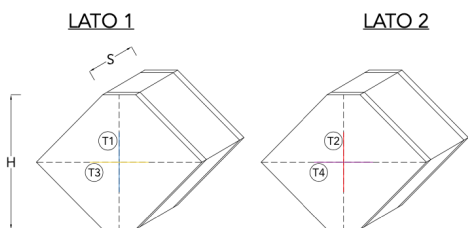
| | | |
|-------------------------|----|-----|
| H | mm | 680 |
| S | mm | 300 |
| DIMENSIONI TRASDUTTORI: | | |
| T1 | mm | 300 |
| T2 | mm | 310 |
| T3 | mm | 310 |
| T4 | mm | 296 |



Figura 4.22 Provino E 1.2 sotto prova di Compressione Diagonale

La muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico a 84 KN, arrivando a rottura con un carico di 145 KN, corrispondente ad una resistenza a taglio di 0.70 N/mm². Si notano diverse lesioni, molto evidenti, di diverse profondità.

PROVINO E1 - PROVA 3



| | | |
|-------------------------|----|-----|
| H | mm | 680 |
| S | mm | 300 |
| DIMENSIONI TRASDUTTORI: | | |
| T1 | mm | 290 |
| T2 | mm | 296 |
| T3 | mm | 308 |
| T4 | mm | 296 |

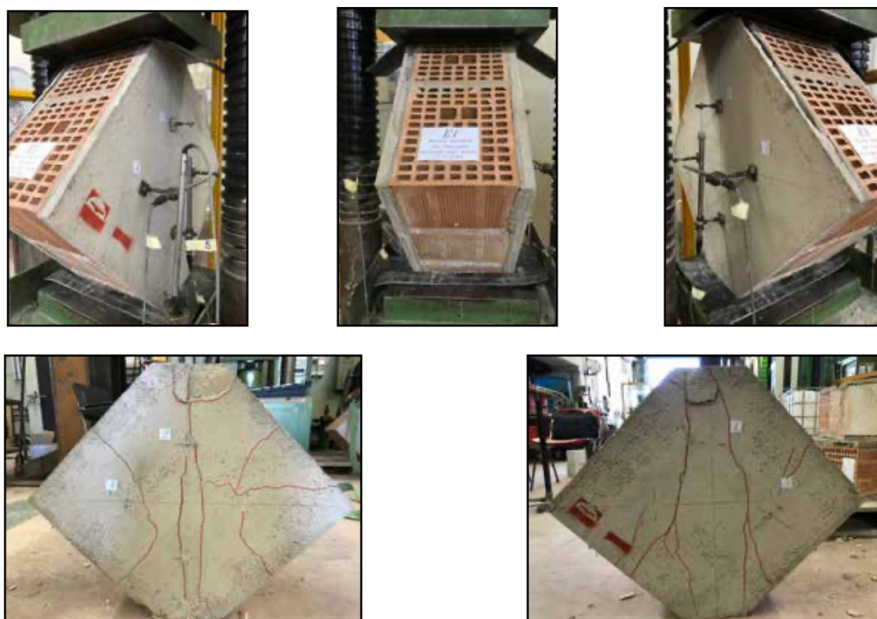


Figura 4.23 Provino E 1.3 sotto prova di Compressione Diagonale

La muratura inizia a plasticizzarsi ad un carico a 84 KN, arrivando a rottura con un carico di 167 KN, corrispondente ad una resistenza a taglio di 0.91 N/mm². La muratura ha subito due fessure perpendicolari al carico applicato. La sollecitazione indotta ha dato origine ad un distacco dell'intonaco dalla muratura di circa 1cm e se la sollecitazione fosse stata maggiore, si verificherebbe lo sgretolamento con conseguente distacco dell'intonaco e rottura dei blocchi Poroton. Questo campione comunque è risultato il migliore alla resistenza al taglio.

RIEPILOGANDO:

La muratura Poroton rinforzata con intonaco CALCEPURA ha una resistenza a compressione diagonale pari ad una media di 153 KN.

Si può dire che l'intonaco CALCEPURA è un buon rinforzo sismico per questa tipologia di muratura.

| CODICE | LATERIZIO | TIPO INTONACO | P prima rottura (KN) | P ultima rottura (KN) |
|--------|----------------|---|----------------------|-----------------------|
| E1.1 | Blocco POROTON | BETONCINO BS15 + RETE 40X40 su due lati s=2.5cm | 84 | 124 |
| E1.2 | Blocco POROTON | BETONCINO BS15 + RETE 40X40 su due lati s=2.5cm | 83 | 137 |
| E1.3 | Blocco POROTON | BETONCINO BS15 + RETE 40X40 su due lati s=2.5cm | 85 | 168 |

4.5 CONFRONTO E CONCLUSIONI.

BLOCCO POROTON

Nella muratura con blocchi poroton e rinforzata con intonaco ESICEM 500, il carico ultimo a rottura aveva un valore pari a 124 KN.

Invece, quando è stata rinforzata con intonaco ARMAMURO , il carico ultimo a rottura aveva un valore pari a 168 KN. Lo stesso valore del carico si è verificato per un rinforzo con BETONCINO BS15 e un valore leggermente minore del carico nel rinforzo con CALCEPURA pari a 167 KN.

Quindi riepilogando:

| Nome del provino | Tipo Laterizio | Tipo Intonaco | P ultima rottura (KN) | T media (N/mm ²) |
|------------------|----------------|----------------|-----------------------|------------------------------|
| A1 | Blocco Poroton | ESICEM 500 | 124 | 0.58 |
| A2 | Blocco Poroton | ARMAMURO | 168 | 0.81 |
| D1 | Blocco Poroton | BETONCINO BS15 | 168 | 0.81 |
| E1 | Blocco Poroton | CALCEPURA | 167 | 0.91 |

Si può dire che, tutti e quattro gli intonaci sono dei buoni rinforzi antisismici, ma per una muratura con Blocco Poroton, il migliore da applicare sarebbe l'intonaco calcepura (E1). Questo perché ha una T media maggiore di tutti gli altri intonaco, grazie alla presenza di un rafforzamento ulteriore dovuto ad una rete a maglia quadrata 40x40 cm in plastica, che funge da armatura.

LATERIZIO FORATO DA 8 CM

| Nome del provino | Tipo Laterizio | Tipo Intonaco | P ultima rottura (KN) | T media (N/mm ²) |
|------------------|----------------|---------------|-----------------------|------------------------------|
| B1 | Forato da 8cm | ESICEM 500 | 50 | 0.57 |
| B2 | Forato da 8cm | ARMAMURO | 90 | 1.00 |

Il provino B1 è sconsigliato poiché riporta lesioni similari alla croce di Sant' Andrea, un meccanismo molto pericoloso, preludio di collasso strutturale.

Dalla tabella si nota anche una grande differenza per quanto riguarda alla resistenza al taglio. Il provino B2 ha quasi la doppia della resistenza al taglio. Perciò, si può dire che il rinforzo da applicare su una parete con forati da 8cm, sarebbe buona cosa scegliere l'intonaco Armamuro perché in caso di sisma verificherà buona resistenza e poche fessurazione ma decise.

BLOCCO IN CEMENTO

I due intonaci C1 e C2 hanno riportato differenti fessurazioni, il C1 (ESICEM 500) riporta danni in entrambe le facciate, mentre l' ARMAMURO C2 riscontra fessurazioni solo da un lato, ma è presente una lesione del blocco che divide il campione per la sua metà verticale.

Per la muratura in blocchi in cemento, la scelta migliore sarebbe l'intonaco ARMAMURO, poiché in caso di sisma, risulta migliore sia dal punto di vista di resistenza al taglio, sia nelle lesioni ottenute.

| Nome del provino | Tipo Laterizio | Tipo Intonaco | P ultima rottura (KN) | T media (N/mm²) |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| C1 | Blocco in Cemento | ESICEM 500 | 153 | 0.75 |
| C2 | Blocco in Cemento | ARMAMURO | 197 | 1.01 |

BIBLIOGRAFIA:

R. CAPOZUCCA, Teoria e tecnica delle strutture in muratura, Pitagora Editrice, Bologna, 2014.

A. GIUFFRÈ, Letture sulla meccanica delle murature storiche, Edizioni Kappa, Roma, 2017 [I ed.1991].

S. LENCI, Lezioni di meccanica strutturale, Pitagora Editrice, Bologna, 2009. T. P. TASSIOS, Meccanica delle murature, Liguori Editore, Napoli, 1995 [I ed.1988].

C.AMELIO, G.CANNAVESIO, Materiali per l'edilizia, SEI Società editrice inter- nazionale - Torino

A.BIONDI, Analisi del pushover, Dario Flaccovio Editore ARTICOLI SCIENTIFICI:

R. CAPOZUCCA, Shear Behaviour of Historic Masonry Made of Clay Bricks, The Open Construction and Building Technology journal 5 (2011) (Suppl 1-M6): 89-96.

R. CAPOZUCCA, Experimental response of historic brick masonry under biaxial loading, Construction and Building Materials 154 (2017): 539-556.

R. CAPOZUCCA, B.P. SINHA, Experimental shear tests on historic masonry, Nota Tecnica I.S.T.C. N. 11.

NORMATIVA:

ASTM E 519-02: Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages, ASTM-AMERICAN NATIONAL STANDARD, 2002.

ASTM C 496 – 71 (79), Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM-AMERICAN NATIONAL STANDARD, 1979 [I ed.1971].