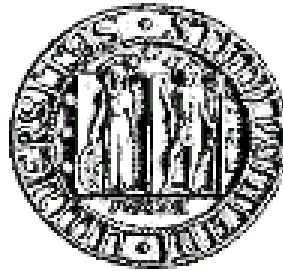


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile, Indirizzo Strutture



VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA MURATURA MEDIANTE MARTINETTO PIATTO DOPPIO

Relatore: Chiar.mo Prof. Claudio Modena

Correlatore: Ing. Elvis Cescatti

Laureanda : Candida Tambone

Anno Accademico: 2014-2015

Ai miei Genitori ,

ai miei Fratelli,

a Lorenzo

INDICE

1. Introduzione	Pag.	1
2. Murature storiche e metodi di indagine.....	Pag.	3
2.1 Introduzione.....	Pag.	3
2.2 Catalogazione sistematica delle murature storiche	Pag.	3
2.3 Metodi di indagine	Pag.	6
2.3.1 Prove distruttive	Pag.	7
2.3.2 Prove leggermente distruttive.....	Pag.	8
2.3.3 Prove non distruttive	Pag.	11
2.4 Livelli di conoscenza e parametri meccanici nei ponti in muratura.....	Pag.	18
3. Prove con martinetti piatti.....	Pag.	22
3.1 Introduzione.....	Pag.	22
3.2 Prova con il martinetto piatto singolo.....	Pag.	22
3.3 Prova con martinetto piatto doppio.....	Pag.	24
3.4 Strumentazione	Pag.	28
3.5 Procedura della prova.....	Pag.	31
3.6 Calibrazione	Pag.	32
3.7 Acquisizione dei dati	Pag.	33
3.8 Descrizione del database	Pag.	35
3.9 Limiti delle prove con martinetto piatto singolo e doppio	Pag.	52

4. Elaborazione ed analisi dei dati	Pag.	54
4.1 Introduzione.....	Pag.	54
4.2 Modulo elastico e tipologia muraria.....	Pag.	55
4.2.1 Muratura in pietrame disordinata.....	Pag.	55
4.2.2 Muratura a conci sbozzata.....	Pag.	58
4.2.3 Muratura in pietre a spacco.....	Pag.	61
4.2.4 Muratura in mattoni pieni e malta di calce	Pag.	63
4.3 Caso di studio:muratura in mattoni pieni e malta di calce	Pag.	67
4.3.1 Moduli elastici ed epoche di costruzione	Pag.	67
4.3.2 Curve tensione – deformazione ed epoche di costruzione	Pag.	75
4.4 Ponti in muratura :casi di studio	Pag.	78
4.4.1 Ponte Furo.....	Pag.	79
4.4.2 Ponte delle Barche	Pag.	82
4.4.3 Ponte della Libertà.....	Pag.	85
5 Conclusioni	Pag.	89
Bibliografia	Pag.	91

1 INTRODUZIONE

La seguente tesi ha lo scopo di determinare le proprietà meccaniche della muratura mediante le prove di martinetto piatto doppio.

Il seguente elaborato si sviluppa in cinque capitoli il cui contenuto verrà esposto in breve :

- Capitolo 1 : Introduzione ;
- Capitolo 2 : Murature storiche e metodi di indagine ;
- Capitolo 3 : Prove con martinetti piatti ;
- Capitolo 4 : Elaborazione ed analisi dei dati ;
- Capitolo 5 : Conclusioni.

Il primo capitolo presenta il lavoro di tesi svolto.

Il secondo capitolo descrive le tipologie di murature storiche esistenti e le indagini che vengono svolte su di essa. In particolare si definiscono le prove distruttive, debolmente distruttive e non distruttive e l'influenza che queste hanno sui risultati che forniscono.

In conclusione si approfondisce la tematica dei ponti in muratura e l'importanza della conoscenza delle proprietà meccaniche delle murature su di essi.

Il terzo capitolo riporta nello specifico la descrizione delle prove debolmente distruttive effettuate con martinetto piatto singolo e doppio .

In seguito viene presentata la raccolta dei dati ottenuti con le prove di martinetto piatto doppio realizzate da EXPIN Srl. e il relativo database , differenziando le tipologie di murature indagate. Il capitolo si conclude con una riflessione sulle limitazioni e i vantaggi delle prove di martinetto.

Il quarto capitolo è dedicato all'elaborazione dei dati ottenuti con le prove di martinetto doppio.

Si è focalizzata l'attenzione sulla tipologia muraria catalogata dalla normativa come 'mattoni pieni e malta di calce', effettuando successivamente un'ulteriore suddivisione in base alla destinazione d'uso (PONTI, EDIFICI) e all'epoca costruttiva (ante 1600, 1600-1850, post 1850). Sono stati studiati i diagrammi sforzo-deformazione, l'andamento del modulo elastico secante e del modulo elastico tangente in relazione alle nuove classificazioni introdotte. Infine sono stati affrontati nello specifico le strutture appartenenti alla categoria 'PONTE': Ponte della libertà (VE), Ponte delle Barche (VI), Ponte Furo (VI), Centrale Idrovora di S.Siro(MO).

Il quinto capitolo riassume le conclusioni tratte dal lavoro di tesi svolto.

2 MURATURE STORICHE E METODI DI INDAGINE

2.1 INTRODUZIONE

La molteplicità di murature esistenti rende difficile stabilire una classificazione che le comprende tutte e che sia idonea per diverse finalità, quali la catalogazione dell'esistente, la determinazione del comportamento meccanico e la scelta della tipologia d'intervento di consolidamento. La definizione di un'idonea classificazione delle tipologie murarie esistenti renderebbe possibile stimare, insieme a prove in situ ed in laboratorio, le caratteristiche meccaniche, i possibili interventi idonei a migliorare e quindi, considerando l'intero complesso edilizio, il grado di vulnerabilità sismica.

Nel presente capitolo verrà presentata una classificazione delle murature proposta da Carbonara (1996) e successivamente si esporranno i metodi di indagine che vengono condotti su di essa .

In conclusione sarà introdotta la tematica dei ponti in muratura oggetto di studio , e l'influenza delle proprietà meccaniche che questi presentano sulla loro stessa capacità di resistenza .

2.2 CATALOGAZIONE SISTEMATICA DELLE MURATURE STORICHE

Una delle classificazioni tipologiche che si trovano in letteratura è quella proposta da Carbonara (1996) con l'intento di fornire una descrizione delle murature storiche esistenti.

A tal proposito si distinguono :

1. Murature in pietra

1.1 *murature in pietra da taglio* : costituite da elementi regolari , talvolta posti in opera senza malta , e che trovano largo impiego in edifici monumentali.

La disposizione dei conci può essere : "isodoma" (con ricorsi delle stesse dimensioni) , "pseudoisodoma" (con ricorsi di spessore variabile) e se più piccoli dello spessore del muro, come per le murature in mattoni, a croce o alla gotica.

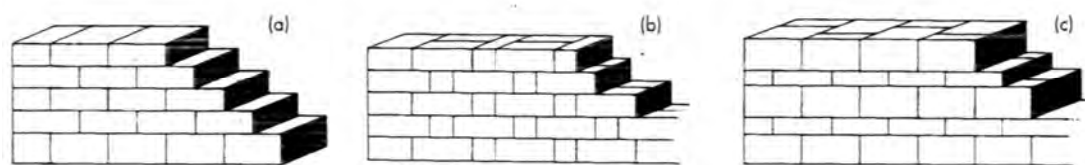


Fig.2.1: Disposizione dei conci : Muratura isodoma (a), muratura a diatoni ed ortostati (b), muratura pseudoisodoma (c). (Carbonara, 1996)

1.2 *muratura in pietra grossolanamente squadrata* : composte di pietre che hanno subito solo i tagli necessari per ottenere due facce lisce e parallele. I conci saranno quindi di svariate dimensioni e forme, i più grandi sono utilizzati per le legature ed i corsi di ripartizione, i medi sul paramento ed i più piccoli sul nucleo.

1.3 *muratura in pietrame* : essendo le più diffuse presentano differenziazioni più rilevanti in funzione della natura del materiale e della modalità di posa e di collegamento:

- a) muri a secco ;
- b) muri di pietrame e malta ;
- c) muri di ciottoli e malta .

1.4 *murature miste* : formate da materiali diversi connessi tra loro. Si possono riconoscere tre diverse tipologie in base all'elemento visibile :

- a) tufi o pietre non squadrate, disposti con la faccia piana sul paramento, a costituire i pannelli delimitati dai corsi di mattoni e dalle ossature verticali, sempre in laterizio o in pietra conca ;
- b) tufi conci, di forma parallelepipedica più o meno regolare, con orizzontamenti di mattoni di uno o più corsi ;
- c) tufi o pietre tagliati a tronco di piramide disposti con i lati inclinati a 45 gradi.

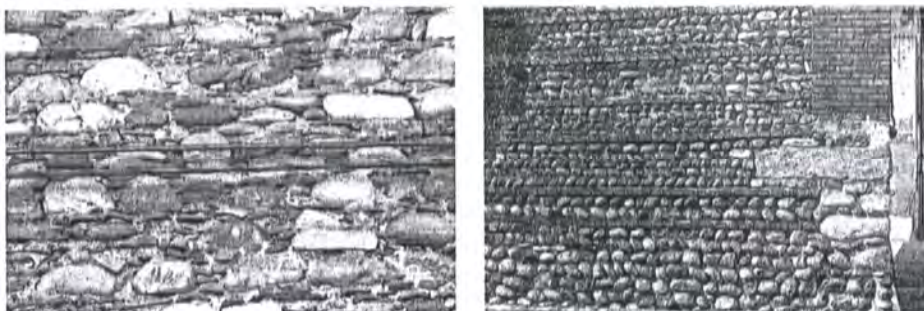


Fig.2.2 : Muratura mista di pietra e tegole di laterizio negli interstizi. (Carbonara, 1996)

In funzione alla composizione dello spessore si distinguono:

- a) murature omogenee ;
- b) murature a sacco ;
- c) muratura mista composta di nucleo di pietre spezzate e pezzame di mattone.

2. Muratura in mattoni cotti o crudi

La disposizione dei mattoni può assumere molteplici tessiture in base allo spessore dei muri : muri a una testa, due teste, tre teste, quattro o più teste ed a filari diagonali.

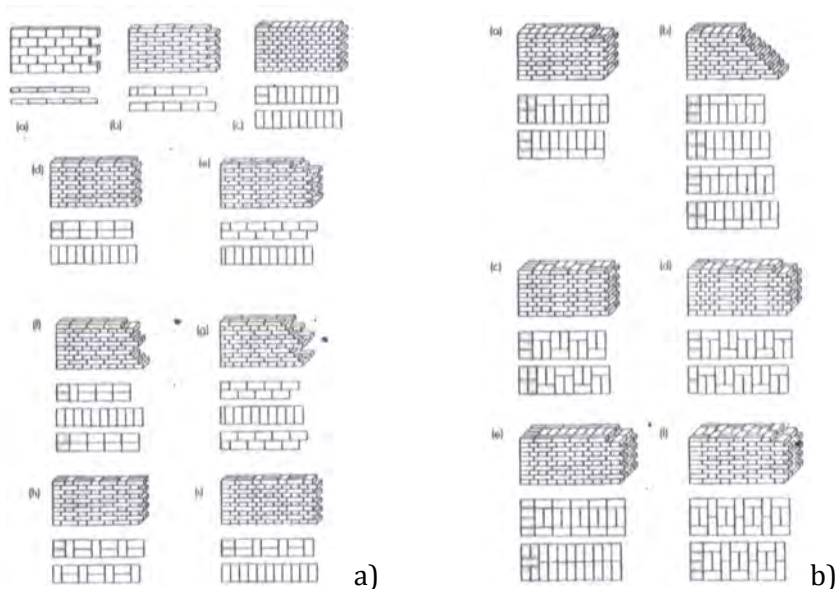


Fig. 2.3 : Disposizione dei mattoni in relazione allo spessore, murature a due teste (a) ed a tre teste (b). (Carbonara, 1996)

3. Murature formacee

Sono costituite con un getto di materiale plasmabile che, indurendo, assume la configurazione della sua cassaforma.

2.3 METODI DI INDAGINE

I metodi di indagine impiegati per analizzare se strutture esistenti si suddividono in due categorie in funzione del loro grado di invasività :

- Prove distruttive ;
- Prove debolmente distruttive ;
- Prove non distruttive .

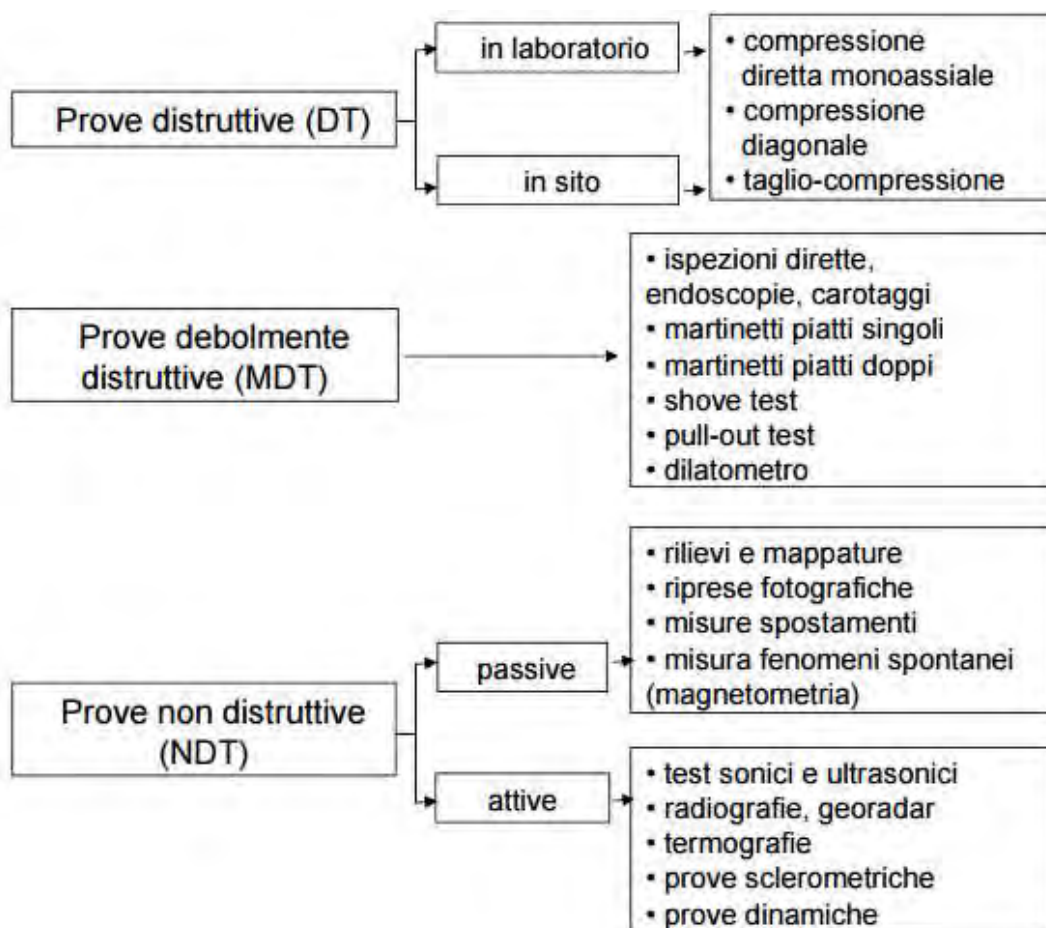


Fig. 2.4 : Metodi di indagine

Le informazioni che si ottengono sono di carattere qualitativo o quantitativo ed hanno lo scopo di studiare e conoscere la struttura in cui si deve intervenire sia per la sua conservazione che per il suo recupero , individuandone il comportamento meccanico e le proprietà di tensione e di deformazione della stessa.

La tendenza attuale è quella di utilizzare tecniche di indagine non distruttive, ma esistono poche correlazioni tra i risultati ottenuti con queste, di carattere pressoché qualitativo, con quelli ottenuti con prove distruttive, di carattere quantitativo (Binda et al., 2005a).

2.3.1 PROVE DISTRUTTIVE

Le indagini distruttive sono realizzate solitamente in laboratorio su campioni prelevati in situ ed hanno come obiettivo la caratterizzazione chimica, fisica e meccanica dei materiali. Esse forniscono maggiori informazioni circa le proprietà meccaniche di resistenza e di deformabilità della muratura sebbene siano fortemente invasive.

Si possono schematizzare secondo il loro obiettivo alcuni esempi di prove (Binda et al., 2005):

- prove chimiche : individuazione di solfati alcalini ;
- prove ottiche e mineralogiche : definiscono il degrado presente nella muratura, e le dimensioni e la distribuzione dei pori, degli aggregati, e la presenza di sali ;
- prove di durabilità : prova di gelo e disgelo, prova di cristallizzazione salina ;
- prove fisiche ;
- prove meccaniche.



Fig. 2.5 e Fig.2.6 : Prova meccanica di compressione monoassiale (sinistra) e prova meccanica di compressione diagonale (destra)

2.3.2 PROVE LEGGERMENTE DISTRUTTIVE

Le prove leggermente distruttive, realizzate essenzialmente in situ, causano danni limitati nelle murature o pressoché risanabili e ne interessano porzioni limitate.

Le principali tecniche di indagine sono:

- prove con i martinetti piatti ;
- ispezioni ;
- carotaggi ;
- endoscopie ;
- prove sclerometriche ;
- prove di pull -out ;
- prove di penetrazione.

L'ispezione viene effettuata in situ mediante con l'osservazione diretta della struttura , effettuando fotografie e rilievi della sezione e della morfologia della muratura.

I carotaggi consentono di determinare la composizione , della stratigrafia e la morfologia della muratura . Le carote estratte molto spesso però non sono integre, ma si presentano frammentate a causa delle vibrazioni indotte nell'operazione di prelievo e la malta è dilavata dall'acqua utilizzata per il carotaggio (Binda et al., 2005).



Fig. 2.7: Carotaggi di sezioni murarie

Nei fori ottenuti dal carotatore è possibile introdurre endoscopi per effettuare le relative analisi. Questa tecnica consente di ricostruire la stratigrafia o di individuare eventuali anomalie o vuoti presenti nella muratura.

Le prove endoscopiche consentono di effettuare una ispezione visiva diretta della cavità attraverso l'inserimento all'interno di essa di una sonda. Fornisce informazioni sulle caratteristiche morfologiche delle murature e consente di valutare la possibilità di un intervento di iniezione.



Fig. 2.8 : Indagine endoscopica

La prova sclerometrica è di tipo qualitativo e fornisce informazioni sulla qualità del calcestruzzo, misurando la capacità del materiale di resistere alla penetrazione. Il metodo è utilizzato per stimare la resistenza cubica a compressione del conglomerato testato, indagare il grado di omogeneità delle proprietà meccaniche, delineare zone o aree di scarsa qualità o degradate, non essendo tuttavia la metodologia intesa come sostitutiva della prova a compressione su provini di calcestruzzo.



Fig. 2.9 : Prova mediante sclerometro

Le prove di pull out consentono di determinare la resistenza media del calcestruzzo mediante l'estrazione di tassello post-inserito.

Attraverso il tiro del tassello si determina la rottura di un cono di calcestruzzo.

Il valore della forza massima necessaria consente, attraverso delle curve sperimentali di correlazione, di pervenire al valore della resistenza media del calcestruzzo.

La strumentazione consente una misura precisa della pressione oleodinamica, depurata degli attriti nella fase di taratura, e una visualizzazione dei valori rilevati.

Tutti i valori medi concorrono a determinare la resistenza caratteristica R_{ck} .



Fig. 2.10: Prova di pull -out

Le prove di penetrazione consentono di definire delle variazioni puntuali e temporali della consistenza della malta ; inoltre caratterizzano in situ la resistenza dei giunti di malta a partire dalla misurazione dell'energia spesa per praticare un piccolo foro con un trapano.



Fig. 2.11: Prova di penetrazione

2.3.3 PROVE NON DISTRUTTIVE

Le tecniche di indagine non distruttive si realizzano a contatto o meno con la muratura causando nessun danno o alterazione dei materiali.

I problemi di queste prove riguardano l'interpretazione dei risultati per cui risulta necessario un approccio multidisciplinare affiancando ad esse altri tipi di prove.

Gli obiettivi delle prove non distruttive sono (Binda , 2005):

- l'individuazione degli elementi strutturali nascosti ;
- la qualificazione delle murature e dei materiali componenti ;
- la valutazione dell'estensione del danno meccanico in strutture fessurate ;
- l'individuazione del degrado superficiale ;
- la verifica delle proprietà meccaniche e fisiche delle malte, mattoni e pietre ;
- il controllo di alcune tecniche di riparazione.

Le prove che si utilizzano per perseguire tali obiettivi sono principalmente tre:

- termografia ;
- indagine sonica ;
- georadar.

1. Termografia

La prova può essere effettuata in due modalità (Binda et al., 2005) :

- attiva : le superfici sono riscaldate artificialmente ;
- passiva : si analizzano gli effetti di cicli termici naturali (insolazione e successivo raffreddamento).

La prova si basa sui principi che ogni materiale emette energia sotto forma di radiazioni elettromagnetiche e che ognuno è caratterizzato da una propria conducibilità termica e da un proprio calore specifico. Riscaldando pertanto la muratura, ogni componenti assumerà una temperatura diversa da quella degli altri in funzione dei due parametri .

Ad ogni colore viene associato un intervallo di temperatura evidenziando pertanto le variazioni di materiale o la presenza di disomogeneità.



Fig. 2.12: Esempio di applicazione della termografia per individuare una barra verticale sotto l'intonaco. (Binda,2005)

Il vantaggio di tale tecnica è l'assenza di contatto con la muratura e la capacità di essere applicata a vaste porzioni di essa.

Le problematiche che invece si incontrano sono:

- la presenza di umidità, la prova evidenzia delle superfici più fredde ;
- la scarsa penetrazione termica all'interno della muratura ;
- le discontinuità superficiali ;
- la sensibilità alle condizioni di contorno, rilevamento di emissioni locali.

2. Indagini soniche

Vengono utilizzate nella diagnosi della muratura per:

- qualificare la morfologia della sezione, individuando la presenza di vuoti, difetti e lesioni ;
- controllare le caratteristiche della muratura in elementi ripetitivi, per localizzare eventuali singolarità dei segnali ;
- controllare le caratteristiche della muratura dopo interventi di consolidamento verificando i cambiamenti delle caratteristiche fisiche dei materiali.

L'attrezzatura necessaria per effettuare la prova sonica è:

- il martello ed amplificatore collegati all'oscilloscopio ;
- l'accelerometro ed amplificatore collegati all'oscilloscopio ;
- l'oscilloscopio collegato ad un PC .

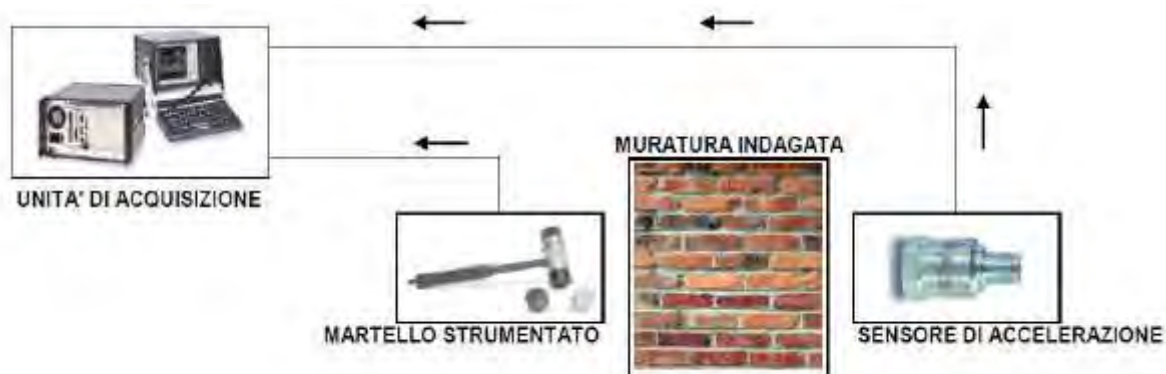


Fig. 2.13 : Schema dell'apparecchiatura per indagini soniche

L'onda sonora viene generata sul supporto murario mediante battitura con martello strumentato, e viene quindi ricevuta da un sensore (accelerometro piezoelettrico) posto al lato opposto della muratura.

L'elaborazione dei dati consiste nel calcolo del tempo di volo, ricavando quindi – noto lo spazio che divide trasmettitore e ricevitore – la velocità di attraversamento della muratura.

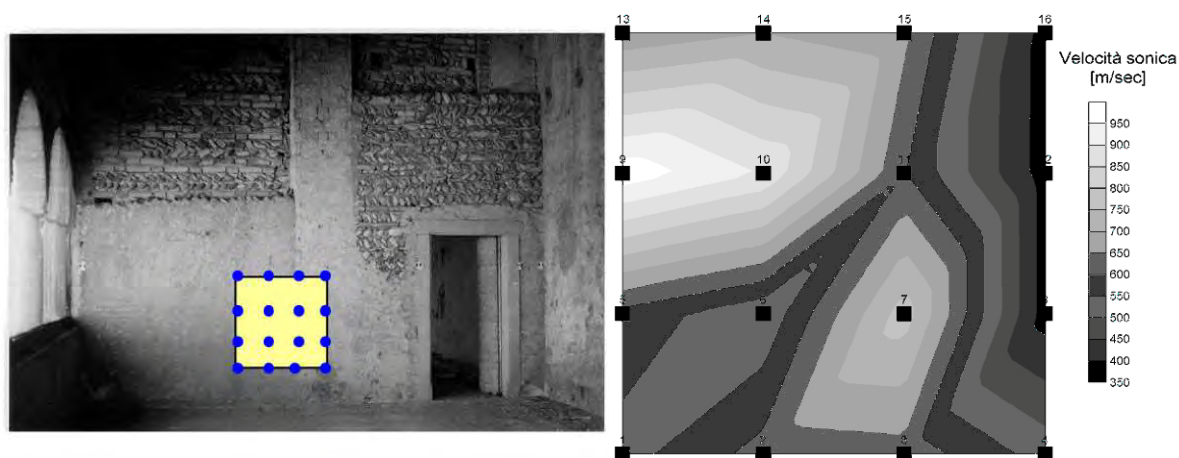


Fig. 2.14 : Localizzazione e risultato di un'indagine sonica. I bassi valori di velocità sonora rilevano la presenza di un vuoto, canna fumaria. (Binda ,2005)

La velocità di propagazione delle onde elastiche v si ottiene dalla seguente relazione:

$$v = s/t$$

dove :

- s è lo spessore del mezzo attraversato ;
- t è il tempo necessario per percorrerlo.

La velocità di propagazione delle onde di pressione è correlabile alle caratteristiche meccaniche e fisiche del materiale testato mediante la seguente relazione :

$$v = \sqrt{(E/\rho)}$$

dove:

- ρ è la densità del materiale ;
- E è il modulo di Young.

Questa relazione è valida solo per materiali elastici, omogenei (a densità costante) e isotropi (con medesime proprietà fisico-meccaniche in tutte le direzioni) e quindi in generale non valida per la propagazione di onde meccaniche nella muratura, mezzo fortemente eterogeneo e anisotropo .

Le prove soniche applicate alle strutture di muratura consentono inoltre di individuare la presenza di cavità, fessure o porzioni di muratura aventi caratteristiche differenti, intercettate lungo il percorso di trasmissione dell'onda : infatti le onde sonore si trasmettono attraverso i mezzi prediligendo i canali a maggiore densità, deviando quindi in corrispondenza di vuoti o discontinuità. La velocità sonica è, infatti, generalmente uniforme nei solidi omogenei, tendendo ad abbassarsi alla presenza di vuoti o discontinuità.

Le misure soniche possono essere svolte nelle seguenti modalità :

- prova diretta o per trasparenza ;
- prova superficiale ;
- prova radiale ;
- tomografia .

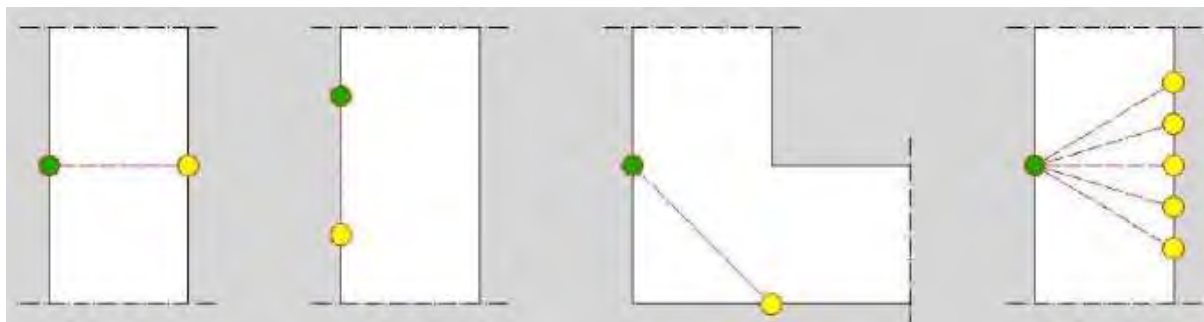


Fig. 2.15 (da sinistra a destra): Prova diretta , prova superficiale, prova radiale, tomografia.

Le prove soniche dirette consistono nell’emettere e ricevere l’onda elastica in punti corrispondenti sulle due facce opposte della muratura in esame .Questo tipo di trasmissione è quello che fornisce i dati più significativi sulla consistenza della sezione muraria.



Fig. 2.16: Prova sonica diretta

Le prove soniche superficiali consistono invece nell’emettere e ricevere l’onda elastica in punti localizzati sullo stesso lato del muro. Esse vengono utilizzate qualora sia disponibile per l’indagine una sola superficie muraria. Le informazioni date da questo tipo di prove sono limitate agli strati più esterni della muratura e i risultati non sono pertanto molto significativi per quanto riguarda la composizione all’interno dello spessore murario.

Nel metodo di trasmissione radiale invece i trasduttori sono applicati su facce adiacenti del mezzo indagato.

Le tomografie sono basate sulla combinazione di acquisizioni soniche su più direzioni in una stessa sezione, pertanto risulta necessario acquisire i dati seguendo delle griglie regolari aventi punti omologhi sulle facce parallele.

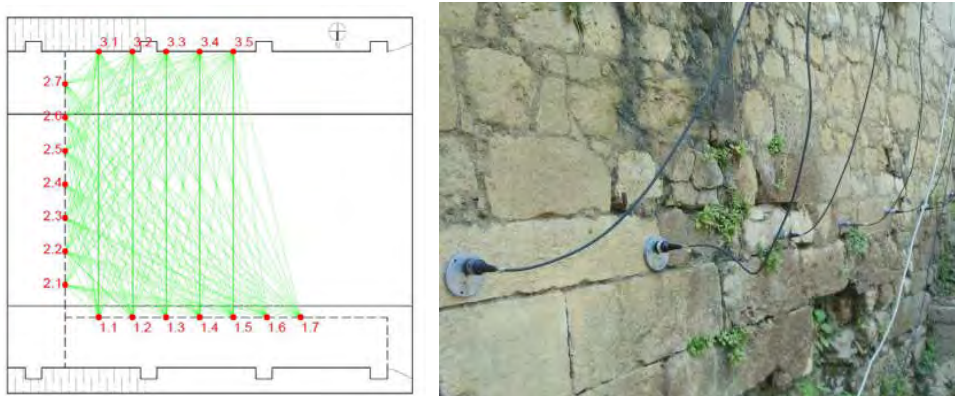


Fig. 2.17 e Fig. 2.18: Traiettorie eseguite per una sezione tomografica (sinistra) e posizionamento degli accelerometri (destra).

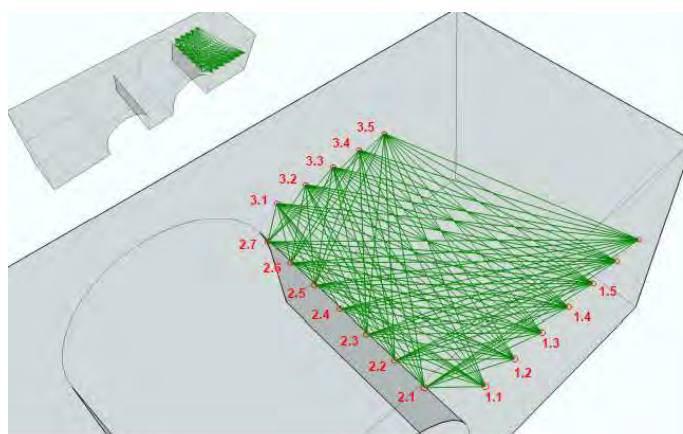


Fig. 2.19: Traiettorie soniche eseguite per una sezione tomografica.

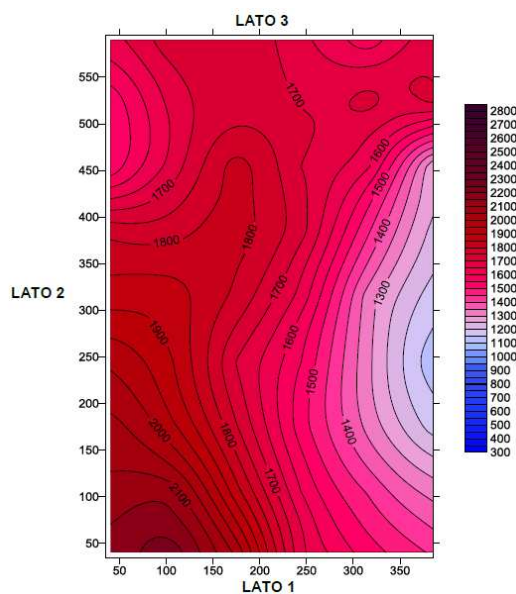
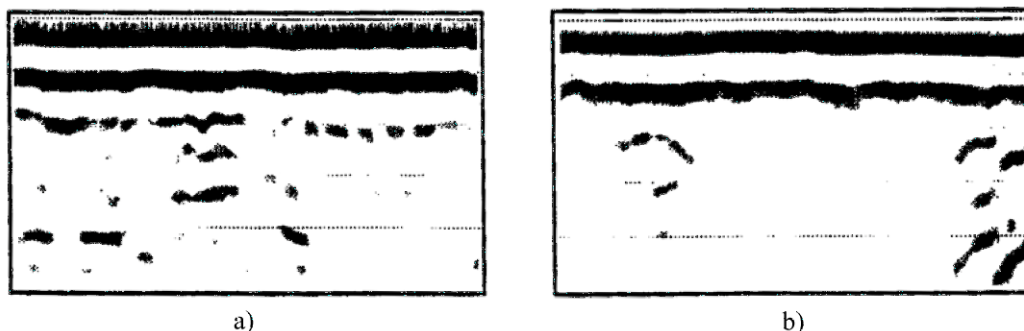


Fig. 2.20: Restituzione della tomografia sonora eseguita per la sezione.

3. Georadar

L'indagine radar (GPR test) è utilizzata per le seguenti finalità :

- ricerca di elementi strutturali nascosti ;
- individuazione di tessiture murarie nascoste di materiali diversi ;
- controllo dell'efficacia di iniezioni ;
- individuazione di difetti, fessure e vuoti e inclusioni di materiali diversi ;
- individuazione della morfologia delle sezioni di murature a più paramenti ;
- rilievo della presenza di umidità .



**Fig. 2.21 : Rilevamento radar del muro prima (a) e dopo (b) un'iniezione di materiale consolidante.
(Modena et al., 2000)**

La tecnica di indagine consiste nella emissione e ricezione di impulsi elettromagnetici a larga banda, brevi successioni di onde elettromagnetiche ad alta frequenza, da parte di un'antenna appoggiata alla struttura nel punto da esaminare.

Il principio su cui si fonda la prova è l'alterazione del flusso di energia elettromagnetica ogniqualvolta incontra degli oggetti sul suo percorso e la rilevazione di tale riflessione attraverso gli echi di ritorno. Nelle murature, quindi, gli impulsi sono riflessi dalle interfacce dei materiali con diverse proprietà elettromagnetiche .

La strumentazione necessaria per l'esecuzione della prova è

- l'antenna radar ;
- un trasmettitore ;
- un ricevitore .

Muovendo l'antenna lungo la muratura si ottengono delle sezioni radar, che esprimono l'andamento dei segnali ricevuti in funzione del tempo . Le misure si ripetono ad intervalli regolari lungo un profilo per produrre immagini radar piane; eseguendo più profili 2D paralleli è possibile elaborare i dati per produrre un'immagine 3D.

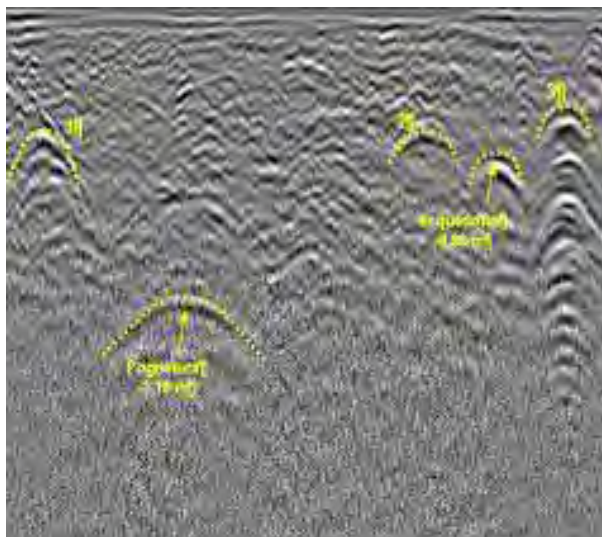


Fig. 2.22 : Esempio di profilo radar

2.4 LIVELLI DI CONOSCENZA E PARAMETRI MECCANICI NEI PONTI IN MURATURA

La conoscenza muratura di un ponte oggetto della verifica è di fondamentale importanza ai fini di una adeguata analisi, e può essere conseguita con diversi livelli di conoscenza, in funzione dell'accuratezza delle operazioni di rilievo, dell'analisi storica e delle indagini sperimentali. Tali operazioni dipendono dagli obiettivi che si vogliono perseguire e interessano tutto o in parte la costruzione, a seconda della ampiezza e della rilevanza dell'intervento previsto.

Le parti costituenti i ponti in muratura sono realizzate con materiali differenti per due ragioni :

- per rispondere ad esigenze di tipo statico : maggiore resistenza nelle strutture più sollecitate e maggiore leggerezza nelle parti secondarie ;
- per esigenze economiche .

In generale i materiali usati per ciascun elemento strutturale sono i seguenti :

- arcate, timpani, spalle, pile : muratura di mattoni o di blocchi di pietra squadrata ;
- rinfianchi : muratura di mattoni o di blocchi di pietra squadrata, conglomerato di discrete caratteristiche meccaniche sebbene con legante povero ;
- riempimento : materiale incoerente oppure pietrame, pietrisco minuto, ghiaia ;
- cappa : in genere malta impermeabile ed elastica per resistere a fessurazioni dovute ai carichi o alle coazioni termiche.

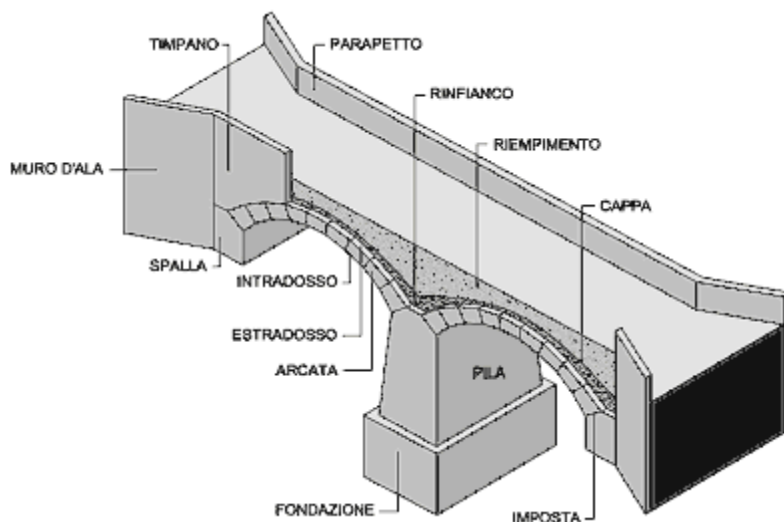


Fig. 2.23 : Elementi costitutivi di un ponte in muratura

Si pone la necessità di valutare la consistenza della malta e dei blocchi impiegati per la costruzione. Le murature utilizzate sono di due tipi: muratura in blocchi di pietra squadrata e muratura di mattoni . Le malte invece devono presentare requisiti principali di buona lavorabilità e buona resistenza meccanica; erano generalmente realizzate con sabbia fine di fiume e calce idraulica in grado di far presa ed indurire anche in presenza d'acqua.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni stabiliscono i criteri generali per la valutazione della sicurezza, la progettazione, l'esecuzione e il collaudo degli interventi sulle costruzioni esistenti . Tramite l'acquisizione di dati con metodi di indagini in situ , in laboratorio e rilievi si è in grado di conoscere la struttura in modo più o meno approfondito.

Vengono pertanto individuati dei livelli di conoscenza e i fattori di confidenza, da utilizzare come ulteriori coefficienti parziali di sicurezza.

La quantità e qualità dei dati acquisiti determina il metodo di analisi e i valori dei fattori di confidenza da usare nelle verifiche di sicurezza, inoltre consente una valutazione più realistica dei meccanismi di collasso che si possono manifestare nella struttura.

Si riconoscono tre diversi livelli di conoscenza (LC), attraverso i quali è possibile definire i valori medi dei parametri meccanici della muratura :

Livello di conoscenza	Geometria	Dettagli costruttivi	Proprietà dei materiali	Fattore di confidenza
LC1	Rilievo strutturale	Verifiche in situ limitate	Indagini in situ limitate	1,35
LC2		Verifiche in situ estese ed esaustive	Indagini in situ estese	1,20
LC3			Indagini in situ esaustive	1,00

Fig. 2.24 : Livelli di conoscenza riportati in Tabella C8A.1.1 della Circolare n.617 NTC 2008.

In funzione del livello di conoscenza raggiunto e per ogni tipologia muraria, i valori medi dei parametri meccanici da utilizzare nelle analisi e nelle verifiche strutturali possono essere definiti come segue:

Livello di conoscenza	Resistenze	Moduli
LC1	valore tabellare minimo	valore tabellare medio
LC2	valore tabellare medio	valore tabellare medio
LC3	tre o più dati sperimentali	valore sperimentale medio
		media sperimentale > max tabellare valore tabellare massimo
	due dati sperimentali	min tabellare < media sperimentale < max tabellare valore tabellare medio
		media sperimentale < min tabellare valore sperimentale medio
	valore sperimentale > max tabellare valore tabellare medio	valore sperimentale o tabellare medio
	min tabellare < valore sperimentale < max tabellare valore tabellare medio	valore sperimentale o tabellare medio
	valore sperimentale < min tabellare valore sperimentale medio	

Fig. 2.25 : Livelli di conoscenza riportati in Tabella C8A.1.1 della Circolare n.617 NTC 2008.

Nella tabella riportata in seguito sono indicati i valori di riferimento che possono essere adottati nelle analisi in funzione del livello di conoscenza acquisito.

Viene fornita la resistenza a compressione (f_m), la resistenza a taglio (τ_0), i moduli di elasticità normale (E) e tangenziale (G) e il peso della muratura (W). I moduli E e G riportati si riferiscono a condizioni della muratura non fessurate.

I valori in tabella si riferiscono a murature realizzate con malta di scadenti caratteristiche, giunti non particolarmente sottili ed in assenza di ricorsi o listature che, con passo costante, regolarizzino la tessitura ed in particolare l'orizzontalità dei corsi. Inoltre si assume che, per le murature storiche, queste siano a paramenti scollegati, ovvero manchino sistematici elementi di connessione trasversale.

Tipologia di muratura	f_m	τ_0	E	G	W [kN/m ³]
	[N/cm ²] min max	[N/cm ²] min max	[N/mm ²] min max	[N/mm ²] min max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100	2,0	690	230	19
	180	3,2	1050	350	
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200	3,5	1020	340	20
	300	5,1	1440	480	
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260	5,6	1500	500	21
	380	7,4	1980	660	
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140	2,8	900	300	16
	240	4,2	1260	420	
Muratura a blocchi lapidei squadriati	600	9,0	2400	780	22
	800	12,0	3200	940	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240	6,0	1200	400	18
	400	9,2	1800	600	
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500	24	3500	875	15
	800	32	5600	1400	
Muratura in blocchi laterizi semipieni (foratura < 45%)	400	30,0	3600	080	12
	600	40,0	5400	1620	
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (foratura < 45%)	300	10,0	2700	810	11
	400	13,0	3600	1080	
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (foratura tra 45% e 65%)	150	9,5	1200	300	12
	200	12,5	1600	400	
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300	18,0	2400	600	14
	440	24,0	3520	880	

Fig. 2.26 : Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura (Circolare n.617 NTC 2008).

3 PROVE CON MARTINETTI PIATTI

3.1 INTRODUZIONE

Le prove di martinetto piatto si sono affermate come metodologia relativamente semplice e sufficientemente non invasiva per determinare le proprietà meccaniche della muratura indagata. Mediante prove di martinetto piatto appartengono alla categoria di prove 'debolmente distruttive' e consentono di determinare, con un margine di errore accettabile, sia lo stato di tensione locale nel campione di muratura indagato, sia le caratteristiche di deformabilità dello stesso. In relazione alla normativa tecnica di riferimento (RILEM), in seguito vengono descritte le prove con:

- Martinetto piatto singolo
- Martinetto piatto doppio

3.2 PROVA CON IL MARTINETTO SINGOLO

La prova con martinetto piatto singolo permette di stimare lo stato tensionale locale presente nelle strutture in muratura. La tecnica di prova si basa sulla variazione dello stato tensionale di un punto della struttura, provocato da un taglio piano perpendicolare alla superficie della muratura. Il rilascio tensionale che si manifesta porta a una parziale chiusura del taglio, rilevata mediante misure di distanza relative fra coppie di punti posti in posizione simmetrica rispetto al taglio stesso. (Fig. 3.1). La distanza minima tra i punti di misura deve essere pari a 0,3 volte la lunghezza A del martinetto, mentre la distanza massima è di 0,6 volte A .

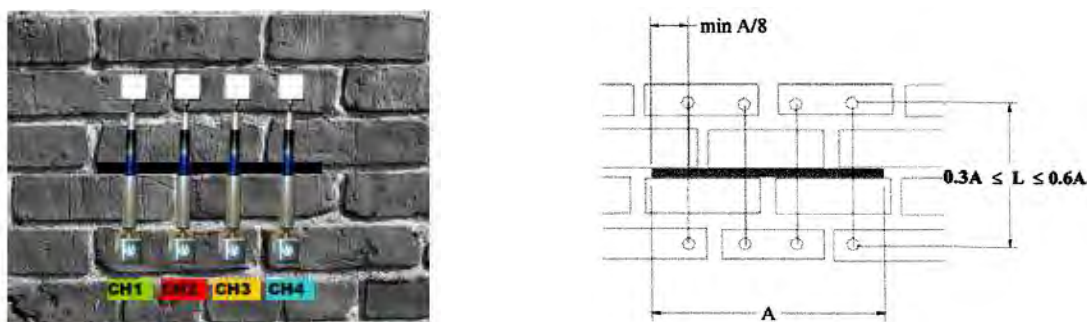


Fig. 3.1: Disposizione dei sensori per i test di martinetto piatto

All'interno del taglio viene inserito il martinetto piatto collegato a sua volta al circuito idraulico di una pompa. La pressione interna viene aumentata in modo graduale fino ad annullare la deformazione misurata successivamente all'esecuzione del taglio (Fig. 3.2 e 3.3).

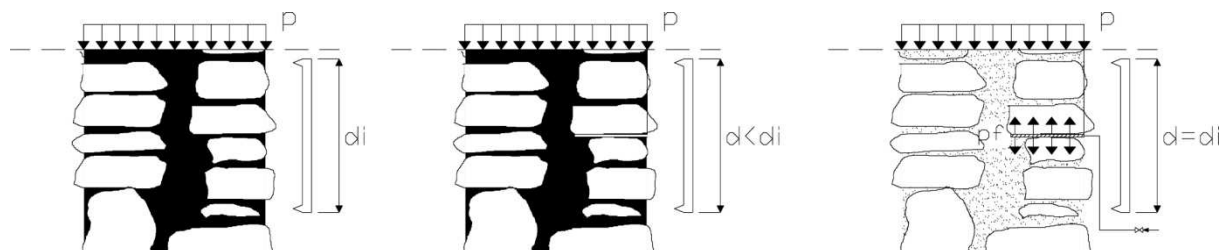


Fig. 3.2: Variazione delle distanze tra le basi di misura durante la prova con martinetto singolo.

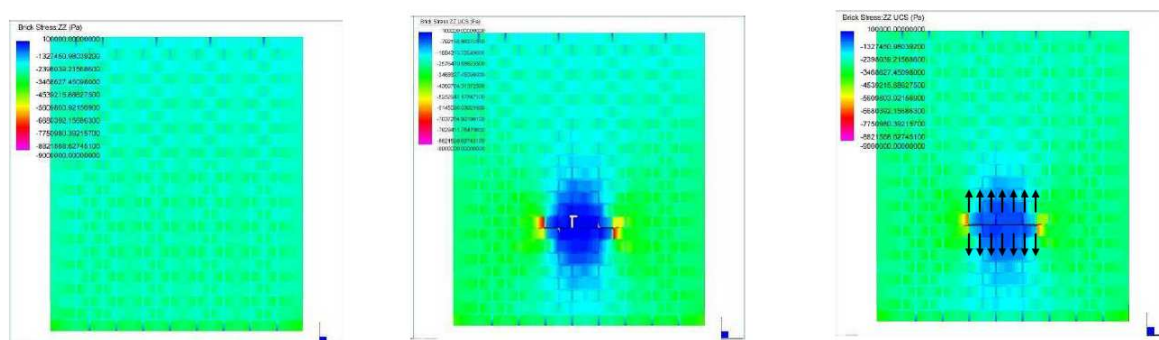


Fig.3.3: Modello numerico del test di martinetto piatto singolo

La pressione all'interno del martinetto è pari alla sollecitazione preesistente nella muratura in direzione perpendicolare al piano del martinetto, ed è data dalla seguente relazione :

$$f_m = K_m \cdot K_a \cdot p$$

dove :

- k_A , costante adimensionale dipendente dal rapporto tra l'area del martinetto e l'area del taglio ;
- k_M , costante adimensionale dipendente dalla rigidezza intrinseca di ogni martinetto ;

- p , pressione richiesta per riportare la distanza tra le basidi misura alla distanza iniziale a meno di una tolleranza richiesta.

I risultati del test vengono raffigurati mediante un diagramma tensione - spostamento , dove la tensione è data dalla relazione sopra riportata ,mentre lo spostamento è rappresentato dalle distanze relative tra le basi di misura disposte in posizione simmetrica rispetto al taglio.

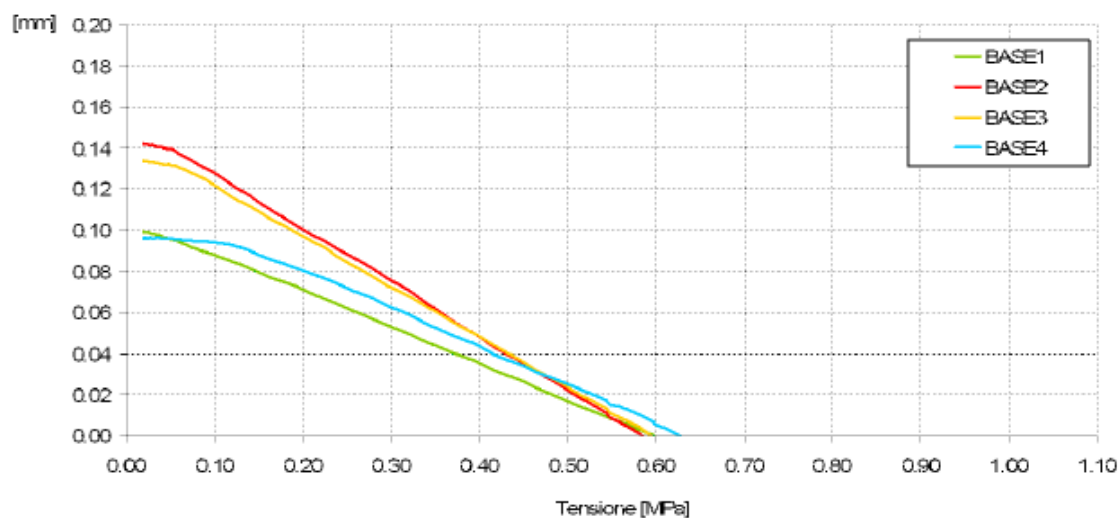


Fig. 3.4: Diagramma tensione - spostamento

La prova si considera conclusa quando si ripristinano le misurazioni iniziali a seguito dell'incremento di pressione nel martinetto.

3.3 PROVA CON IL MARTINETTO PIATTO DOPPIO

La prova con martinetto piatto doppio si effettua generalmente in corrispondenza di un punto di esecuzione della prova con martinetto piatto singolo e consente di determinare le caratteristiche di deformabilità della muratura e la stima della resistenza muraria al limite elastico. Analogamente a quanto accade nel test con martinetto piatto singolo, si effettua un secondo taglio , parallelo al primo e ad una distanza da esso variabile, entro il quale viene disposto il secondo martinetto.

I due martinetti paralleli vengono messi in pressione mediante la pompa e applicano al campione di muratura fra essi interposto uno stato di sollecitazione monoassiale.

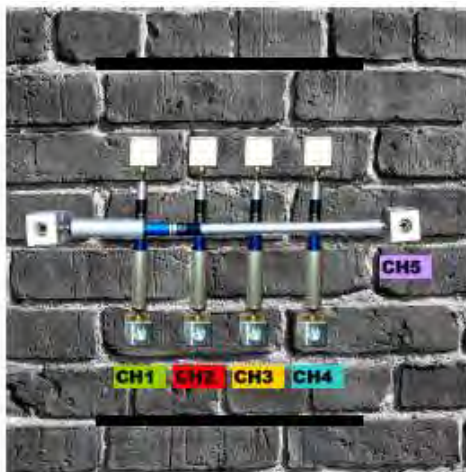


Fig. 3.5 : Schema di disposizione dei sensori nel test di martinetto piatto doppio.

La distanza tra i due tagli paralleli varia in base alla tipologia di muratura e deve essere compresa tra la misura di A e $1,5xA$ (A lunghezza del martinetto piatto) e non meno di 2,5 volte la dimensione B di profondità del martinetto piatto.

Limitazioni	RILEM
<i>Distanza minima</i>	A $2,5 \times B$ 5 corsi, in murature di mattoni (se $h \leq 100$ mm), 3 corsi, in murature di pietra (se $h \geq 100$ mm)
<i>Distanza massima</i>	$1,5 \times A$

Tab. 3.1 : Distanza tra i due tagli.

dove :

- L è la lunghezza del martinetto piatto ;
- A è la lunghezza del martinetto piatto ;
- B è la larghezza del martinetto piatto ;
- h è l'altezza dell'unità della muratura.

Le deformazioni risultanti vengono misurate tramite dei sensori di spostamento in direzione perpendicolare e parallela ai piani di inserimento dei martinetti.

Generalmente il carico viene applicato ciclicamente e la prova viene eseguita fino a un valore di pressione maggiore allo stato di compressione locale determinato con la prova di martinetto piatto singolo, limitando però la tensione massima raggiunta nei cicli di carico a un valore sufficientemente inferiore alla tensione di rottura del materiale.

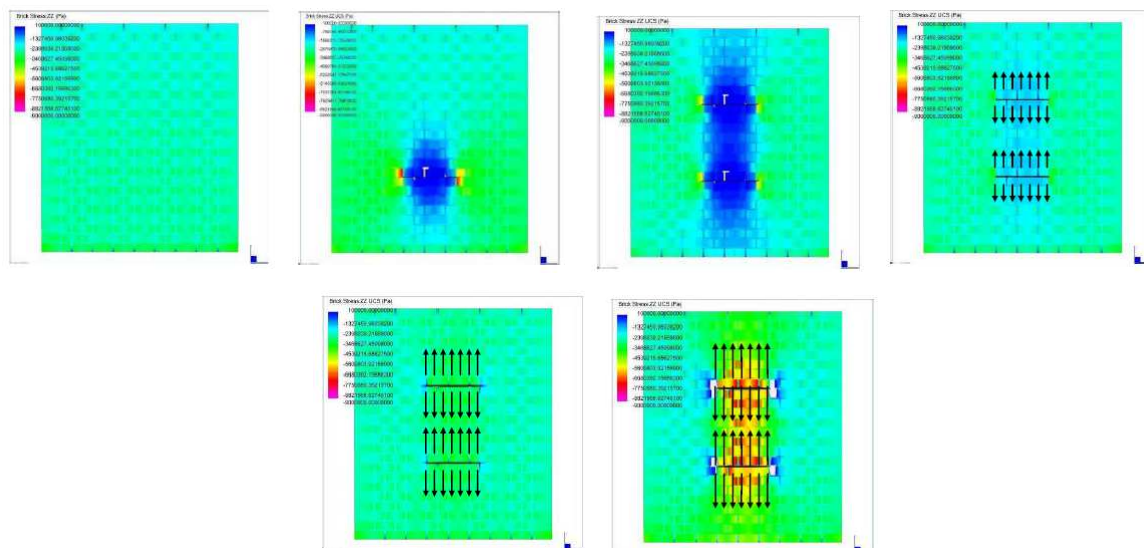


Fig. 3.6 : Modello numerico del test di martinetto piatto doppio.

Si ottiene dunque il diagramma tensione- deformazione della muratura indagata.

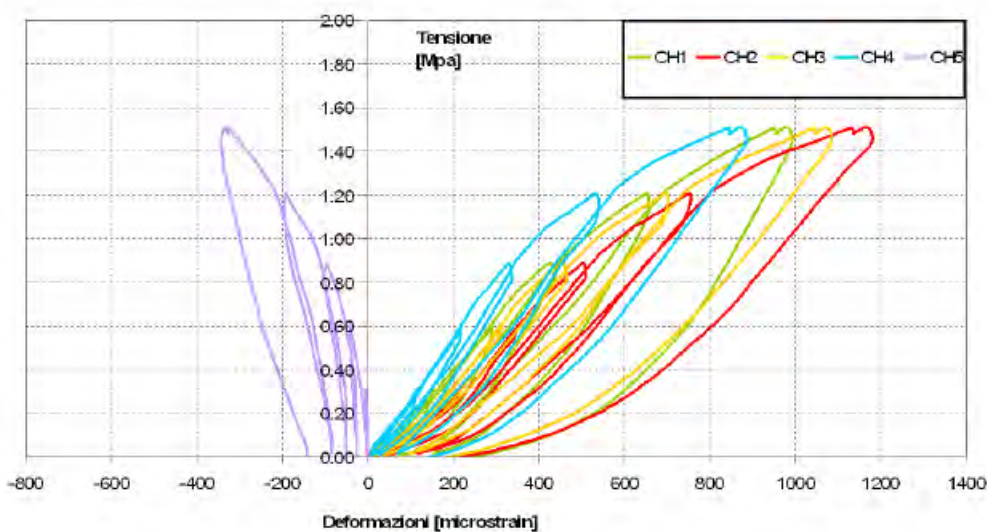


Fig.3.7 : Diagramma Tensione - deformazione con cicli di carico e scarico.

I moduli di rigidezza che la prova consente di determinare sono :

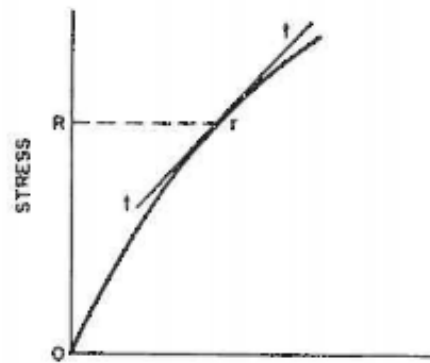
- modulo di elasticità tangente ;
- modulo di elasticità secante .

Il modulo elastico tangente può essere calcolato ad ogni passo come :

$$E_{ti} = \delta f_m / \delta \epsilon_m$$

dove:

- E_{ti} è il modulo elastico tangente ;
- δf_m è l'incremento di sforzo ;
- $\delta \epsilon_m$ è il corrispondente incremento di deformazione.



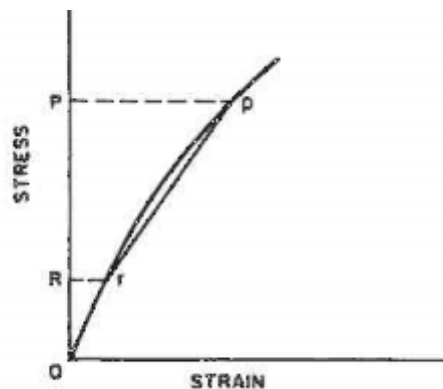
(b) Tangent Modulus at Any Stress R

Il modulo di elasticità secante, E_s , si calcola con la relazione:

$$E_{si} = f_{mi} / \epsilon_{mi}$$

dove :

- E_{si} è il modulo elastico secante al passo i-esimo ;
- f_{mi} è la tensione al passo di carico i-esimo ;
- ϵ_{mi} è la deformazione al passo i-esimo.



(c) Chord Modulus Between Any Two Stresses P and R

3.4 STRUMENTAZIONE

La strumentazione necessaria per l'esecuzione della prova è la seguente :

- martinetto piatto ;
- sistema idraulico ;
- misuratori di spostamenti ;
- basi di misura ;
- strumento per eseguire il taglio ;

MARTINETTO PIATTO

Il martinetto piatto deve avere uno spessore tale da poter essere inserito nel taglio o in alternativa in un giunto di malta ripulito.

Il martinetto più utilizzato è in metallo ; esso è costituito da un foglio di lamiera piegato a tasca , saldato sui tre lati e gonfiato con olio o altri fluidi mediante un procedimento a pressione , che prevede un sistema di ingresso e di uscita del fluido .

Lo spessore deve essere costante e compreso tra 0,6 mm e 1,2 mm.

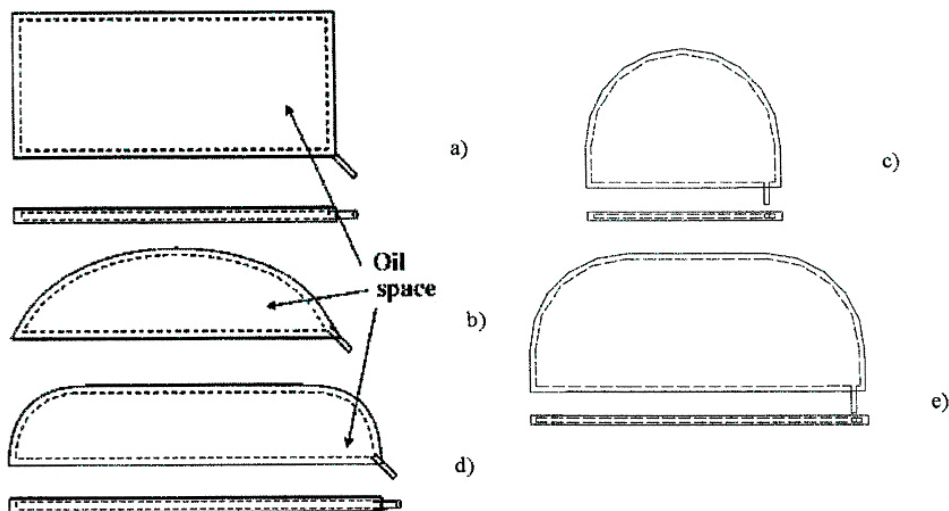


Fig. 3.8 : Tipologie di martinetto piatto (RILEM)

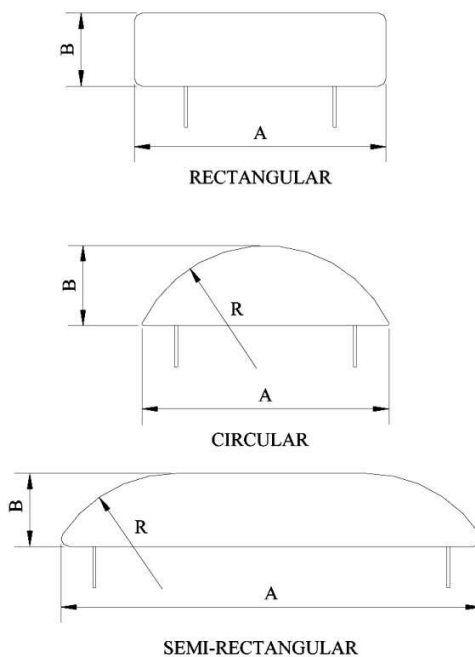


Fig. 3.9: Geometrie dei martinetti piatti. (RILEM)

La dimensione dei martinetti piatti non è unica e non è specificata dalla norma ; tuttavia devono essere rispettate le seguenti limitazioni:

DIMENSIONE MARTINETTO	RILEM
A (lunghezza)	deve essere uguale o maggiore della dimensione di un mattone di fascia ma non meno di 200 mm ; $2 \times B$
B (larghezza)	Deve essere maggiore o uguale della testa di un mattone e non inferiore a 75 mm ; $A/2$
R (raggio di curvatura)	pari al raggio della sega circolare utilizzata
s (spessore)	5-10 mm

Tab. 3.2 : Dimensioni martinetto piatto.

dove :

- L è la lunghezza dell'unità della muratura
- S è lo spessore del paramento
- R è il raggio della lama della sega circolare

SISTEMA IDRAULICO

Il sistema idraulico consiste in una pompa idraulica con tubi di connessione flessibili e ad alta precisione, che possano essere collegati con il sistema di ingresso del martinetto ; deve essere molto preciso e in grado di mantenere una pressione costante. La pressione viene misurata con una manometro calibrato posto nel sistema di uscita.

MISURATORI DI SPOSTAMENTO

La misura degli spostamenti viene eseguita mediante un estensimetro meccanico removibile e l'utilizzo di basette metalliche . Lo strumento deve essere in grado di misurare spostamenti fino a 5 mm.

BASI DI MISURA

Per realizzare le basi di misura si devono usare piastrine in metallo attaccate rigidamente alla muratura sopra e sotto il taglio. Le piastrine devono avere al centro una depressione conica compatibile con le punte di fissaggio della strumentazione di misura.

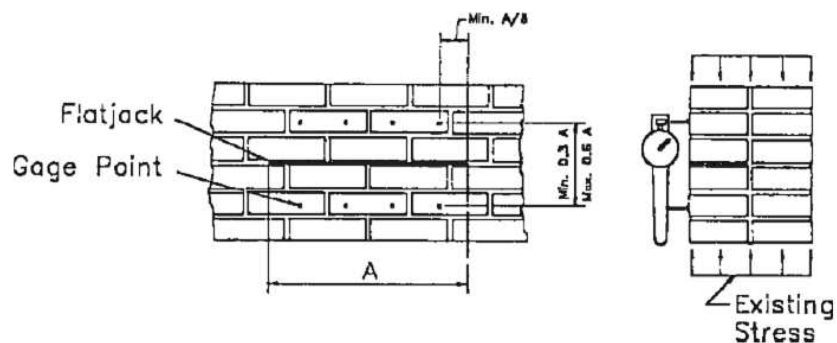


Fig. 3.10: Configurazione di prova per la misura dello stato di sforzo locale nella muratura (RILEM)

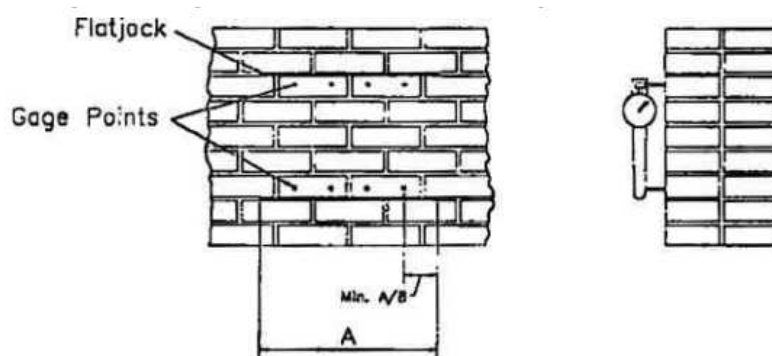


Fig. 3.11: Configurazione di prova per la misura dello stato di sforzo locale nella muratura (RILEM)

STRUMENTAZIONE PER ESEGUIRE IL TAGLIO

Il taglio può essere eseguito per la muratura di mattoni o per murature con giunti regolari in corrispondenza di un giunto di malta, tramite un trapano a basso numero di giri. In seguito si ripulisce il giunto tagliato con la rimozione di tutta la malta e la polvere in modo che il martinetto sia direttamente a contatto con le superfici del taglio. Nel caso di muratura in pietra irregolare l'attrezzatura usata per il taglio sarà una sega semicircolare con disco diamantato eccentrico come mostrato in figura.

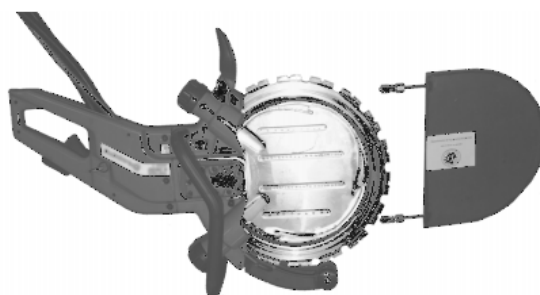


Fig. 3.12: Sega circolare utilizzata per eseguire in taglio sulla muratura

3.5 PROCEDURA DELLA PROVA

La prova si articola nelle seguenti fasi:

1. Individuazione della porzione di muratura su cui eseguire la prova e collocazione dei punti di misura ;
2. esecuzione dei tagli e calcolo dell'area del taglio ;
3. inserimento dei martinetti piatti e di eventuali spessori in modo da regolarizzare i vuoti ;
4. incremento e decremento della pressione nei martinetti piatti e registrazione dei valori di deformazione e pressione ;
5. scarico e rimozione del martinetto con conseguente chiusura del taglio con malta appropriata.

3.6 CALIBRAZIONE

La procedura di calibrazione avviene con l'utilizzo di una macchina di prova di compressione con capacità minima di 450kN. Si dispone inizialmente il martinetto sulla piastra della macchina in modo che appoggi completamente su di essa. In seguito si colloca una piastra dello spessore di 50mm sul martinetto e sugli spessori in modo da essere allineata alla piastra inferiore. Successivamente si posiziona l'insieme piastra/martinetto/spessori sulla piastra inferiore modo che il baricentro del martinetto sia posto entro 6mm sull'asse di prova della macchina .

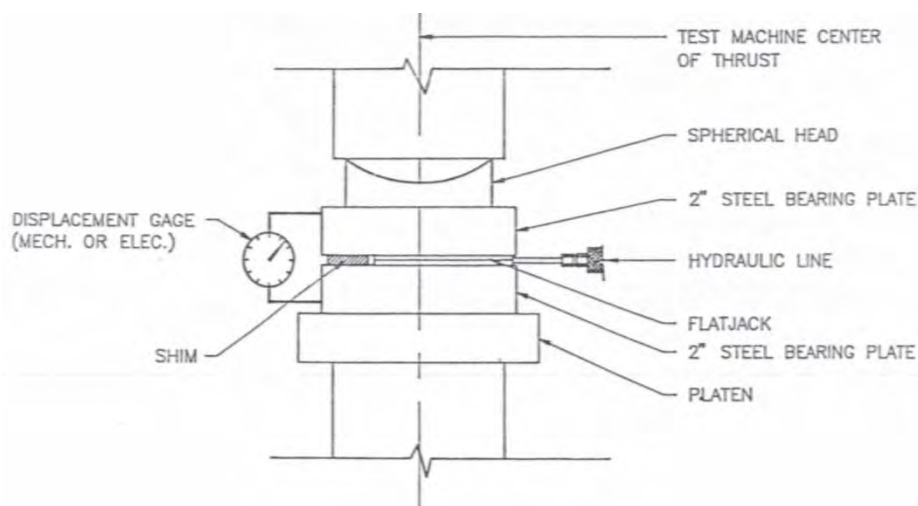


Fig. 3.13: Apparecchiatura per la calibrazione dei martinetti(RILEM).

Applicato un precarico di $0,05 \text{ N/mm}^2$, l'incremento della pressione nel martinetto piatto è pari a $0,5 \text{ N/mm}^2$ fino al raggiungimento della tensione di 7 N/mm^2 mantenendo costante la distanza tra le piastre . Ad ogni incremento si registra la pressione del martinetto piatto e la forza misurata dalla macchina di prova. Si riportano infine in un diagramma i valori della pressione esercitata nel martinetto (in ascissa) e la forza misurata dalla macchina (in ordinata). Il coefficiente angolare della retta ottenuta rappresenta la costante del martinetto, cioè la costante di rigidità: k_m .

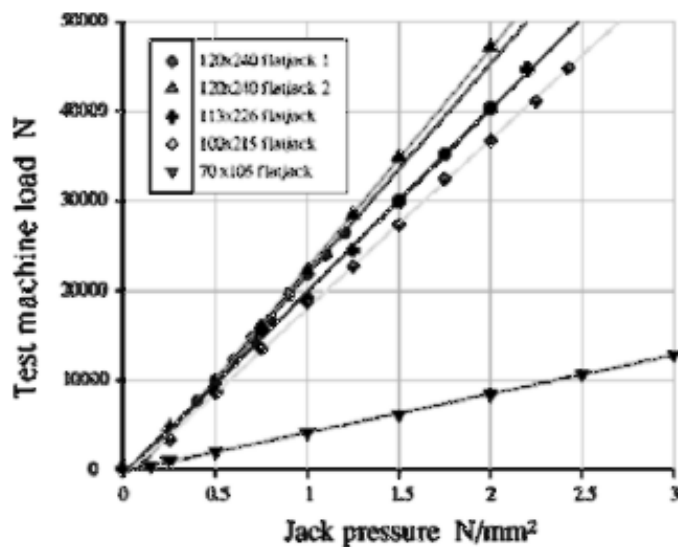


Fig. 3.14 : Curva di calibrazione del martinetto piatto (RILEM)

3.7 ACQUISIZIONE DEI DATI

I risultati ricavati dalle prove di martinetto piatto doppio eseguite su ciascun campione sono stati raccolti all'interno di un file Excel .

L'acquisizione dei dati sperimentali ha permesso la realizzazione dei seguenti diagrammi :

- diagramma tensione - deformazione relativo alla media delle basi di misura verticali con visualizzazione dei moduli di rigidezza calcolati (Fig.3.15) ;
- diagramma tensione - deformazione relativo alle singole basi di misura (Fig.3.16);
- diagramma tensione - deformazione relativo alla media delle basi di misura verticali con visualizzazione della variazione del coefficiente angolare della retta approssimante l'inclinazione dei rami di scarico per il calcolo dei moduli elastici (Fig.3.17) ;

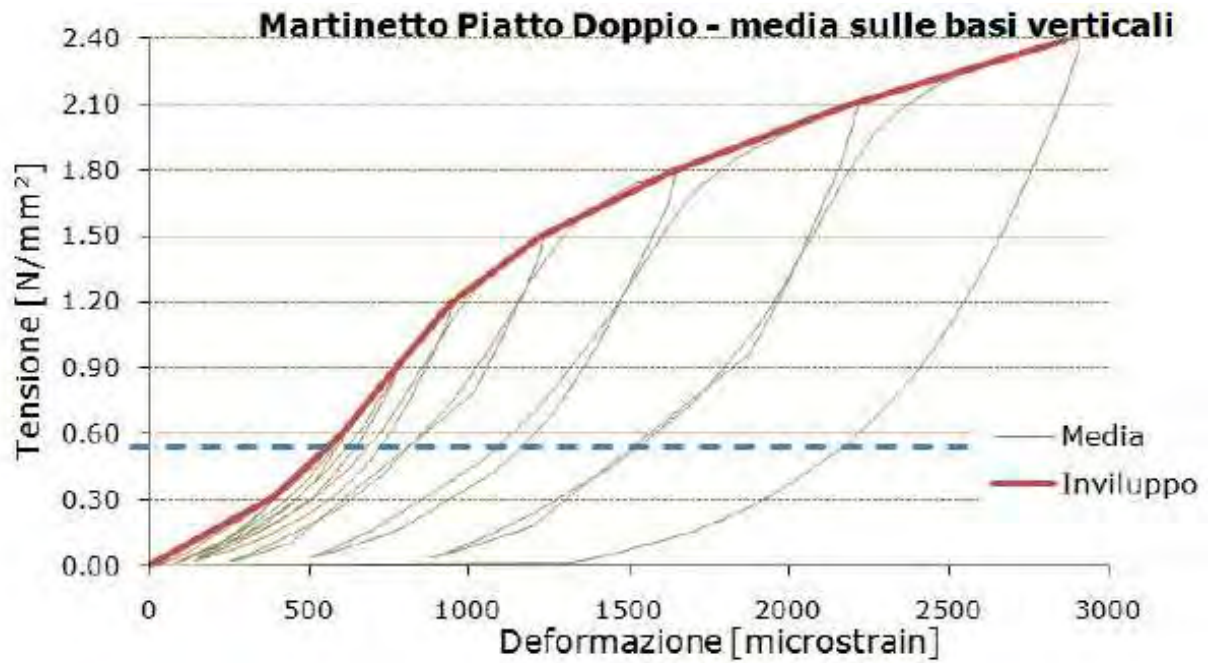


Figura 3.15 : diagramma tensione - deformazione relativo alla media delle basi di misura verticali con visualizzazione dei moduli di rigidezza calcolati.

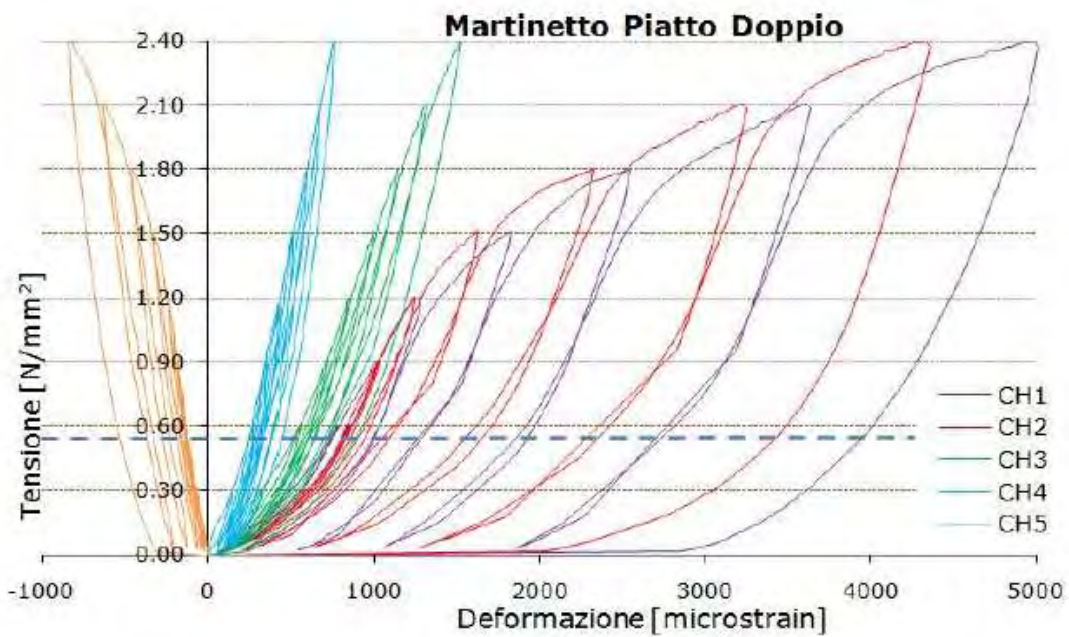


Figura 3.16 : diagramma tensione - deformazione relativo alle singole basi di misura.

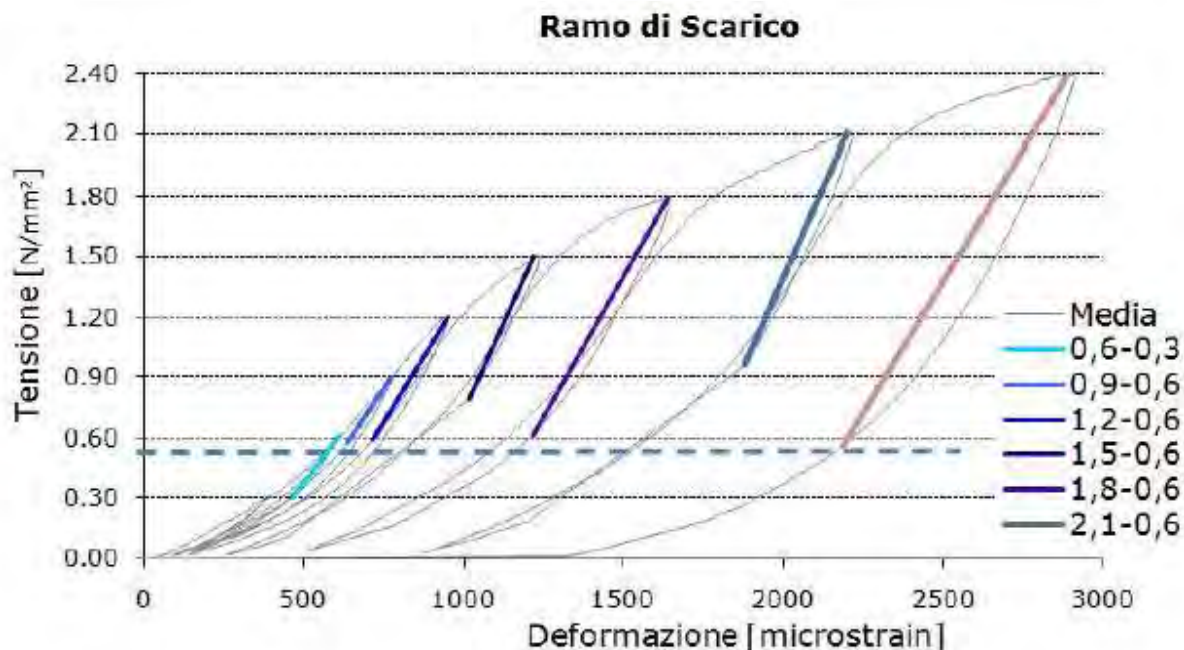


Figura 3.17 : diagramma tensione - deformazione relativo alla media delle basi di misura verticali con visualizzazione della variazione del coefficiente angolare della retta approssimante l'inclinazione dei rami di scarico per il calcolo dei moduli elastici.

Successivamente i dati sono stati organizzati all'interno di un database la cui struttura è descritta nel prossimo paragrafo .

3.8 DESCRIZIONE DEL DATABASE

La campagna di prove che sono state eseguite con il martinetto piatto doppio è molto vasta.

Per facilitarne l'analisi e l'elaborazione dei dati è stato realizzato un database , all'interno del quale sono racchiuse tutte le informazioni relative a ciascun campione di muratura su cui è stata eseguita la prova.

La maggior parte delle murature trattate appartengono alla categoria - suggerita dalla normativa- 'mattoni pieni e malta di calce' , essendo questa tipologia molto diffusa nel patrimonio edilizio esistente nel nostro Paese.

In primo luogo sono state rappresentate le percentuali - sul totale di edifici - di ciascuna tipologia muraria per ogni regione , considerando che su alcuni edifici sono state eseguite più prove di martinetto piatto doppio .

Le tipologia murarie considerate sono le seguenti :

TIPOLOGIA DI MURATURA	Cod.	f_m (N/cm ²)	τ_0 (N/cm ²)	EMIN (N/mm ²)	EMAX (N/mm ²)	W (kN/m ³)
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	A- P dis	140	2,60	690	1050	19
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	B- P sbozz	250	4,30	1020	1440	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	C- P spacco	320	6,50	1500	1980	21
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	F - Matt	320	7,60	1200	1800	18

Tabella 3.3 : tipologie di muratura e relativi parametri caratteristici .

Regione	n° campioni	%
Veneto	6	75
Abruzzo	2	25
TOTALE	8	100

Regione	n° edifici	%
Veneto	3	75
Abruzzo	1	25
TOTALE	4	100

Tabella 3.4 e 3.5 : numero di campioni e di edifici su cui è stata eseguita la prova di martinetto piatto doppio per ciascuna regione e relativa percentuale per la tipologia muraria ‘muratura in pietrame disordinata’.

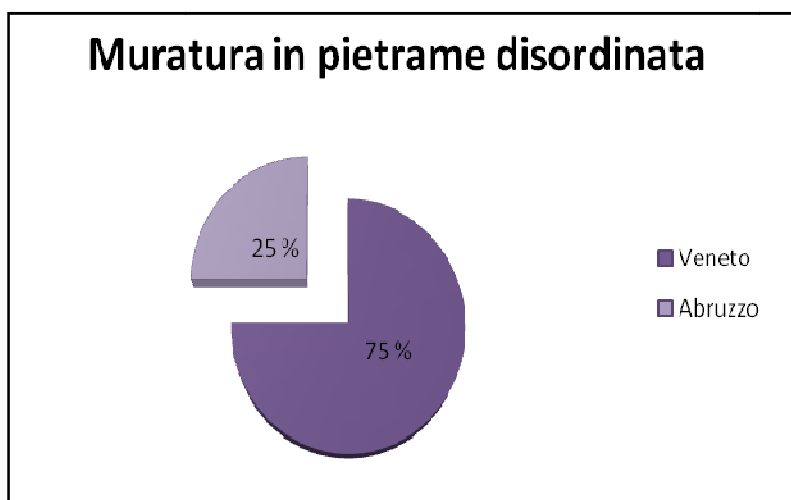


Figura 3.18 : Diagramma a torta degli edifici sottoposti alla prova con martinetto piatto doppio per ciascuna regione di appartenenza.

Regione	n° campioni	%
Veneto	27	79
Abruzzo	7	21
TOTALE	34	100

Regione	n° edifici	%
Veneto	8	67
Abruzzo	4	33
TOTALE	12	100

Tabella 3.6 e 3.7 : numero di campioni e di edifici su cui è stata eseguita la prova di martinetto piatto doppio per ciascuna regione e relativa percentuale per la tipologia muraria ‘ muratura a conci sbozzati ’.

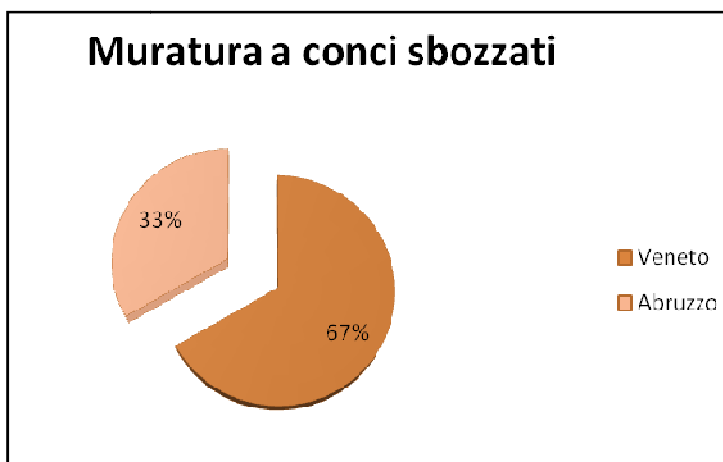


Figura 3.19 : Diagramma a torta degli edifici sottoposti alla prova con martinetto piatto doppio per ciascuna regione di appartenenza.

Regione	n° campioni	%
Veneto	7	70
Abruzzo	3	30
TOTALE	10	100

Regione	n° edifici	%
Veneto	2	67
Abruzzo	1	33
TOTALE	3	100

Tabella 3.8 e 3.9 : numero di campioni e di edifici su cui è stata eseguita la prova di martinetto piatto doppio per ciascuna regione e relativa percentuale per la tipologia muraria ‘ muratura in pietra a spacco ’.

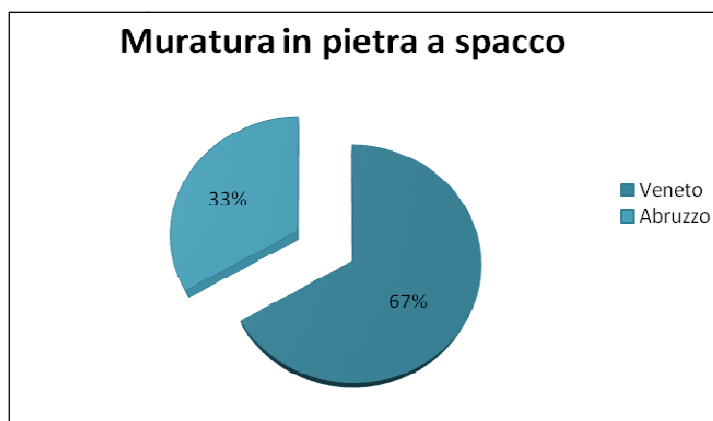


Figura 3.20 : Diagramma a torta degli edifici sottoposti alla prova con martinetto piatto doppio per ciascuna regione di appartenenza.

Regione	n° campioni	%
Veneto	28	55
Toscana	8	16
Abruzzo	2	4
Emilia Romagna	13	25
TOTALE	51	100

Regione	n° edifici	%
Veneto	12	57
Toscana	1	5
Abruzzo	1	5
Emilia Romagna	7	33
TOTALE	21	100

Tabella 3.10 e 3.11 : numero di campioni e di edifici su cui è stata eseguita la prova di martinetto piatto doppio per ciascuna regione e relativa percentuale per la tipologia muraria ‘ muratura in mattoni pieni ’.

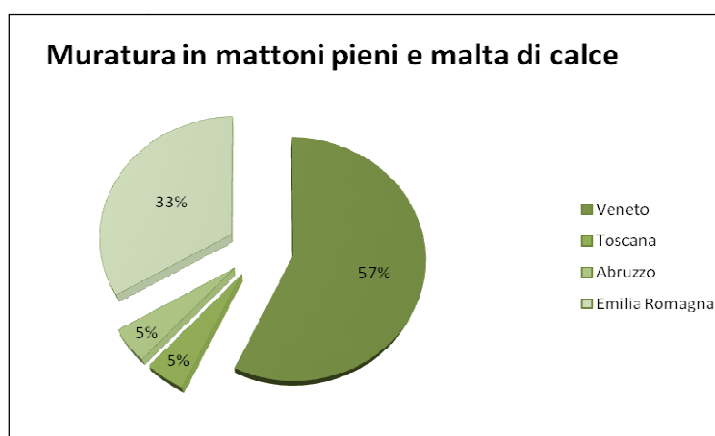


Figura 3.21 : Diagramma a torta degli edifici sottoposti alla prova con martinetto piatto doppio per ciascuna regione di appartenenza.

Il database è organizzato in una tabella la cui lettura avviene a partire dal nome del sito su cui è stata eseguita la prova e di cui si vogliono conoscere i relativi dati .

La colonna successive a quella indicante il ‘ nome del sito ’ forniscono informazioni di carattere generale del tipo :

- regione ;
- provincia ;
- comune ;
- codice identificativo della prova (‘ID_SCHEDA’) ;
- tipologia muraria (mattoni pieni, muratura in pietra, etc.) ;
- parametri migliorativi ;

- prove aggiuntive eseguite sul campione (prove soniche, carotaggi, etc.) ;
- tipologia di edificio (ponte, chiesa, palazzo).

I dati che sono stati raccolti e ricavati per ciascun elemento di muratura sono i seguenti :

- modulo elastico tangente per ciascuno step di carico ;
- modulo elastico secante per ciascuno step di carico ;
- modulo elastico tangente medio ;
- modulo elastico secante medio ;
- modulo elastico tangente minimo ;
- modulo elastico tangente massimo ;
- modulo elastico tangente normalizzato rispetto al valore medio ;
- modulo elastico secante normalizzato rispetto al valore medio ;
- velocità media della provaonica (m/s) ;
- carico locale (MPa) ;
- carico massimo (MPa) ;
- carico di prima plasticizzazione relativo al diagramma tensione - deformazione (MPa) ;
- carico di prima plasticizzazione del sensore orizzontale relativo alla prova ciclica (MPa) ;
- deformazione residua ultima relativa al diagramma tensione - deformazione (microstrain);
- deformazione residua ultima del sensore orizzontale relativa alla prova ciclica (microstrain) ;
- deformazione corrispondente al carico di prima plasticizzazione nel diagramma tensione - deformazione (microstrain);
- step di carico (microstrain) ;
- deformazione corrispondente a ciascun step di carico (microstrain).

Si riportano nelle pagine seguenti alcuni estratti del database .

MURATURA IN MATTONI PIENI E MALTA DI CALCE 'F-MATT'

- Dati generali relativi al sito :

ID_SCHEDA	TIPOLOGIA MURATURA	PARAMETRI MIGLIORATIVI DA NORMATIVA	NOME SITO	REGIONE	PROVINCIA	COMUNE
MN_BE_MPD1	F - Matt		Centrale Idrovora di San Siro	Emilia-Romagna	Mantova	San Benedetto Po
MN_BE_MPD2	F - Matt		Centrale Idrovora di San Siro	Emilia-Romagna	Mantova	San Benedetto Po
MN_BE_MPD3	F - Matt		Centrale Idrovora di San Siro	Emilia-Romagna	Mantova	San Benedetto Po
MN_MO_MPD1	F - Matt		Centrale Idrovora di Mondine	Emilia-Romagna	Mantova	Moglia
MN_MO_MPD2	F - Matt		Centrale Idrovora di Mondine	Emilia-Romagna	Mantova	Moglia
MN_QU_MPD1	F - Matt		Agriturismo, proprietà società GAT	Emilia-Romagna	Mantova	Quistello
MN_QU_MPD2	F - Matt		Agriturismo, proprietà società GAT	Emilia-Romagna	Mantova	Quistello
MO_PA_MPD1	F - Matt		Palazzo sito in via Fulvia 49	Emilia-Romagna	Modena	Mirandola
MO_PA_MPD2	F - Matt		Palazzo sito in via Fulvia 49	Emilia-Romagna	Modena	Mirandola
MO_PA_MPD3	F - Matt		Palazzo sito in via Fulvia 49	Emilia-Romagna	Modena	Mirandola
MO_TEM_MPD1	F - Matt	1,2	Tempio Monumentale di San Nicolò	Emilia-Romagna	Modena	Carpi
MO_TER_MPD1	F - Matt		Proprietà Terzi via Mazzini 72	Emilia-Romagna	Modena	San Felice sul Panaro
MO_TER_MPD2	F - Matt		Proprietà Terzi via Mazzini 73	Emilia-Romagna	Modena	San Felice sul Panaro
PD_CAR_MP1	F - Matt		Castello carrarese Ala Nord	Veneto	Padova	Padova
PD_CAR_MP2	F - Matt		Castello carrarese Ala Nord	Veneto	Padova	Padova
PD_CAR_MP3	F - Matt		Castello carrarese Ala Nord	Veneto	Padova	Padova

PD_PO_MPD2	F - Matt		Polizia penitenziaria	Veneto	Padova	Padova
RE_GU_MPD4	F - Matt		Cattedrale di San Pietro	Emilia-Romagna	Reggio Emilia	Guastalla
RE_GU_MPD6	F - Matt		Cattedrale di San Pietro	Emilia-Romagna	Reggio Emilia	Guastalla
TV_AL_MPD1	F - Matt		Casa Albino, via Callalta	Veneto	Treviso	Lanzago di Silea
TV_AL_MPD2	F - Matt		Casa Albino, via Callalta	Veneto	Treviso	Lanzago di Silea
TV_SA_MPD1	F - Matt	MALTA BUONA =1,5	Chiesa di Santa Margherita	Veneto	Treviso	Treviso
TV_SA_MPD2	F - Matt	MALTA BUONA =1,5	Chiesa di Santa Margherita	Veneto	Treviso	Treviso
VE_PO_MPD1	F - Matt		Ponte della Libertà	Veneto	Venezia	Venezia
VE_PO_MPD2	F - Matt		Ponte della Libertà	Veneto	Venezia	Venezia
VE_PO_MPD3	F - Matt		Ponte della Libertà	Veneto	Venezia	Venezia
VE_PO_MPD4	F - Matt		Ponte della Libertà	Veneto	Venezia	Venezia
VE_UN_MPD1	F - Matt		Scuola media G. Ungaretti	Veneto	Venezia	Spinea
VE_UN_MPD3	F - Matt		Scuola media G. Ungaretti	Veneto	Venezia	Spinea
VR_CAP_POM2	F - Matt		Palazzo del Capitano	Veneto	Verona	Verona
VR_CAP_POM4	F - Matt		Palazzo del Capitano	Veneto	Verona	Verona
VR_CAP_P1M1	F - Matt		Palazzo del Capitano	Veneto	Verona	Verona
VR_CAP_P1M3	F - Matt		Palazzo del Capitano	Veneto	Verona	Verona
VR_DA_MPD2	F - Matt		Scuola media Dante Alighieri	Veneto	Verona	Cologna Veneta
VR_MA_MPD2.1	F - Matt		Magazzini generali di Verona	Veneto	Verona	Verona
VR_MA_MPD3	F - Matt		Magazzini generali di Verona	Veneto	Verona	Verona
VR_MA_MPD22	F - Matt		Magazzini generali di Verona	Veneto	Verona	Verona
VR_PI_MPD1	F - Matt		Complesso Castel S.Pietro	Veneto	Verona	Verona
VI_BA_MP1	F - Matt		Ponte delle Barche	Veneto	Vicenza	Vicenza

VI_BI_MPDSG1	F - Matt		Biblioteca Bertoliana	Veneto	Vicenza	Vicenza
VI_BI_MPDSG2	F - Matt		Biblioteca Bertoliana	Veneto	Vicenza	Vicenza
VI_BI_MPDC1	F - Matt		Biblioteca Bertoliana	Veneto	Vicenza	Vicenza
VI_BI_MPDC2	F - Matt		Biblioteca Bertoliana	Veneto	Vicenza	Vicenza

- Dati relativi alle prove :

ID_SCHEDA	E tang [MPa]	E sec [MPa]	v media (m/s)	Carico locale [Mpa]	Carico max [Mpa]	Carico PLAST [Mpa]	Carico PLAST ORIZZONTALE [Mpa]	ϵ carico plast.orizz (μ strain)
MN_BE_MPD1	13169	12455	-	0,82	5	-	-	-
MN_BE_MPD2	9197	10271	-	1,04	5	3	3	73,09
MN_BE_MPD3	5275	6279	-	-	4	1,2	2,4	167,17
MN_MO_MPD1	7005	7347	-	0,08	5	-	2	50,57
MN_MO_MPD2	8403	7407	-	0,34	5	-	2	235,4
MN_QU_MPD1	1256	2529	-	-	2,1	0,6	1,2	99,48
MN_QU_MPD2	3054	5407	-	-	2,1	1,2	1,8	157,13
MO_PA_MPD1	3921	3444	-	-	1,38	-	0,9	133
MO_PA_MPD2	602	2655	-	-	1,12	0,3	0,6	977
MO_PA_MPD3	1389	1525	-	-	1,41	-	0,6	151,68
MO_TEM_MPD1	1182	1620	-	0,43	1,5	0,6	0,6	-
MO_TER_MPD1	5712	5493	-	-	1,68	-	0,9	26,74
MO_TER_MPD2	2910	3964	-	-	1,8	1,5	1,2	150
PD_CAR_MP1	4015	5457	-	-	1,72	1	1	116
PD_CAR_MP2	2108	2257	-	-	1,5	-	1	259
PD_CAR_MP3	1734	2000	-	-	2	1	1	150
PD_PO_MPD2	1335	2251	-	-	3	1,5	1	226,31
RE_GU_MPD4	2344	3026	-	0,12	1,5	0,6	1,2	987
RE_GU_MPD6	1269	1937	-	0,57	2,1	1,5	0,6	60,22
TV_AL_MPD1	2359	4170		0,38	1,8	0,6	0,9	-
TV_AL_MPD2	2892	4043		-	1,8	0,9	0,9	-
TV_SA_MPD1	3502	4675	-	0,38	3	1,5	1,8	73,24
TV_SA_MPD2	2062	4173	-	0,36	1,34	0,6	0,6	104
VE_PO_MPD1	3562	4585		0,74	5	4	4,5	-
VE_PO_MPD2	5260	6098		0,6	5	2	2,5	-
VE_PO_MPD3	8750	10384		-	5	-	-	-
VE_PO_MPD4	2913	4126		-	4,8	3	2	168
VE_UN_MPD1	10719	10558	-	-	3	-	-	-
VE_UN_MPD3	9022	8438	-	-	4	-	2,7	-

VR_CAP_POM2	1020	1766		0,64	2,1	0,9	0,9	243,48
VR_CAP_POM4	2850	4628		0,09	3	1,5	1,8	198,78
VR_CAP_P1M1	1505	2211		0,27	3	0,9	1,2	401
VR_CAP_P1M3	510	1028		0,19	2,1	0,6	0,9	-
VR_DA_MPD2	2828	4249	-	-	2,4	0,9	1,2	-
VR_MA_MPD2.1	441	1232	-	-	0,82	0,17	0,3	-
VR_MA_MPD3	1130	1648	-	0,68	1,2	0,9	0,7	2,46
VR_MA_MPD22	8199	7684	-	0,03	1,8	0,3	-	-
VR_PI_MPD1	2498	3274		-	3	1	1,2	-
VI_BA_MP1	3162	4223	-	-	5,5	1,5	1,5	-
VI_BI_MPDSG1	643	1290	-	0,71	1,74	1	1	-
VI_BI_MPDSG2	1140	2550	-	0,29	1,6	0,7	0,7	-
VI_BI_MPDC1	761	1761	-	0,65	2,4	1	0,9	490
VI_BI_MPDC2	1320	2398	-	0,55	1,8	1	0,9	-

- Dati relativi alle prove (continuazione) :

ID_SCHEDA	ε ultima res.carico verticale (μ strain)	ε snerv (μ strain)	Norma	Prove aggiuntive (*)	Etan MIN	Etan MAX	CATEGORIA
MN_BE_MPD1	-	-	RILEM	SC-P-PL	9332	26928	PONTE
MN_BE_MPD2	19,53	304,54	RILEM	-	5132	12028	PONTE
MN_BE_MPD3	156,24	189	RILEM	P	3168	7556	PONTE
MN_MO_MPD1	51,59	-	RILEM	-	5315	8340	PONTE
MN_MO_MPD2	-	-	RILEM	-	6308	9884	PONTE
MN_QU_MPD1	1422,45	271	RILEM	-	476	2397	PALAZZO
MN_QU_MPD2	67,96	213	RILEM	-	1831	4422	PALAZZO
MO_PA_MPD1	10,12	-	RILEM	M	2990	5470	PALAZZO
MO_PA_MPD2	2748,44	259,726	RILEM	M	170	1197	PALAZZO
MO_PA_MPD3	-	-	RILEM	M	1389	1389	PALAZZO
MO_TEM_MPD1	778,66	322	RILEM	-	320	2250	PALAZZO
MO_TER_MPD1	98,29	-	RILEM	M	3769	8132	PALAZZO
MO_TER_MPD2	308,03	490	RILEM	M	1748	3548	PALAZZO
PD_CAR_MP1	421,42	207,55	RILEM	-	657	7778	PALAZZO
PD_CAR_MP2	176,98	-	RILEM	-	1650	2662	PALAZZO
PD_CAR_MP3	652,5	474	RILEM	-	639	3189	PALAZZO
PD_PO_MPD2	2288,75	466,77	RILEM	M	457	2486	PALAZZO
RE_GU_MPD4	100,71	987	RILEM	-	980	3880	CHIESA
RE_GU_MPD6	708,9	178,92	RILEM	-	550	1750	CHIESA
TV_AL_MPD1	-	-	RILEM	-	1023	3860	PALAZZO
TV_AL_MPD2	-	-	RILEM	-	1224	4282	PALAZZO

TV_SA_MPD1	341,31	381	RILEM	-	2286	5359	CHIESA
TV_SA_MPD2	670,08	157,27	RILEM	-	423	4093	CHIESA
VE_PO_MPD1	935,47	1239,47	RILEM	-	693	6335	PONTE
VE_PO_MPD2	100,17	283,31	RILEM	-	2833	8050	PONTE
VE_PO_MPD3	23	-	RILEM	-	6423	14390	PONTE
VE_PO_MPD4	287,45	426	RILEM	-	704	5470	PONTE
VE_UN_MPD1	-	-	RILEM	M	7952	13036	PALAZZO
VE_UN_MPD3	-	-	RILEM	M	7477	11131	PALAZZO
VR_CAP_POM2	1809,58	558,58	RILEM	-	374	2374	PALAZZO
VR_CAP_POM4	1056,4	408,92	RILEM	-	794	4049	PALAZZO
VR_CAP_P1M1	853,82	412,75	RILEM	-	807	2354	PALAZZO
VR_CAP_P1M3	3403,99	1142	RILEM	-	241	946	PALAZZO
VR_DA_MPD2	281,58	324,96	RILEM	M	1155	4348	PALAZZO
VR_MA_MPD2.1	1102,81	236	RILEM	-	364	580	PALAZZO
VR_MA_MPD3	696,68	715	RILEM	-	481	1743	PALAZZO
VR_MA_MPD22	6,99	-	RILEM	-	6576	9327	PALAZZO
VR_PI_MPD1	389,94	230	RILEM	-	804	4422	PALAZZO
VI_BA_MP1	317,17	363	RILEM	TOM	2144	4884	PONTE
VI_BI_MPDSG1	3788,34	962	RILEM	-	130	1400	PALAZZO
VI_BI_MPDSG2	1444,31	381	RILEM	-	450	2250	PALAZZO
VI_BI_MPDC1	3123,57	750	RILEM	-	280	1490	PALAZZO
VI_BI_MPDC2	1123,8	484	RILEM	-	370	2820	PALAZZO

(*) S = prove soniche , M = estrazione di malta , C = carotaggi , SC = prove sclerometriche , P = indagine mediante pacometro , PL = prova di pull out , TOM = prova tomografica sonica, E = indagine video endoscopica su solaio.

MURATURA IN MATTONI PIENI E MALTA DI CALCE 'B-P Sbozz'

- Dati generali relativi al sito :

ID_SCHEDA	TIPOLOGIA MURATURA	PARAMETRI MIGLIORATIVI DA NORMATIVA	NOME SITO	REGIONE	PROVINCIA	COMUNE
BL_SC_MPD1	B- P sbozz	RICORSI E LISTATURE=1,2	Scuola Media Ricci	Veneto	Belluno	Belluno
BL_SC_MPD2	B- P sbozz	RICORSI E LISTATURE=1,2	Scuola Media Ricci	Veneto	Belluno	Belluno
BL_SC_MPD3	B- P sbozz	RICORSI E LISTATURE=1,2	Scuola Media Ricci	Veneto	Belluno	Belluno
BL_VI_MPD1	B- P sbozz		ex scuola elementare Giovanni Fioretto	Veneto	Belluno	Vigo di Cadore
BL_VI_MPD2	B- P sbozz		ex scuola elementare Giovanni Fioretto	Veneto	Belluno	Vigo di Cadore
AQ_DO_MPDF	B- P sbozz	RICORSI E LISTATURE=1,2	Chiesa S. Domenico	Abruzzo	L'Aquila	L'Aquila
AQ_GO_MPD-D2	B- P sbozz		Palazzo del Governo	Abruzzo	L'Aquila	L'Aquila
AQ_GO_MPD-A2	B- P sbozz		Palazzo del Governo	Abruzzo	L'Aquila	L'Aquila
AQ_PA_MPDc	B- P sbozz		Consorzio di Paola	Abruzzo	L'Aquila	L'Aquila
AQ_PA_MPDnc	B- P sbozz	INIEZIONI DI MISCELE =1,7	Consorzio di Paola	Abruzzo	L'Aquila	L'Aquila
AQ_TA_MPD1	B- P sbozz		Palazzo Ducale	Abruzzo	L'Aquila	Tagliacozzo
AQ_TA_MPD2	B- P sbozz		Palazzo Ducale	Abruzzo	L'Aquila	Tagliacozzo
PD_PO_MPD1	B- P sbozz		Polizia penitenziaria	Veneto	Padova	Padova
PD_PO_MPD3	B- P sbozz		Polizia penitenziaria	Veneto	Padova	Padova
VR_DA_MPD1	B- P sbozz		Scuola media Dante Alighieri	Veneto	Verona	Cologna Veneta
VR_MA_MPD1	B- P sbozz		Magazzini generali di Verona	Veneto	Verona	Verona
VR_MA_MPD2	B- P sbozz		Magazzini generali di Verona	Veneto	Verona	Verona
VR_MA_MPD4	B- P sbozz		Magazzini generali di Verona	Veneto	Verona	Verona
VR_MA_MPD21	B- P sbozz		Magazzini generali di Verona	Veneto	Verona	Verona
VR_MA_MPD23	B- P sbozz		Magazzini generali di Verona	Veneto	Verona	Verona

VR_MA_MPD24	B- P sbozz		Magazzini generali di Verona	Veneto	Verona	Verona
VR_M1_MPD1	B- P sbozz	iniezione di miscele e leganti = 1,5	Ex Magazzini generali di Verona	Veneto	Verona	Verona
VR_M1_MPD2	B- P sbozz	iniezione di miscele e leganti = 1,5	Ex Magazzini generali di Verona	Veneto	Verona	Verona
VR_M1_MPD3	B- P sbozz	iniezione di miscele e leganti = 1,5	Ex Magazzini generali di Verona	Veneto	Verona	Verona
VR_M1_MPD4	B- P sbozz	iniezione di miscele e leganti = 1,5	Ex Magazzini generali di Verona	Veneto	Verona	Verona
VR_M1_MPD5	B- P sbozz	iniezione di miscele e leganti = 1,5	Ex Magazzini generali di Verona	Veneto	Verona	Verona
VR_M1_MPD6	B- P sbozz	iniezione di miscele e leganti = 1,5	Ex Magazzini generali di Verona	Veneto	Verona	Verona
VI_FA_MPD1	B- P sbozz		Ex casa del Fascio	Veneto	Vicenza	Barbarano Vicentino
VI_RO_MPD1	B- P sbozz		Ex Asilo Rossi	Veneto	Vicenza	Schio
VI_RO_MPD2	B- P sbozz		Ex Asilo Rossi	Veneto	Vicenza	Schio
VI_RO_MPD3	B- P sbozz		Ex Asilo Rossi	Veneto	Vicenza	Schio
VI_RO_MPD4	B- P sbozz		Ex Asilo Rossi	Veneto	Vicenza	Schio
VI_RO_MPD5	B- P sbozz		Ex Asilo Rossi	Veneto	Vicenza	Schio
VI_RO_MPD6	B- P sbozz		Ex Asilo Rossi	Veneto	Vicenza	Schio

- Dati relativi alle prove :

ID_SCHEDA	E tang [MPa]	E sec [MPa]	v media (m/s)	Carico locale [Mpa]	Carico max [Mpa]	Carico PLAST [Mpa]	Carico PLAST ORIZZONTALE [Mpa]	ϵ snerv. (μ strain)
BL_SC_MPD1	4040	12409	-	-	1,05	0,5	0,3	44,268
BL_SC_MPD2	7872	11480	-	-	3	0,5	0,5	38,206
BL_SC_MPD3	10128	11070	-	-	2,5	0,5	0,5	40,555
BL_VI_MPD1	3911	5321	-	-	1,8	0,3	0,3	156,42
BL_VI_MPD2	2345	3746	-	-	1,8	0,3	0,1	-
AQ_DO_MPDF	10008	4641	913	0,21	2,10	0,3	0,3	53,90
AQ_GO_MPD-D2	3775	4871	750	0,51	2,4	0,3	0,3	151,579
AQ_GO_MPD-A2	3603	5340	850	0,82	1,8	0,9	0,3	100,766
AQ_PA_MPDc	3295	5860	-	-	3,8	0,9	0,9	130,95
AQ_PA_MPDnc	4614	6768	-	-	2,1	-	-	65,683
AQ_TA_MPD1	6676	7744	989,7	0,78	2,1	1,5	1,5	
AQ_TA_MPD2	2254	7481		0,07	1,8	0,9	0,9	

PD_PO_MPD1	1683	1908	-	-	0,9	0,3	0,16	119,093
PD_PO_MPD3	607	1908	-	-	0,9	0,3	0,16	300,219
VR_DA_MPD1	588	1316	-	-	1,09	0,3	0,3	288,475
VR_MA_MPD1	549	771	927	0,16	0,66	0,3	0,3	104,977
VR_MA_MPD2	1392	2780	2236	0,21	1,4	0,3	0,3	4,086
VR_MA_MPD4	260	1648	-	0,47	0,78	0,3	0,3	656,18
VR_MA_MPD21	266	964	-	0,18	1,5	0,3	0,3	459,219
VR_MA_MPD23	1440	2001	848	0,62	0,9	0,6	0,5	335,835
VR_MA_MPD24	2015	2939	1889	0,59	2,5	0,6	0,3	2046,098
VR_M1_MPD1	3065	4034	-	1,53	3	0,9	0,3	214,841
VR_M1_MPD2	1010	2065	-	0,43	1,5	0,6	0,3	350,335
VR_M1_MPD3	3443	4081	-	0,94	3	0,6	0,6	133,701
VR_M1_MPD4	1693	3872	-	0,69	2,1	0,6	0,3	304,263
VR_M1_MPD5	5357	6580	-	0,6	3	0,6	0,6	67,844
VR_M1_MPD6	2793	4156	-	0,44	3	0,9	0,6	182,422
VI_FA_MPD1	621	2711	-	-	3	0,3	0,3	264,906
VI_RO_MPD1	610	2180	-	-	1,8	0,3	0,3	247,102
VI_RO_MPD2	2543	6083	-	-	2,1	0,6	0,3	134,682
VI_RO_MPD3	311	1880	-	-	1,2	0,3	0,3	500
VI_RO_MPD4	1312	3638	-	-	1,2	0,3	0,3	127,988
VI_RO_MPD5	1703	5101	-	-	2,1	0,3	0,3	59,31
VI_RO_MPD6	676	3755	-	-	1,5	0,3	0,3	245,174

- Dati relativi alle prove (continuazione) :

ID_SCHEDA	Norma	Prove aggiuntive (*)	Etan MIN	EtanMAX	CATEGORIA
BL_SC_MPD1	RILEM	M-SC	331	11315	PALAZZO
BL_SC_MPD2	RILEM	AM	5129	13345	PALAZZO
BL_SC_MPD3	RILEM	M-SC	8350	12404	PALAZZO
BL_VI_MPD1	RILEM	-	-	1712	5359
BL_VI_MPD2	RILEM	-	-	1227	3704
AQ_DO_MPDF	RILEM	S-C-E	8973	11532	CHIESA
AQ_GO_MPD-D2	RILEM	S	2000	5900	PALAZZO
AQ_GO_MPD-A2	RILEM	S	350	6500	PALAZZO
AQ_PA_MPDc	RILEM	-	979	7635	PALAZZO
AQ_PA_MPDnc	RILEM	-	4614	4614	PALAZZO
AQ_TA_MPD1	RILEM	C-E-M-S	2951	9931	PALAZZO
AQ_TA_MPD2	RILEM	M	970	6080	PALAZZO
PD_PO_MPD1	RILEM	-	843	2523	PALAZZO
PD_PO_MPD3	RILEM	M	97	1015	PALAZZO

VR_DA_MPD1	RILEM	M	232	1041	PALAZZO
VR_MA_MPD1	RILEM	IN-S-PD	117	1332	PALAZZO
VR_MA_MPD2	RILEM	IN-S-PD	389	3295	PALAZZO
VR_MA_MPD4	RILEM	-	85	464	PALAZZO
VR_MA_MPD21	RILEM	-	88	654	PALAZZO
VR_MA_MPD23	RILEM	S-IN	674	1994	PALAZZO
VR_MA_MPD24	RILEM	S-IN	677	3501	PALAZZO
VR_M1_MPD1	RILEM	-	1435	4292	PALAZZO
VR_M1_MPD2	RILEM	-	275	1805	PALAZZO
VR_M1_MPD3	RILEM	-	1776	4755	PALAZZO
VR_M1_MPD4	RILEM	-	630	2586	PALAZZO
VR_M1_MPD5	RILEM	-	1018	10123	PALAZZO
VR_M1_MPD6	RILEM	-	368	5134	PALAZZO
VI_FA_MPD1	RILEM	P	176	1157	PALAZZO
VI_RO_MPD1	RILEM		143	1185	PALAZZO
VI_RO_MPD2	RILEM		871	4596	PALAZZO
VI_RO_MPD3	RILEM	M	143	601	PALAZZO
VI_RO_MPD4	RILEM	M-C	474	2360	PALAZZO
VI_RO_MPD5	RILEM	M-C	309	5068	PALAZZO
VI_RO_MPD6	RILEM	M-C	191	1234	PALAZZO

(*) S = prove soniche , M = estrazione di malta , C = carotaggi , SC = prove sclerometriche , P = indagini mediante pacometro , PL = prova di pull out , TOM = prova tomografica sonica, E = indagine video endoscopica su solaio.

MURATURA IN PIETRE A SPACCO CON BUONA TESSITURA ' C-P Spacco '

- Dati generali relativi al sito

ID_SCHEDA	TIPOLOGIA MURATURA	PARAMETRI MIGLIORATIVI DA NORMATIVA	NOME SITO	REGIONE	PROVINCIA	COMUNE
AQ_DO_MPDHP	C- P spacco	RICORSI E LISTATURE=1,2	Chiesa S. Domenico	Abruzzo	L'Aquila	L'Aquila
AQ_DO_MPDA	C- P spacco	RICORSI E LISTATURE=1,2	Chiesa S. Domenico	Abruzzo	L'Aquila	L'Aquila
AQ_DO_MPD1-2	C- P spacco	RICORSI E LISTATURE=1,2	Chiesa S. Domenico	Abruzzo	L'Aquila	L'Aquila
VR_CAP_POM1	C- P spacco	listature =1,1	Palazzo del Capitano	Veneto	Verona	Verona
VR_CAP_POM3	C- P spacco	listature =1,1	Palazzo del Capitano	Veneto	Verona	Verona
VR_CAP_P1M2	C- P spacco	listature =1,1	Palazzo del Capitano	Veneto	Verona	Verona
VR_CON_MPD1	C- P spacco	iniezione di miscele e leganti=1,5	Ex Convento	Veneto	Verona	Bardolino
VR_CON_MPD2	C- P spacco	Iniezione di miscele e leganti=1,5	Ex Convento	Veneto	Verona	Bardolino
VR_CON_MPD3	C- P spacco	iniezione di miscele e leganti=1,5	Ex Convento	Veneto	Verona	Bardolino
VR_CON_MPD4	C- P spacco	iniezione di miscele e leganti=1,5	Ex Convento	Veneto	Verona	Bardolino

- Dati generali relativi alle prove

ID_SCHEDA	E tang [MPa]	E sec [MPa]	v media (m/s)	Carico locale [Mpa]	Carico max [Mpa]	Carico PLAST [Mpa]	Carico PLAST ORIZZONTALE [Mpa]	ϵ snerv. (μ strain)
AQ_DO_MPDHP	4682	1815	1137	0,34	1,80	0,28	0,6	181,478
AQ_DO_MPDA	2960	962	994	0,23	1,50	0,3	0,3	179,672
AQ_DO_MPD1-2	2789	1055	1106	0,55	2,40	0,3	0,3	386,939
VR_CAP_POM1	2512	2888	1184	0,14	3	1,2	0,9	396,481
VR_CAP_POM3	1552	2296	-	0,3	4,5	0,6	0,3	347,384
VR_CAP_P1M2	3670	4080	-	0,39	2,72	0,6	0,7	668,99
VR_CON_MPD1	2480	3681	2546	-	2,4	0,6	0,3	141,22
VR_CON_MPD2	3439	4477	2824	-	1,5	0,7	0,46	100,178
VR_CON_MPD3	3147	4378	1883	-	1,8	0,94	0,47	196,685
VR_CON_MPD4	3470	4629	-	-	2,1	0,9	1,2	153,078

- Dati relativi alle prove (continuazione) :

ID_SCHEDA	Norma	Prove aggiuntive (*)	Etan MIN	EtanMAX	CATEGORIA
AQ_DO_MPDHP	RILEM	S-C-E	3520	5460	CHIESA
AQ_DO_MPDA	RILEM	S-C-E	2740	3450	CHIESA
AQ_DO_MPD1-2	RILEM	S-C-E	2080	3560	CHIESA
VR_CAP_POM1	RILEM	S	1315	3576	PALAZZO
VR_CAP_POM3	RILEM	-	592	2936	PALAZZO
VR_CAP_P1M2	RILEM	-	736	6578	PALAZZO
VR_CON_MPD1	RILEM	S	1169	5031	PALAZZO
VR_CON_MPD2	RILEM	S	1398	5935	PALAZZO
VR_CON_MPD3	RILEM	S	1103	6107	PALAZZO
VR_CON_MPD4	RILEM		805	7487	PALAZZO

(*) S = prove soniche , M = estrazione di malta , C = carotaggi , SC = prove sclerometriche , P = indagine mediante pacometro , PL = prova di pull out , TOM = prova tomografica sonica, E = indagine video endoscopica su solaio.

MURATURA IN PIETRAMME DISORDINATA ' A -P dis '

- Dati generali relativi al sito

ID_SCHEDA	TIPOLOGIA MURATURA	PARAMETRI MIGLIORATIVI DA NORMATIVA	NOME SITO	REGIONE	PROVINCIA	COMUNE
AQ_RE_MPD-B-5	A-P dis		Piazza della Repubblica	Abruzzo	L'Aquila	L'Aquila
AQ_RE_MPD-B-6	A-P dis		Piazza della Repubblica	Abruzzo	L'Aquila	L'Aquila
VR_BE_MPD1	A-P dis		Villa del Bene-Volargne	Veneto	Verona	Dolcè
VR_BE_MPD2	A-P dis		Villa del Bene-Volargne	Veneto	Verona	Dolcè
VR_PA_MPD1	A- P dis		Chiesa di S.Pietro e Paolo	Veneto	Verona	Marano Valpolicella
VR_PA_MPD2	A- P dis		Chiesa di S.Pietro e Paolo	Veneto	Verona	Marano Valpolicella
VI_MA_MPD1	A- P dis		Ex Macello	Veneto	Vicenza	Bassano del Grappa
VI_MA_MPD2	A- P dis		Ex Macello	Veneto	Vicenza	Bassano del Grappa

- Dati generali relativi alle prove

ID_SCHEDA	E tang [MPa]	E sec [MPa]	v media (m/s)	Carico locale [Mpa]	Carico max [Mpa]	Carico PLAST [Mpa]	Carico PLAST ORIZZONTALE [Mpa]
AQ_RE_MPD-B-5	2313	4024	1205	0,19	1,8	0,9	0,9
AQ_RE_MPD-B-6	4704	6250	690	2,14	3,5	2,1	2,1
VR_BE_MPD1	704	1530		0,58	2,7	0,6	0,6
VR_BE_MPD2	1271	2310		0,44	2,4	0,6	0,4
VR_PA_MPD1	454	1110		0,1	1,8	0,6	0,6
VR_PA_MPD2	1569	3601		0,19	1,5	0,3	0,6
VI_MA_MPD1	666	1597		-	1,2	0,3	0,3
VI_MA_MPD2	173	629		-	0,68	0,3	0,3

- Dati relativi alle prove (continuazione) :

ID_SCHEDA	Norma	Prove aggiuntive (*)	Etan MIN	EtanMAX	CATEGORIA
AQ_RE_MPD-B-5	RILEM	S	440	4560	PALAZZO
AQ_RE_MPD-B-6	RILEM	S	1280	6790	PALAZZO
VR_BE_MPD1	RILEM	-	318	1379	PALAZZO

VR_BE_MPD2	RILEM	-	143	2902	PALAZZO
VR_PA_MPD1	RILEM	-	318	1379	PALAZZO
VR_PA_MPD2	RILEM	-	143	2902	PALAZZO
VI_MA_MPD1	RILEM	-	168	852	PALAZZO
VI_MA_MPD2	RILEM	-	512	3129	PALAZZO

(*) S = prove soniche , M = estrazione di malta , C = carotaggi , SC = prove sclerometriche , P = indagine mediante pacometro , PL = prova di pull out , TOM = prova tomografica sonora, E = indagine video endoscopica su solaio.

3.9 LIMITI DELLE PROVE CON IL MARTINETTO PIATTO

Le prove di martinetto piatto possono essere considerate come le uniche prove “debolmente ” distruttive disponibili in sito e che possano proporre dei dati sufficientemente attendibili in merito alle caratteristiche meccaniche di tensione e deformazione delle strutture in muratura .

Poiché la muratura non è omogenea ma un materiale anisotropo e con notevoli variazioni all'interno dello stesso edificio indagato, risulta che le prove forniscono caratteristiche qualitative sulle murature in esame.

L'elaborazione dei dati emersi dalle prove e la loro interpretazione rappresenta un punto fondamentale per la comprensione degli effettivi dati del test : questi infatti sono influenzati da diversi fattori quali tipologia muraria, posizione di esecuzione del test, presenza di discontinuità all'interno dell'elemento murario.

La distribuzione delle tensioni non è uniforme lungo il taglio a causa degli effetti di bordo del taglio stesso e della maggiore rigidità del martinetto in prossimità delle saldature: si hanno spostamenti maggiori nella parte centrale del taglio sia nelle prove di martinetto piatto singolo che doppio. Questo comporta apparentemente una rigidità maggiore della muratura (nella prova di martinetto piatto doppio) nelle basi di misura laterali e vicine ai bordi del taglio, ed al contrario nelle basi poste centralmente rispetto al taglio, essendo ciò dovuto a disuniformi tensioni di compressione all'interno del pannello stesso.

Le prove non distruttive (prove soniche, radiografie, prove sclerometriche, etc..) sono indicate come complemento alle prove debolmente distruttive di martinetto piatto.

La combinazione di prove NDT con le altre tipologie consente pertanto di estendere i risultati quantitativi "puntuali" ad aree più vaste della struttura in esame .

4 ELABORAZIONE ED ANALISI DEI DATI

4.1 INTRODUZIONE

Le prove di martinetto piatto consentono di caratterizzare il comportamento e le caratteristiche meccaniche della muratura indagata con il fine di effettuarne una successiva catalogazione per la verifica sismica strutturale.

Il database costruito fornisce una notevole quantità di dati e di informazioni relative a ciascuna tipologia di muraria riscontrata.

I risultati complessivi più significativi delle prove condotte negli elementi in muratura sono i seguenti :

- modulo elastico tangente in fase di carico ' E_{tan} ' (N/mm²) ;
- modulo elastico secante in fase di scarico ' E_{sec} ' (N/mm²) ;
- carico massimo applicato ' σ_{max} ' (N/mm²) ;
- carico locale (N/mm²) ;
- step di carico ' $\Delta\sigma$ ' (N/mm²) .

I grafici riportati illustrano i risultati ottenuti in termini di rigidezza acquisita ,nei vari step di carico , calcolata sia sui rami di carico (E_{tan}) che nei rami di scarico (E_{sec}). Tali valori di rigidezza vengono successivamente paragonati con quelli il cui uso è prescritto dalla normativa vigente.

Inoltre, con lo scopo di individuare eventuali correlazioni tra le tensioni , le deformazioni e i moduli elastici sono stati determinati , per ciascuna tipologia muraria e ogni prova di martinetto piatto doppio:

- curve tensione – deformazione ;
- curve modulo elastico (secante e tangente) normalizzato – tensione applicata ;
- istogrammi del modulo elastico secante e tangente ;

Dal grafico comparativo emerge che le rigidezze risultano tendenzialmente superiori al valore massimo del range normativo.

In particolare per la categoria ‘mattoni pieni e malta di calce’ sono stati realizzati ulteriori grafici che mettano in relazione i valori del modulo elastico secante con la destinazione d’uso del manufatto e l’epoca di costruzione dello stesso.

4.2 MODULO ELASTICO E TIPOLOGIA DI MURATURA

Vengono successivamente comparati i valori emersi dalle prove con quelli suggeriti dalla normativa per le varie tipologie di muratura (Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009 - Suppl. Ordinario n. 27).

TIPOLOGIA DI MURATURA	Cod.	f_m (N/cm ²)	τ_0 (N/cm ²)	EMIN (N/mm ²)	EMAX (N/mm ²)	W (kN/m ³)
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	A- P dis	140	2,60	690	1050	19
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	B- P sbozz	250	4,30	1020	1440	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	C- P spacco	320	6,50	1500	1980	21
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	F - Matt	320	7,60	1200	1800	18

Tabella 4.1 : Tabella C8A2.1 riportata nella Circolare applicativa 2 delle norme tecniche per le costruzioni . Sono evidenziati i valori significativi della tipologia muraria ‘ Muratura in mattoni pieni e malta di calce ’ .

4.2.1 MURATURA IN PIETRAMA DISORDINATA

NOME SITO	codice prova	TIPOLOGIA	Etan medio (MPa)	Esec medio (MPa)
Piazza della Repubblica (AQ)	AQ_RE_MPD-B-5	A-P dis	2312,857	4024,286
	AQ_RE_MPD-B-6	A-P dis	4704,286	6250
Villa del Bene (VR)	VR_BE_MPD1	A-P dis	703,8571	1529,857
	VR_BE_MPD2	A-P dis	1271,143	2310
Chiesa di S.Pietro e Paolo (VR)	VR_PA_MPD1	A- P dis	454,1667	1109,667
	VR_PA_MPD2	A- P dis	1569	3601,4
Ex Macello (VI)	VI_MA_MPD1	A- P dis	666,25	1596,75
	VI_MA_MPD2	A- P dis	173,3333	629,3333

Tabella 4.2 : Valori medi del modulo elastico tangente in fase di carico e del modulo elastico secante in fase di scarico per la tipologia muraria ‘muratura in pietrame disordinata’ .

Dai dati ottenuti emerge che nelle prove di martinetto piatto si è superato il valore del modulo elastico proposto dalla normativa relativo alla categoria di muratura in esame superando in media di circa 2 volte in media il valore massimo proposto (1050 MPa) .

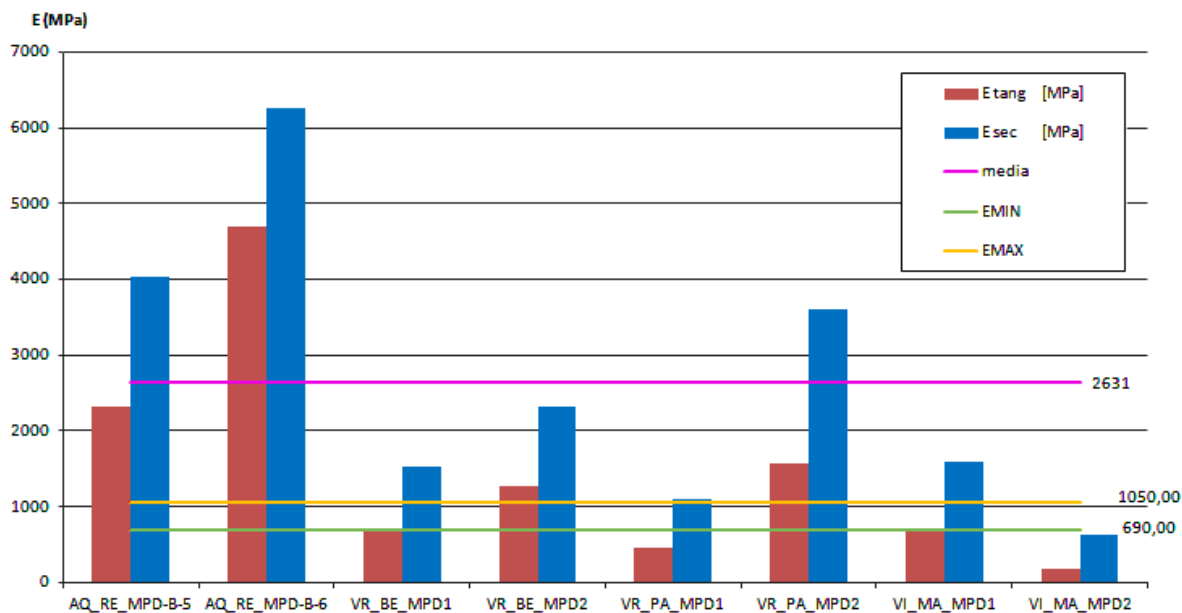


Figura 4.1 : Valori del modulo elastico tangente del modulo elastico secante per la tipologia muraria ‘muratura in pietrame disordinata’. La media è riferita al modulo secante.

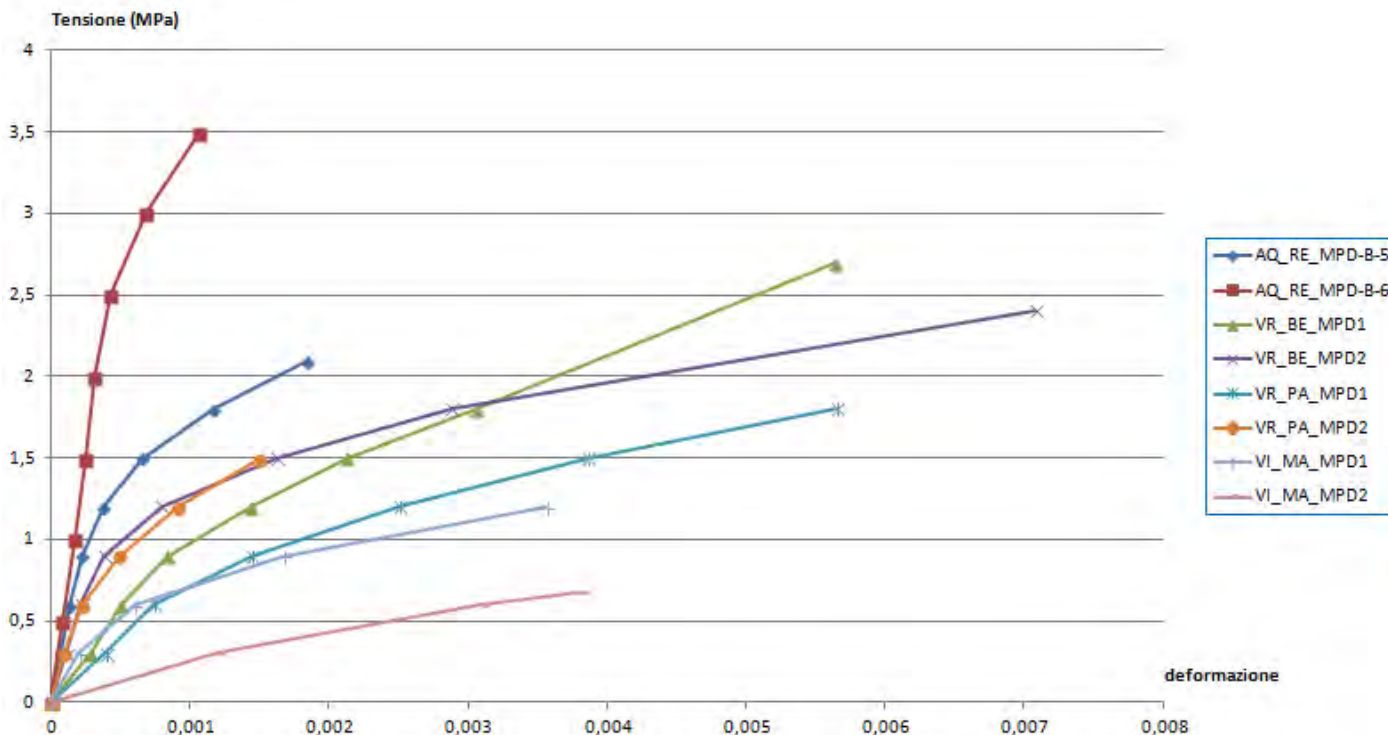


Figura 4.2 : Valori Curva tensione- deformazione delle prove di martinetto piatto doppio per la tipologia muraria ‘muratura in pietrame disordinata’.

La variazione del modulo elastico tangente in fase di carico in funzione dello stato di tensione sulla muratura presenta un andamento dapprima crescente e successivamente decrescente (Fig.4.3).

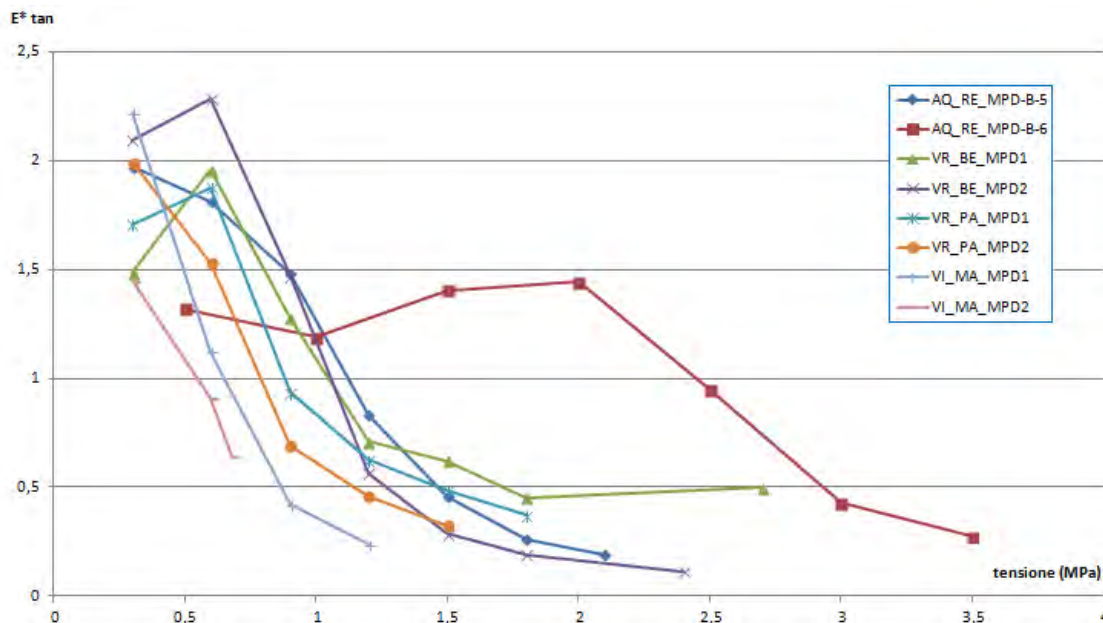


Figura 4.3 : Andamento del modulo tangente normalizzato in funzione della tensione delle prove di martinetto piatto doppio per la tipologia muraria ‘muratura in pietrame disordinata’ .

La variazione del modulo elastico secante in fase di scarico in funzione dello stato di tensione sulla muratura presenta un andamento meno variabile rispetto al modulo tangente (Fig.4.4).

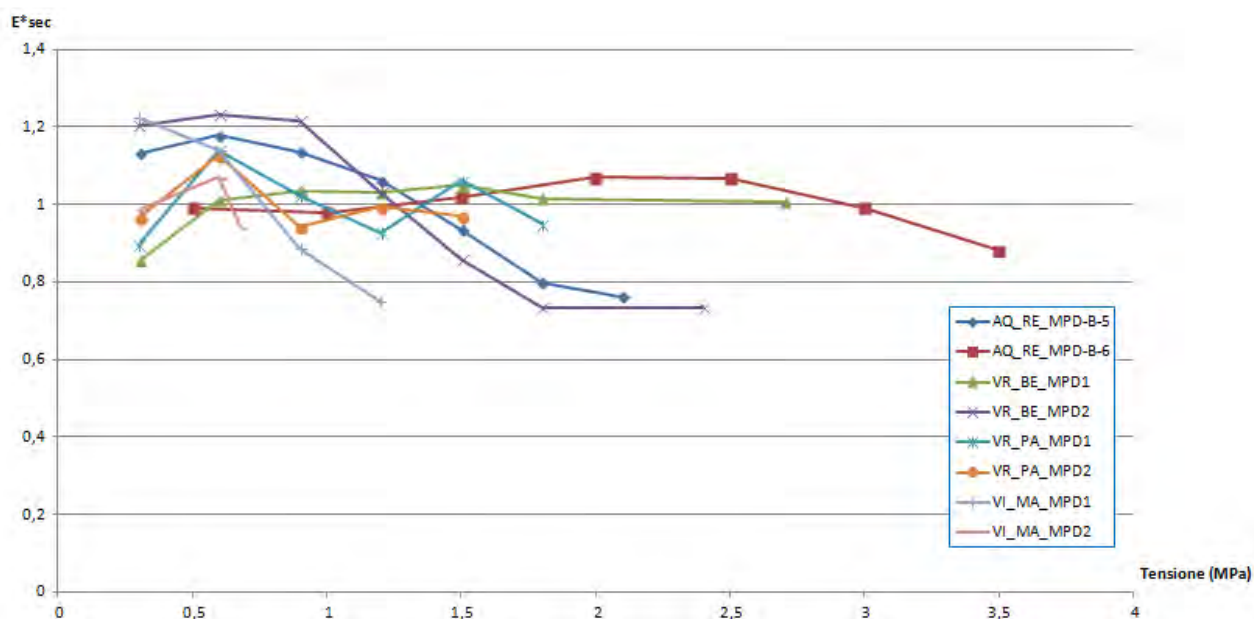


Figura 4.4 : Andamento del modulo secante normalizzato in funzione della tensione delle prove di martinetto piatto doppio per la tipologia muraria ‘muratura in pietrame disordinata’ .

4.2.2 MURATURA A CONCI SBOZZATI

NOME SITO	codice prova	TIPOLOGIA	Etan medio (MPa)	Esec medio (MPa)
Scuola media Ricci (BL)	BL_SC_MPD1	B- P sbozz	4040	12409
	BL_SC_MPD2	B- P sbozz	7872	11480
	BL_SC_MPD3	B- P sbozz	10128	11070
	BL_VI_MPD1	B- P sbozz	3911	5321
	BL_VI_MPD2	B- P sbozz	2345	3746
Chiesa di S.Domenico (AQ)	AQ_DO_MPDF	B- P sbozz	10008	4641
Palazzo del governo (AQ)	AQ_GO_MPD-D2	B- P sbozz	3775	4871
	AQ_GO_MPD-A2	B- P sbozz	3603	5340
Consorzio di Paola (AQ)	AQ_PA_MPDC	B- P sbozz	3295	5860
	AQ_PA_MPDnc	B- P sbozz	4614	6768
Palazzo Ducale (AQ)	AQ_TA_MPD1	B- P sbozz	6676	7744
	AQ_TA_MPD2	B- P sbozz	2254	7481
Polizia Penitenziaria (PD)	PD_PO_MPD1	B- P sbozz	1683	1908
	PD_PO_MPD3	B- P sbozz	607	1425
Scuola media D.Alighieri (VR)	VR_DA_MPD1	B- P sbozz	588	1316
Magazzini (VR)	VR_MA_MPD1	B- P sbozz	549	771
	VR_MA_MPD2	B- P sbozz	1392	2780
	VR_MA_MPD4	B- P sbozz	260	1648
	VR_MA_MPD21	B- P sbozz	266	964
	VR_MA_MPD23	B- P sbozz	1440	2001
	VR_MA_MPD24	B- P sbozz	2015	2939
Ex Magazzini(VR)	VR_M1_MPD1	B- P sbozz	3065	4034
	VR_M1_MPD2	B- P sbozz	1010	2065
	VR_M1_MPD3	B- P sbozz	3443	4081
	VR_M1_MPD4	B- P sbozz	1693	3872
	VR_M1_MPD5	B- P sbozz	5357	6580
	VR_M1_MPD6	B- P sbozz	2793	4156
Ex casa del Fascio (VI)	VI_FA_MPD1	B- P sbozz	621	2711
Ex Asilo Rossi (VI)	VI_RO_MPD1	B- P sbozz	610	2180
	VI_RO_MPD2	B- P sbozz	2543	6083
	VI_RO_MPD3	B- P sbozz	311	1880
	VI_RO_MPD4	B- P sbozz	1312	3638
	VI_RO_MPD5	B- P sbozz	1703	5101
	VI_RO_MPD6	B- P sbozz	676	3755

Tabella 4.3 : Valori medi del modulo elastico tangente in fase di carico e del modulo elastico secante in fase di scarico per la tipologia muraria 'muratura a conci sbozzata' .

Dai dati ottenuti emerge che nelle prove di martinetto piatto si è superato il valore del modulo elastico proposto dalla normativa relativo alla categoria di muratura in esame superando in media di circa 3 volte in media il valore massimo proposto (1440 MPa) .

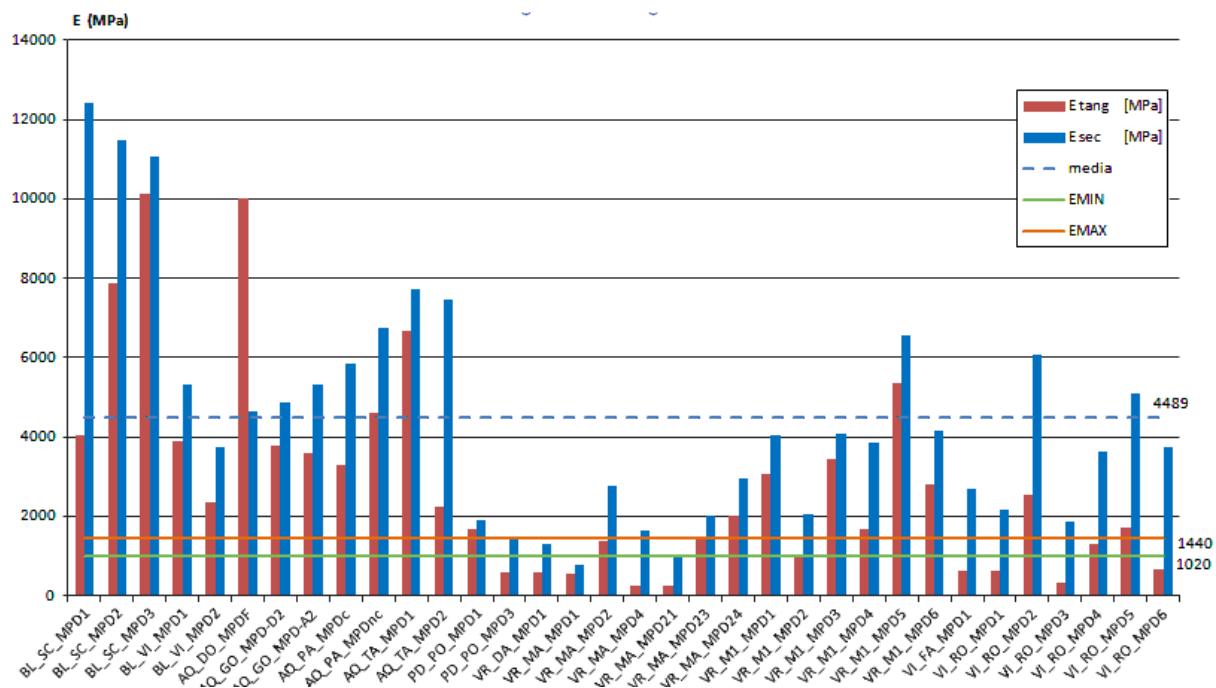


Figura 4.5 : Valori del modulo elastico tangente del modulo elastico secante per la tipologia muraria ‘muratura a conci sbazzata’. La media è riferita al modulo secante.

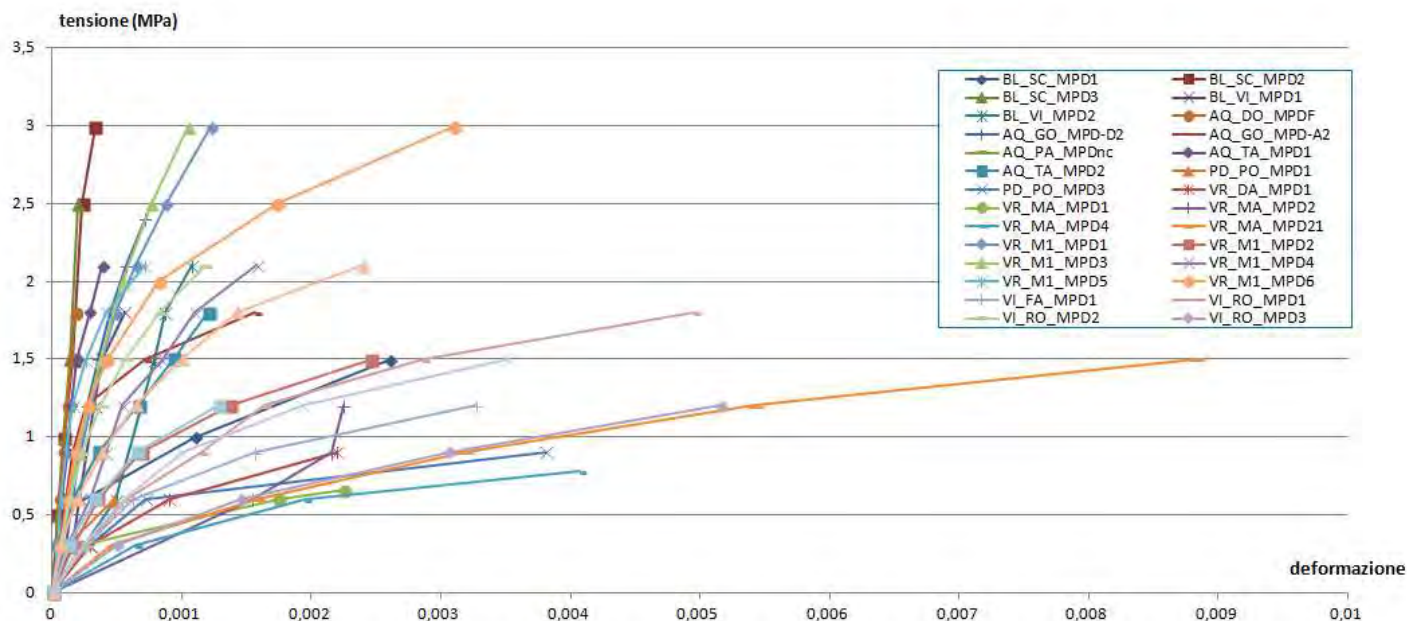


Figura 4.6 : Valori Curva tensione- deformazione delle prove di martinetto piatto doppio per la tipologia muraria ‘muratura a conci sbazzata’.

La variazione del modulo elastico tangente in fase di carico in funzione dello stato di tensione sulla muratura presenta un andamento dapprima crescente e successivamente decrescente (Fig.4.7).

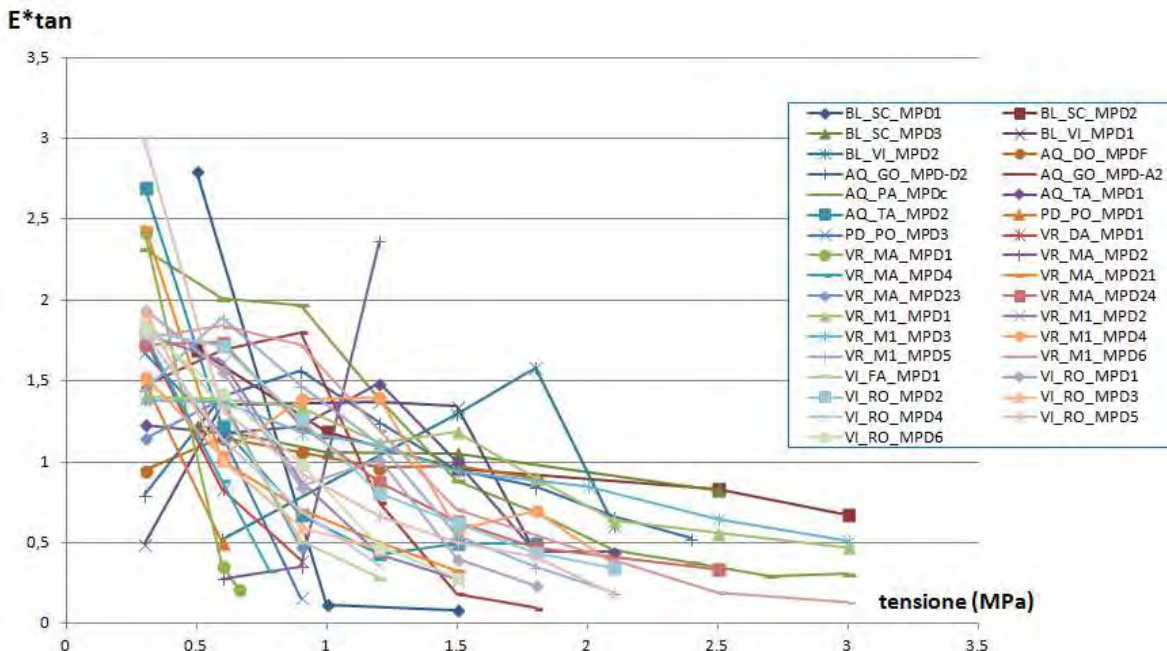


Figura 4.7 : Andamento del modulo tangente normalizzato in funzione della tensione delle prove di martinetto piatto doppio per la tipologia muraria ‘muratura a conci sbazzata’.

La variazione del modulo elastico secante in fase di scarico in funzione dello stato di tensione sulla muratura presenta un andamento meno variabile rispetto al modulo tangente (Fig.4.8).

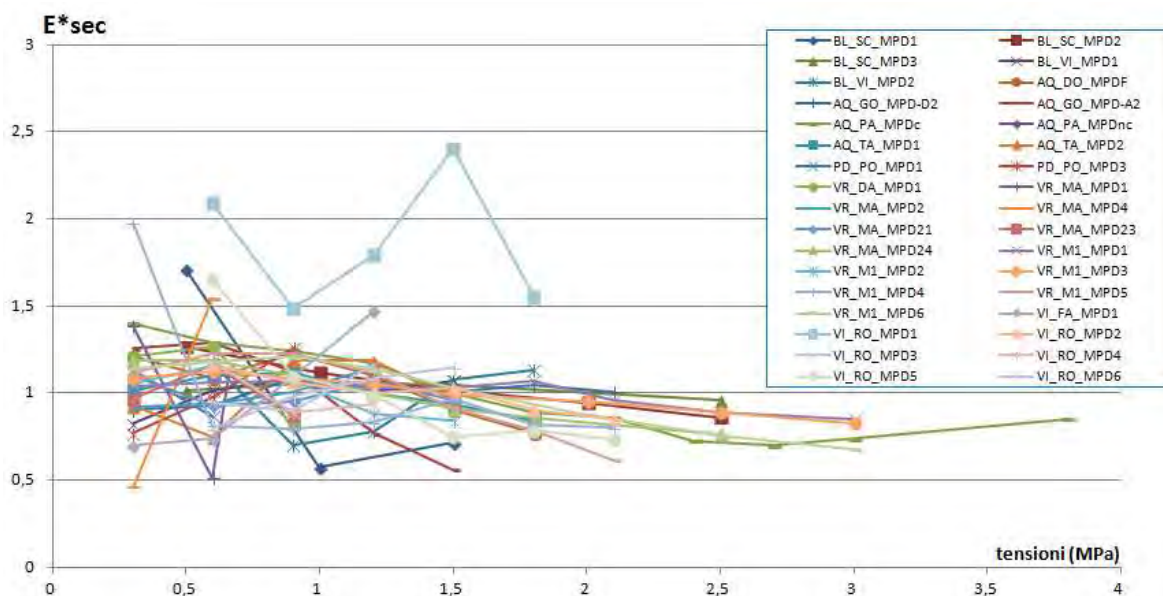


Figura 4.8 : Andamento del modulo secante normalizzato in funzione della tensione delle prove di martinetto piatto doppio per la tipologia muraria ‘muratura a conci sbazzata’.

4.2.3 MURATURA IN PIETRE A SPACCO

NOME SITO	codice prova	TIPOLOGIA	Etan medio (MPa)	Esec medio (MPa)
Chiesa di S.Domenico (AQ)	AQ_DO_MPDHP	C- P spacco	4682	1815
	AQ_DO_MPDA	C- P spacco	2960	962
	AQ_DO_MPD1-2	C- P spacco	2789	1055
Palazzo del Capitano (VR)	VR_CAP_POM1	C- P spacco	2512	2888
	VR_CAP_POM3	C- P spacco	1552	2296
	VR_CAP_P1M2	C- P spacco	3670	4080
Ex convento (VR)	VR_CON_MPD1	C- P spacco	2480	3681
	VR_CON_MPD2	C- P spacco	3439	4477
	VR_CON_MPD3	C- P spacco	3147	4378
	VR_CON_MPD4	C- P spacco	3470	4629

Tabella 4.4 : Valori medi del modulo elastico tangente in fase di carico e del modulo elastico secante in fase di scarico per la tipologia muraria ‘muratura in pietre a spacco’.

Dai dati ottenuti emerge che nelle prove di martinetto piatto si è superato il valore del modulo elastico proposto dalla normativa relativo alla categoria di muratura in esame superando in media di circa 1,5 volte in media il valore massimo proposto (1980 MPa).

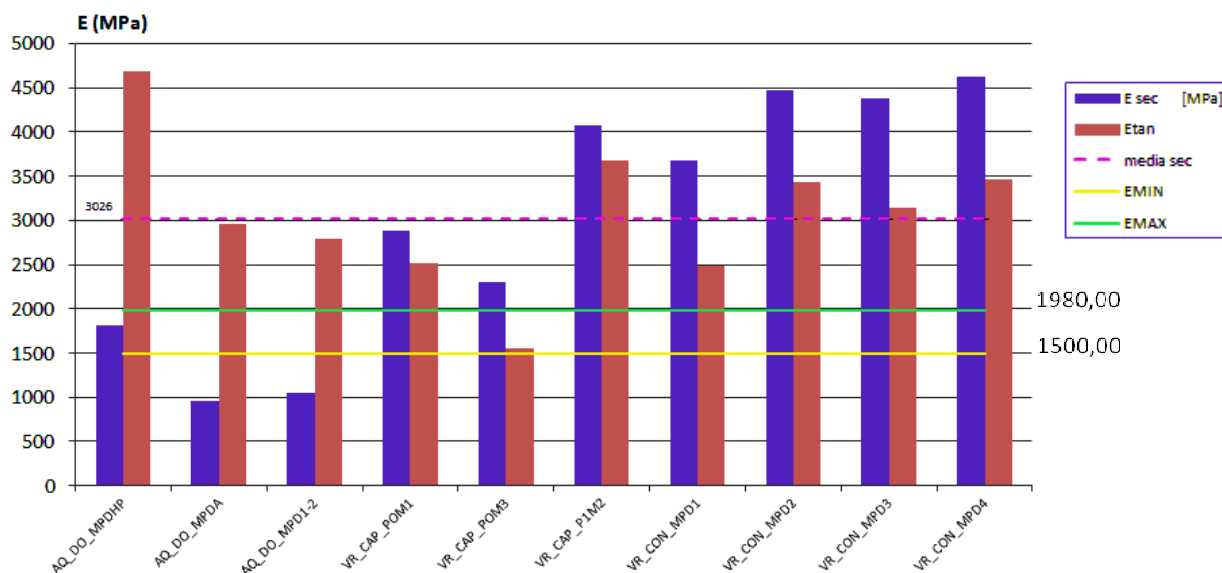


Figura 4.9 : Valori del modulo elastico tangente del modulo elastico secante per la tipologia muraria ‘muratura in pietre a spacco’. La media è riferita al modulo secante.

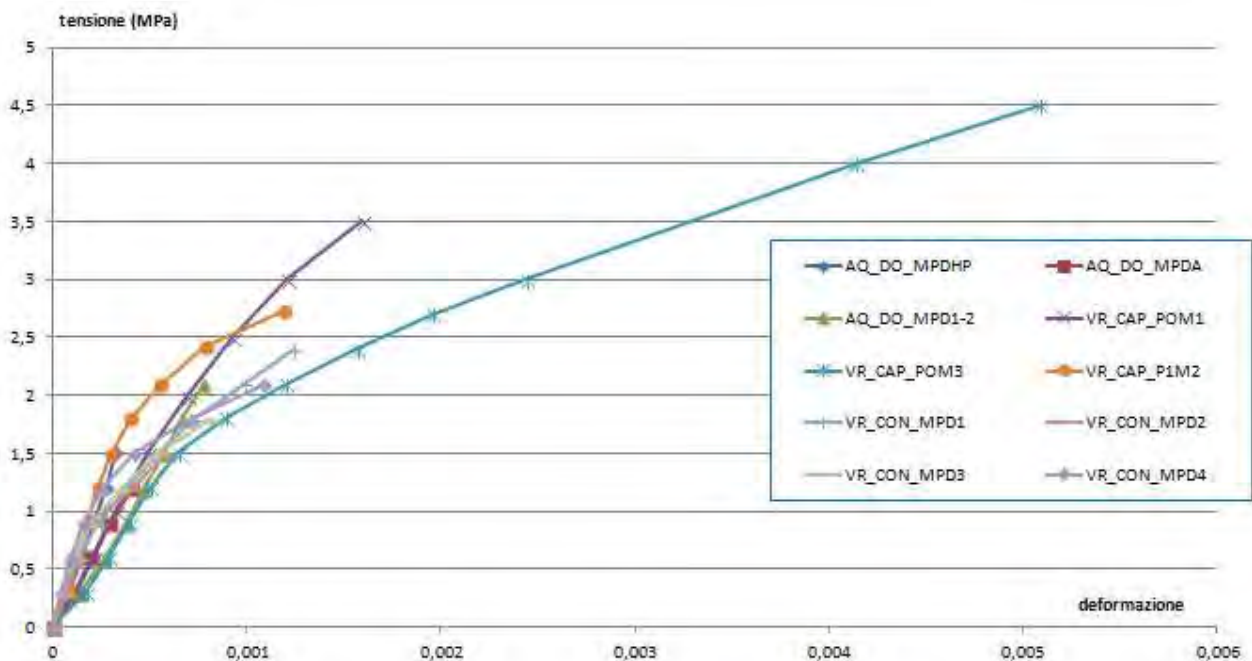


Figura 4.10 : Valori Curva tensione- deformazione delle prove di martinetto piatto doppio per la tipologia muraria ‘muratura in pietre a spacco’.

La variazione del modulo elastico tangente in fase di carico in funzione dello stato di tensione sulla muratura presenta un andamento dapprima crescente e successivamente decrescente (Fig.4.11).

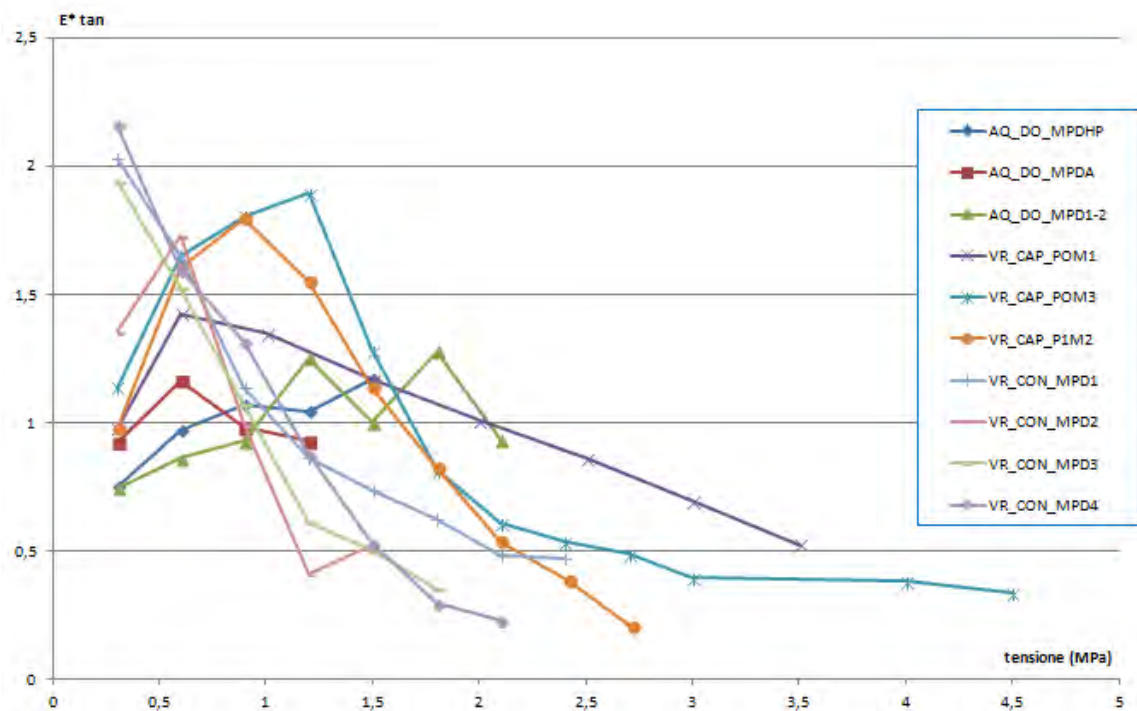


Figura 4.11 : Andamento del modulo tangente normalizzato in funzione della tensione delle prove di martinetto piatto doppio per la tipologia muraria ‘muratura in pietre a spacco’.

La variazione del modulo elastico secante in fase di scarico in funzione dello stato di tensione sulla muratura presenta un andamento meno variabile rispetto al modulo tangente (Fig.4.12).

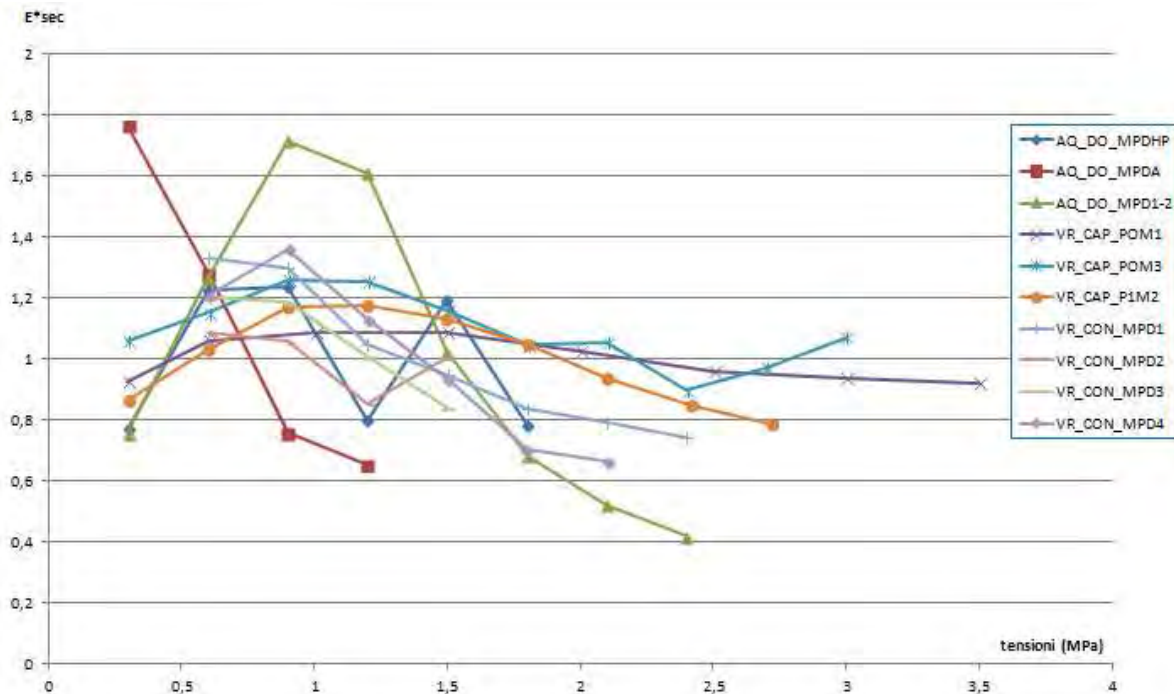


Figura 4.12 : Andamento del modulo secante normalizzato in funzione della tensione delle prove di martinetto piatto doppio per la tipologia muraria 'muratura in pietre a spacco '.

4.2.4 MURATURA IN MATTONI PIENI E MALTA DI CALCE

NOME SITO	codice prova	TIPOLOGIA	Etan medio (MPa)	Esec medio (MPa)
Chiesa di S.Domenico (AQ)	AQ_DO_MPD R	F - Matt	3208	1511
	AQ_DO_MPD1-4	F - Matt	2478	1143
Centrale Idrovora S.Siro (MN)	MN_BE_MPD3	F - Matt	5275	6279
	MN_BE_MPD1	F - Matt	13168,63	12454,63
	MN_BE_MPD2	F - Matt	9197,25	10270,75
Centrale Idrovora Mondine (MN)	MN_MO_MPD1	F - Matt	7005	7347
	MN_MO_MPD2	F - Matt	8403	7407
Agriturismo (MN)	MN_QU_MPD1	F - Matt	1256	2529
	MN_QU_MPD2	F - Matt	3054	5407
Palazzo (MO)	MO_PA_MPD1	F - Matt	3921	3444
	MO_PA_MPD2	F - Matt	602	2655
	MO_PA_MPD3	F - Matt	1389	1525
Tempio di S. Nicolò (MO)	MO_TEM_MPD1	F - Matt	1182	1620
Proprietà Terzi (MO)	MO_TER_MPD1	F - Matt	5712	5493

	MO_TER_MPD2	F - Matt	2910	3964
Castello carrarese (PD)	PD_CAR_MP1	F - Matt	4015	5457
	PD_CAR_MP2	F - Matt	2108	2257
	PD_CAR_MP3	F - Matt	1734	2000
	PD_PO_MPD2	F - Matt	1335	2251
Duomo di Guastalla (RE)	RE_GU_MPD4	F - Matt	2164	3026
	RE_GU_MPD6	F - Matt	1269	1937
Casa Albino (TV)	TV_AL_MPD1	F - Matt	2359	4170
	TV_AL_MPD2	F - Matt	2892	4043
Chiesa di S.Margherita (TV)	TV_SA_MPD1	F - Matt	3502	4675
	TV_SA_MPD2	F - Matt	2062	4173
Ponte della Libertà (VE)	VE_PO_MPD1	F - Matt	3562	4585
	VE_PO_MPD2	F - Matt	5260	6098
	VE_PO_MPD3	F - Matt	8750	10384
	VE_PO_MPD4	F - Matt	2913	4126
Scuola media Ungaretti (VE)	VE_UN_MPD1	F - Matt	10719	10558
	VE_UN_MPD3	F - Matt	9022	8438
Palazzo del Capitano (VR)	VR_CAP_POM2	F - Matt	1020	1766
	VR_CAP_POM4	F - Matt	2850	4628
	VR_CAP_P1M1	F - Matt	1505	2211
	VR_CAP_P1M3	F - Matt	510	1028
Scuola media D. Alighieri (VR)	VR_DA_MPD2	F - Matt	2828	4249
Magazzini (VR)	VR_MA_MPD2.1	F - Matt	441	1232
	VR_MA_MPD3	F - Matt	1130	1648
	VR_MA_MPD22	F - Matt	8199	7684
Funicolare Castel S.Pietro (VR)	VR_PI_MPD1	F - Matt	2498	3274
Ponte delle barche (VI)	VI_BA_MP1	F - Matt	3162	4223
Biblioteca Bertoliana (VI)	VI_BI_MPDSG1	F - Matt	643	1290
	VI_BI_MPDSG2	F - Matt	1140	2550
	VI_BI_MPDC1	F - Matt	761	1761
	VI_BI_MPDC2	F - Matt	1320	2398

Tabella 4.5 : Valori medi del modulo elastico tangente in fase di carico e del modulo elastico secante in fase di scarico per la tipologia muraria 'muratura in pietre a spacco' .

Dai dati ottenuti emerge che nelle prove di martinetto piatto si è superato il valore del modulo elastico proposto dalla normativa relativo alla categoria di muratura in esame superando in media di circa 2 volte in media il valore massimo proposto (1800 MPa) .

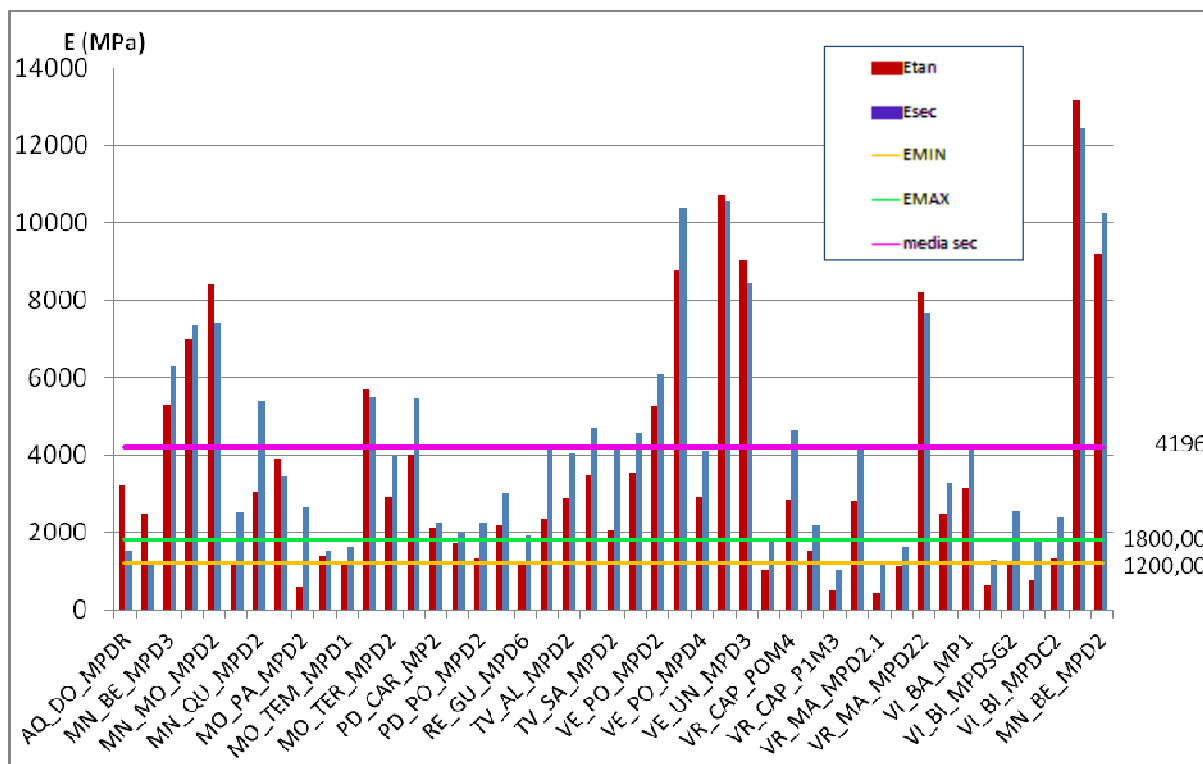


Figura 4.13 : Valori del modulo elastico tangente del modulo elastico secante per la tipologia muraria 'muratura in mattoni pieni e malta di calce'. La media è riferita al modulo secante.

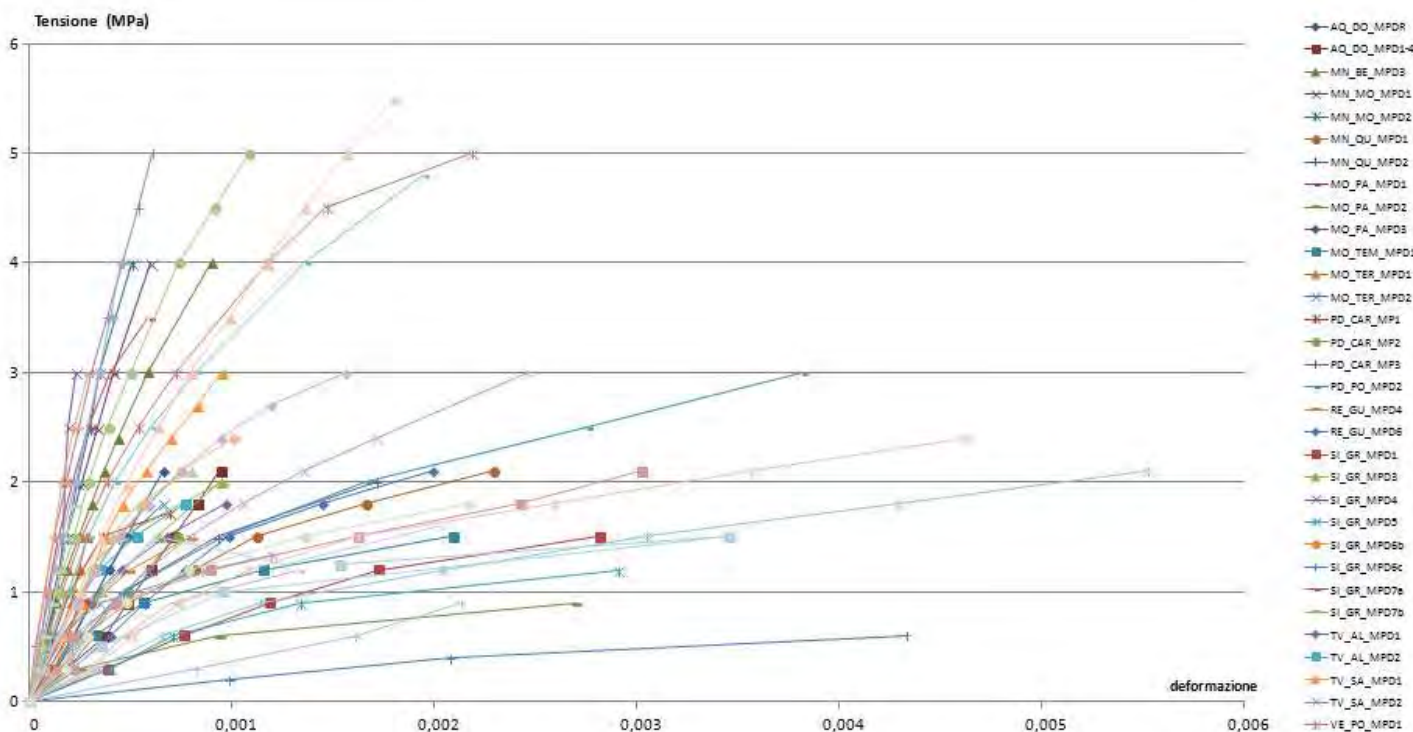


Figura 4.14 : Valori Curva tensione- deformazione delle prove di martinetto piatto doppio per la tipologia muraria 'muratura in mattoni pieni e malta di calce'. La media è riferita al modulo secante.

La variazione del modulo elastico tangente in fase di carico in funzione dello stato di tensione sulla muratura presenta un andamento dapprima crescente e successivamente decrescente (Fig.4.15).

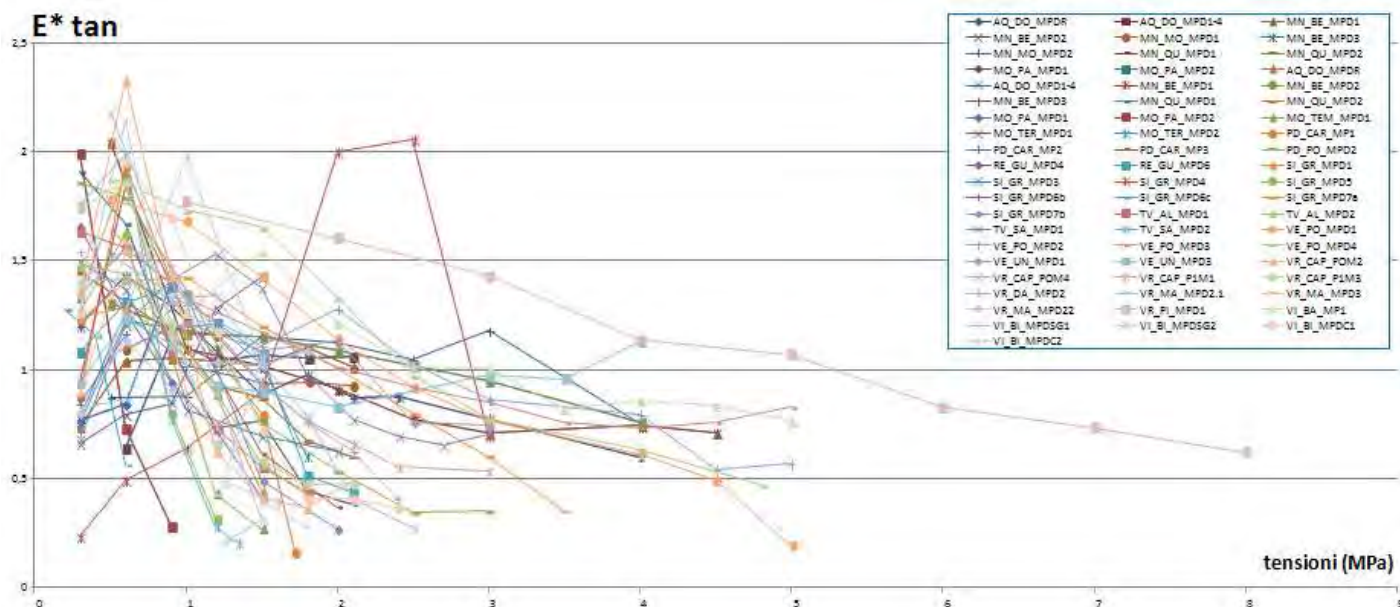


Figura 4.15 : Andamento del modulo tangente normalizzato in funzione della tensione delle prove di martinetto piatto doppio per la tipologia muraria ‘muratura in mattoni pieni e malta di calce’.

La variazione del modulo elastico secante in fase di scarico in funzione dello stato di tensione sulla muratura presenta un andamento meno variabile rispetto al modulo tangente (Fig.4.16).

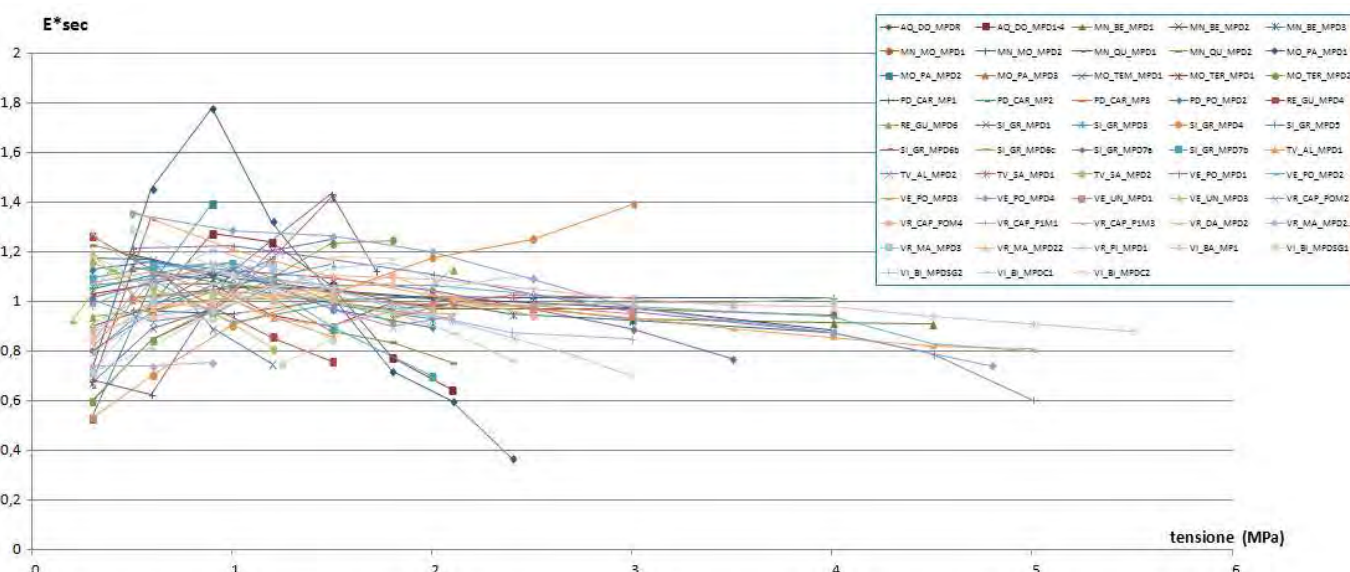


Figura 4.16 : Andamento del modulo secante normalizzato in funzione della tensione delle prove di martinetto piatto doppio per la tipologia muraria ‘muratura in mattoni pieni e malta di calce’.

4.3 MURATURA IN MATTONI PIENI E MALTA DI CALCE

4.3.1 MODULI ELASTICI ED EPOCHE DI COSTRUZIONE

Si è focalizzata l'attenzione sui campioni di muratura catalogati con la sigla ' F - Matt ', ovvero 'Muratura in mattoni pieni e malta di calce', in quanto sono in numero considerevole rispetto a quelli appartenenti alle altre categorie.

Si richiama la tabella presente nella Circolare Applicativa delle ' Nuove norme tecniche per le costruzioni ' (D.M. 14 gennaio 2008).

Tabella C8A.2.1 - Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura, riferiti alle seguenti condizioni: malta di caratteristiche scarse, assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, muratura non consolidata, tessitura (nel caso di elementi regolari) a regola d'arte; f_m = resistenza media a compressione della muratura, τ_0 = resistenza media a taglio della muratura, E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio della muratura

Tipologia di muratura	f_m	τ_0	E	G	w
	(N/cm ²)	(N/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240	6,0	1200	400	18
	400	9,2	1800	600	

Fig. 4.6 : Tabella C8A2.1 riportata nella Circolare applicativa 2 delle norme tecniche per le costruzioni . Sono evidenziati i valori significativi della tipologia muraria ' Muratura in mattoni pieni e malta di calce ' .

Per ovviare alla ' dispersione ' riscontrata nei dati si sono introdotti dei parametri , separando così i risultati ottenuti in diverse categorie in modo da valutare l'effetto sugli stessi. Le categorie individuate sono le seguenti :

- destinazione d'uso dei manufatti :

DESTINAZIONE D'USO	
EDIFICIO	PONTE
Chiesa	
Palazzo	

Tabella 4.7 : Legenda per la classificazione delle prove in base alla destinazione d'uso del manufatto

- epoca del manufatto :

EPOCA	DATA
A	ante 1600
B	1600-1850
C	post 1850

Tabella 4.8 : Legenda per la classificazione delle prove in base alle epoche di costruzione e relativi intervalli temporali.

Nelle statistiche ottenute sono stati scartati i dati in cui si sono riscontrate anomalie , dovute, per esempio, a rotazioni rigide dei conci , allo scorrimento lungo i giunti di malta, alla malta altamente deformabile e al giunto di elevato spessore e deformabilità. Per le prove di martinetto piatto di ciascun caso è stata effettuata una media dei moduli elastici secanti in fase di scarico e dei moduli elastici tangenti rispettivamente nei cicli di scarico e di carico.

Si riportano nella tabella 4.9 le prove disposte in ordine crescente secondo il valore del modulo elastico secante medio in fase di scarico (E_{sec} medio) e il relativo istogramma.

NOME SITO	E_{sec} medio (MPa)	DESTINAZIONE D'USO	EPOCA	DATA
Chiesa di S. Domenico (AQ)	1327,29	CHIESA	A	1400
Chiesa di S. Nicolò (MO)	1620,00	CHIESA	A	1494-1516
Biblioteca Bertoliana (VI)	1999,69	PALAZZO	B	1706
Polizia Penitenziaria (PD)	2250,86	PALAZZO	A	1374
Palazzo del Capitano (VR)	2408,38	PALAZZO	A	1363
Cattedrale di S.Pietro (RE)	2481,57	CHIESA	A	1575
Palazzo (MO)	2541,33	PALAZZO	C	XX sec.
Castello Carrarese (PD)	3238,35	PALAZZO	A	1450-1616
Funicolare Castel S.Pietro (VR)	3274,20	PALAZZO	C	1920
Magazzini (VR)	3521,33	PALAZZO	C	1920
Agriturismo (MN)	3968,36	PALAZZO	C	XIX sec.
Casa Albino (TV)	4106,20	PALAZZO	C	XX sec.
Ponte delle Barche(VI)	4223,10	PONTE	A	epoca romana
Scuola media'Dante A.'(VR)	4248,50	PALAZZO	C	XX sec.
Chiesa di S.Margherita (TV)	4424,13	CHIESA	C	1950
Proprietà Terzi (MO)	4728,33	PALAZZO	C	XX sec.
Centrale Idrovora S.Siro (MN)*	6278,90	PONTE	C	1927
Ponte della Libertà (VE)	6297,86	PONTE	C	1846-1931
Centrale Idrovora Mondine (MN)	7377,00	PALAZZO	C	1922

Scuola media 'G.Ungaretti'(VR)	9498,08	PALAZZO	C	1950
Centrale Idrovora S.Siro (MN)	11362,69	PALAZZO	C	1926
MEDIA	4341,72			

* prova effettuata su un campione di muratura disposto sulla chiavica

Tabella 4.9 : Prove disposte in ordine crescente per i valori di modulo elastico secante medio.

Si nota come il valore medio del modulo secante medio in fase di scarico per i manufatti analizzati è pari a 4341,72 MPa , ovvero circa 2,41 volte superiore rispetto al valore massimo suggerito dalla normativa (1800 MPa).

Modulo elastico secante medio ed epoche di costruzione

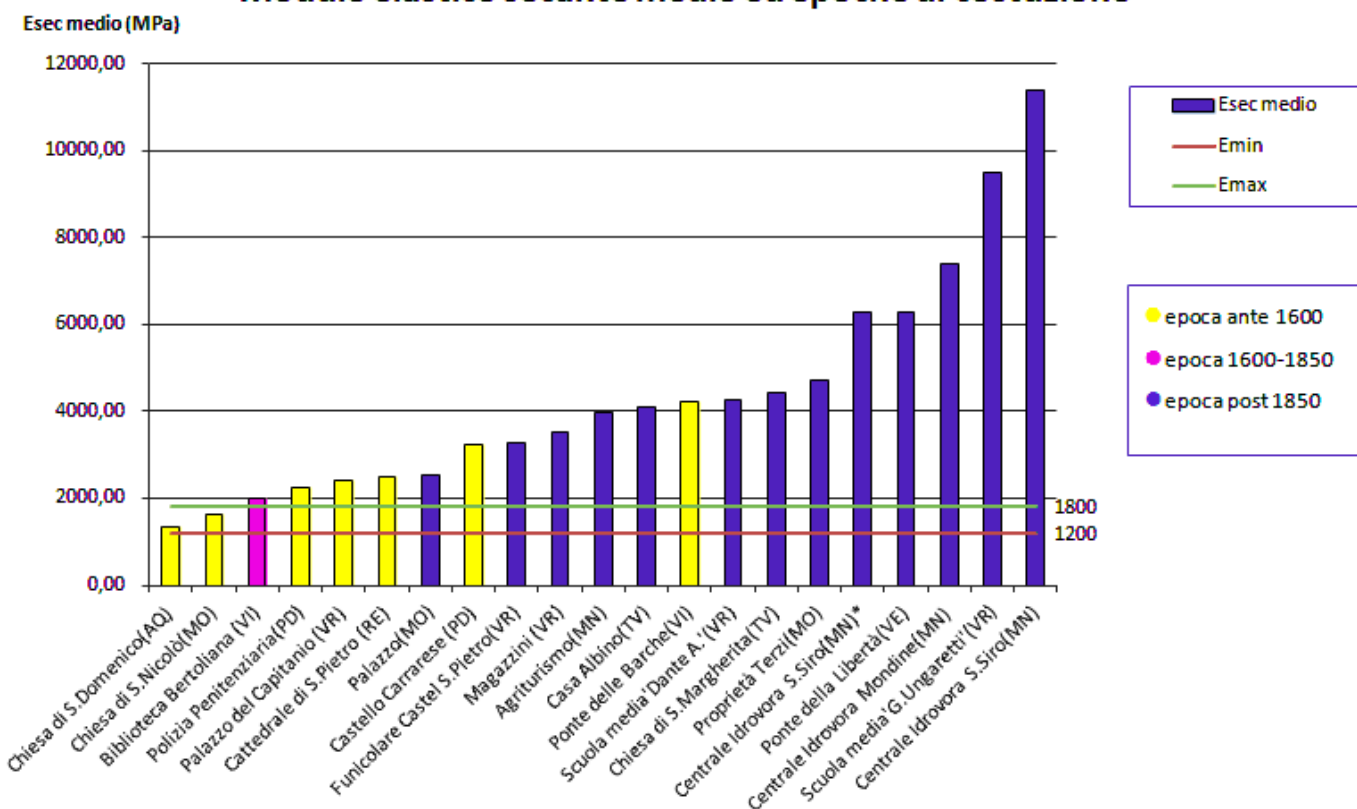


Figura 4.17 : Modulo elastico secante medio ed epoche di costruzione. Confronto fra i valori delle prove effettuate su campioni appartenenti della categoria ' Mattoni pieni e malta di calce' con il martinetto piatto doppio.

Le strutture analizzate sono state poi suddivise in base alla categoria ' destinazione d'uso ' (edificio e ponte) e successivamente è stata fatta una distinzione per 'epoca del manufatto' (A,B,C).

Nella seguente tabella e nel grafico successivo sono stati ordinati i casi appartenenti alla categoria 'edifici' - suddivisa a sua volta in 'chiesa' e 'palazzo' - per valori crescenti del modulo elastico secante medio in fase di scarico.

NOME SITO	Esec medio (MPa)	DESTINAZIONE D'USO	EPOCA	DATA
Chiesa di S.Domenico(AQ)	1327,29	CHIESA	A	1400
Chiesa di S. Nicolò(MO)	1620,00	CHIESA	A	1494-1516
Biblioteca Bertoliana (VI)	1999,69	PALAZZO	B	1706
Polizia Penitenziaria(PD)	2250,86	PALAZZO	A	1374
Palazzo del Capitano (VR)	2408,38	PALAZZO	A	1363
Cattedrale di S.Pietro (RE)	2481,57	CHIESA	A	1575
Palazzo(MO)	2541,33	PALAZZO	C	XX
Castello Carrarese (PD)	3238,35	PALAZZO	A	1450-1616
Funicolare Castel S.Pietro(VR)	3274,2	PALAZZO	C	1920
Magazzini (VR)	3521,33	PALAZZO	C	1920
Agriturismo(MN)	3968,36	PALAZZO	C	XX
Casa Albino(TV)	4106,20	PALAZZO	C	XX
Scuola media'Dante A.'(VR)	4248,50	PALAZZO	C	XX
Chiesa di S.Margherita(TV)	4424,13	CHIESA	C	1950
Proprietà Terzi(MO)	4728,33	PALAZZO	C	XX
Centrale Idrovora Mondine(MN)	7377	PALAZZO	C	1922
Scuola media'G.Ungaretti'(VR)	9498,08	PALAZZO	C	1950
Centrale Idrovora S.Siro(MN)	11362,69	PALAZZO	C	1926
MEDIA	4132,02			

Tabella 4.10 : Prove disposte in ordine crescente per i valori di modulo elastico secante medio.

Si nota come il valore medio del modulo secante medio in fase di scarico per i manufatti analizzati è pari a 4132,02 MPa , ovvero circa 2,41 volte superiore rispetto al valore massimo suggerito dalla normativa (1800 MPa).

Modulo elastico secante medio ed epoche di costruzione Confronto fra i valori di edifici appartenenti alla categoria 'CHIESA' e 'PALAZZO'

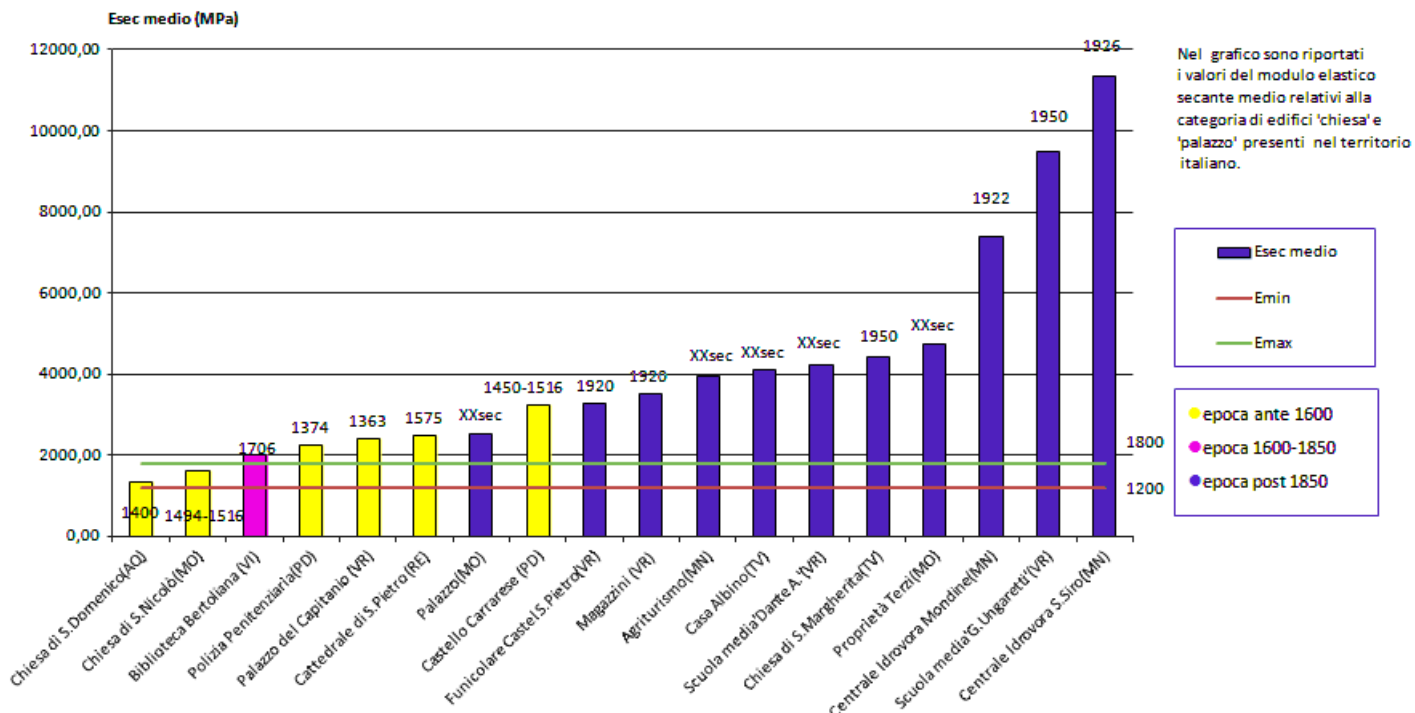


Figura 4.18 : Modulo elastico secante medio ed epoche di costruzione. Confronto fra i valori delle prove effettuate su campioni appartenenti della categoria ' CHIESA ' e ' PALAZZO '.

In seguito si è proseguito con una catalogazione più specifica soffermando l'attenzione sulle regioni Veneto ed Emilia - Romagna.

Regione Veneto

NOME SITO - REGIONE VENETO-	Esec medio (MPa)	DESTINAZIONE D'USO	EPOCA	DATA
Biblioteca Bertoliana (VI)	1999,69	PALAZZO	B	1706
Polizia Penitenziaria (PD)	2250,86	PALAZZO	A	1374
Palazzo del Capitano (VR)	2408,38	PALAZZO	A	1363
Castello Carrarese (PD)	3238,35	PALAZZO	A	1450-1616
Funicolare Castel S. Pietro (VR)	3274,2	PALAZZO	C	1920
Magazzini (VR)	3521,33	PALAZZO	C	1920
Casa Albino (TV)	4106,20	PALAZZO	C	XX
Chiesa di S. Margherita (TV)	4424,13	CHIESA	C	1950
Scuola media 'G. Ungaretti' (VR)	9498,08	PALAZZO	C	1950
MEDIA	3857,91			

Tabella 4.11 : Prove disposte in ordine crescente per i valori di modulo elastico secante medio relativi alla Regione Veneto.

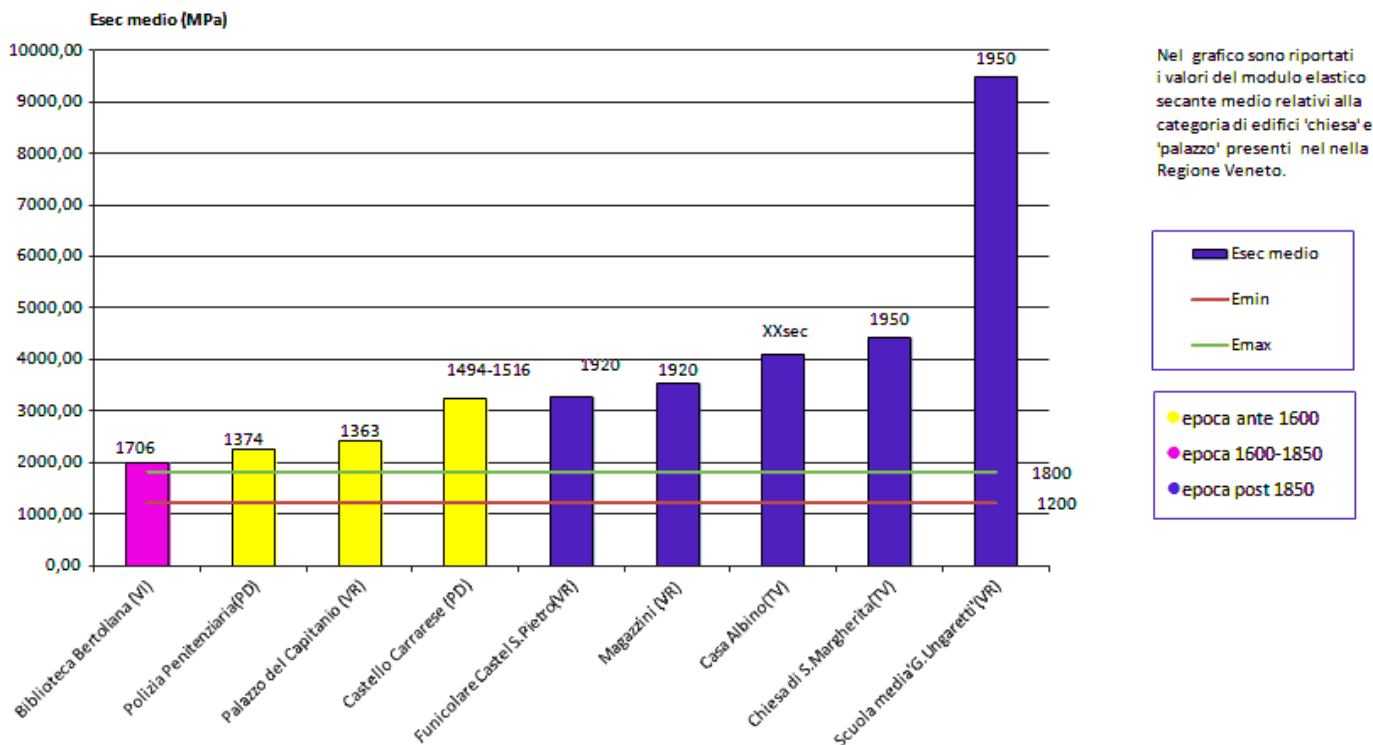


Figura 4.19 : Modulo elastico secante medio ed epoche di costruzione. Confronto fra i valori delle prove effettuate su campioni appartenenti della categoria ' CHIESA ' e ' PALAZZO ' nella Regione Veneto. Sono riportate le date di costruzione di ciascun edificio.

L' andamento del valore medio del modulo elastico secante in fase di scarico è crescente ed in linea con quello della categoria temporale. L'unica eccezione è data dalla Biblioteca Bertoliana di Vicenza, il cui valore è analogo a quello della Polizia Penitenziaria di Padova la cui data di costruzione risale al 1374. Il valore medio del modulo secante medio per i manufatti analizzati è pari a 3857,91 MPa , ovvero circa 2,14 volte superiore rispetto al valore massimo suggerito dalla normativa (1800 MPa).

Regione Emilia - Romagna

NOME SITO – REGIONE EMILIA ROMAGNA-	Esec medio (MPa)	DESTINAZIONE D'USO	EPOCA	DATA
Chiesa di S. Nicolò(MO)	1620,00	CHIESA	A	1494-1516
Cattedrale di S.Pietro (RE)	2481,57	CHIESA	A	1575
Palazzo(MO)	2541,33	PALAZZO	C	XX
Agriturismo(MN)	3968,36	PALAZZO	C	XX
Proprietà Terzi(MO)	4728,33	PALAZZO	C	XX
Centrale Idrovora Mondine(MN)	7377	PALAZZO	C	1922
Centrale Idrovora S.Siro(MN)	11362,69	PALAZZO	C	1926
MEDIA	4868,47			

Tabella 4.12 : Prove disposte in ordine crescente per i valori di modulo elastico secante medio relativi alla Regione Emilia - Romagna .

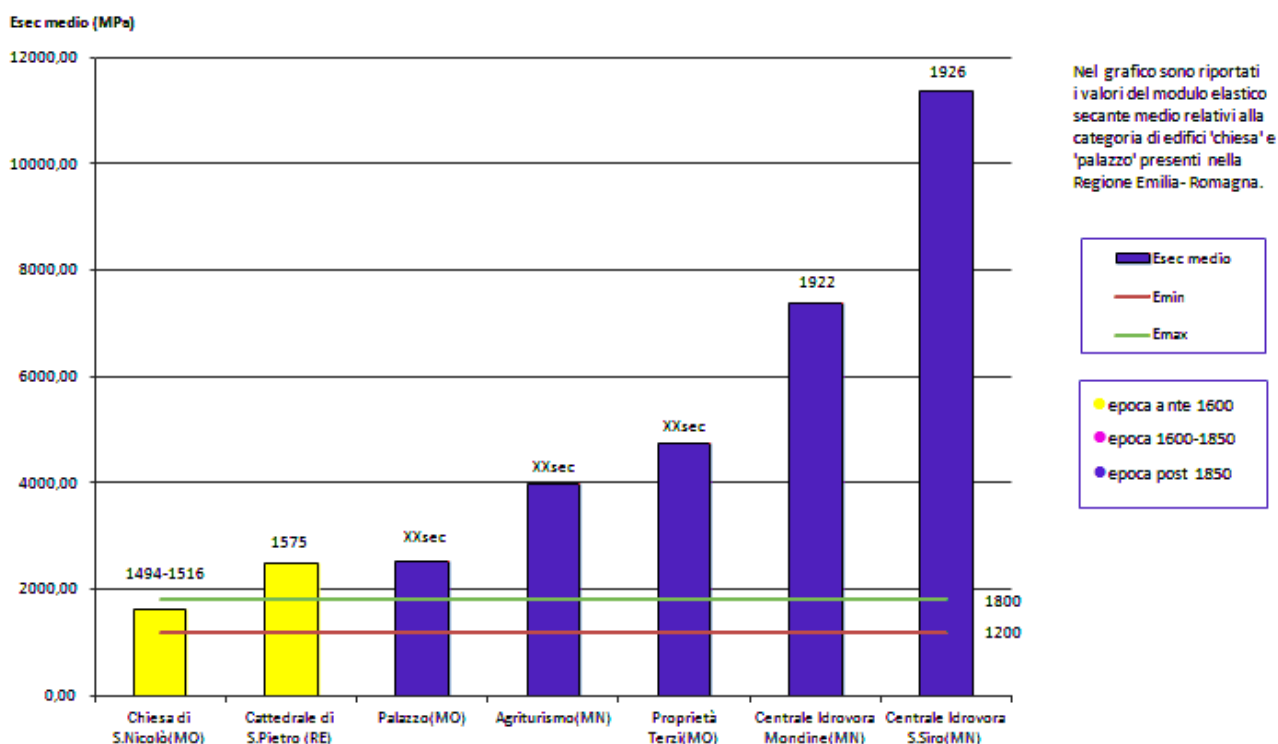


Figura 4.20 : Modulo elastico secante medio ed epoche di costruzione. Confronto fra i valori delle prove effettuate su campioni appartenenti della categoria “ CHIESA ’ e ‘ PALAZZO ’ nella Regione Emilia - Romagna.

Si nota che il valore medio del modulo elastico secante in fase di scarico ha un andamento crescente in linea con quello della categoria temporale.

Si ha una netta separazione fra gli edifici costruiti prima del 1600 a cui corrisponde un modulo secante inferiore a 2500 MPa e gli edifici costruiti dopo il 1850 , invece con valori maggiori di 2500 MPa .

Il valore medio del modulo secante medio per i manufatti analizzati è pari a 4868,47 MPa , ovvero circa 2,70 volte superiore rispetto al valore massimo suggerito dalla normativa (1800 MPa).

Analogamente accade analizzando separatamente le chiese e i palazzi .

Regione Veneto

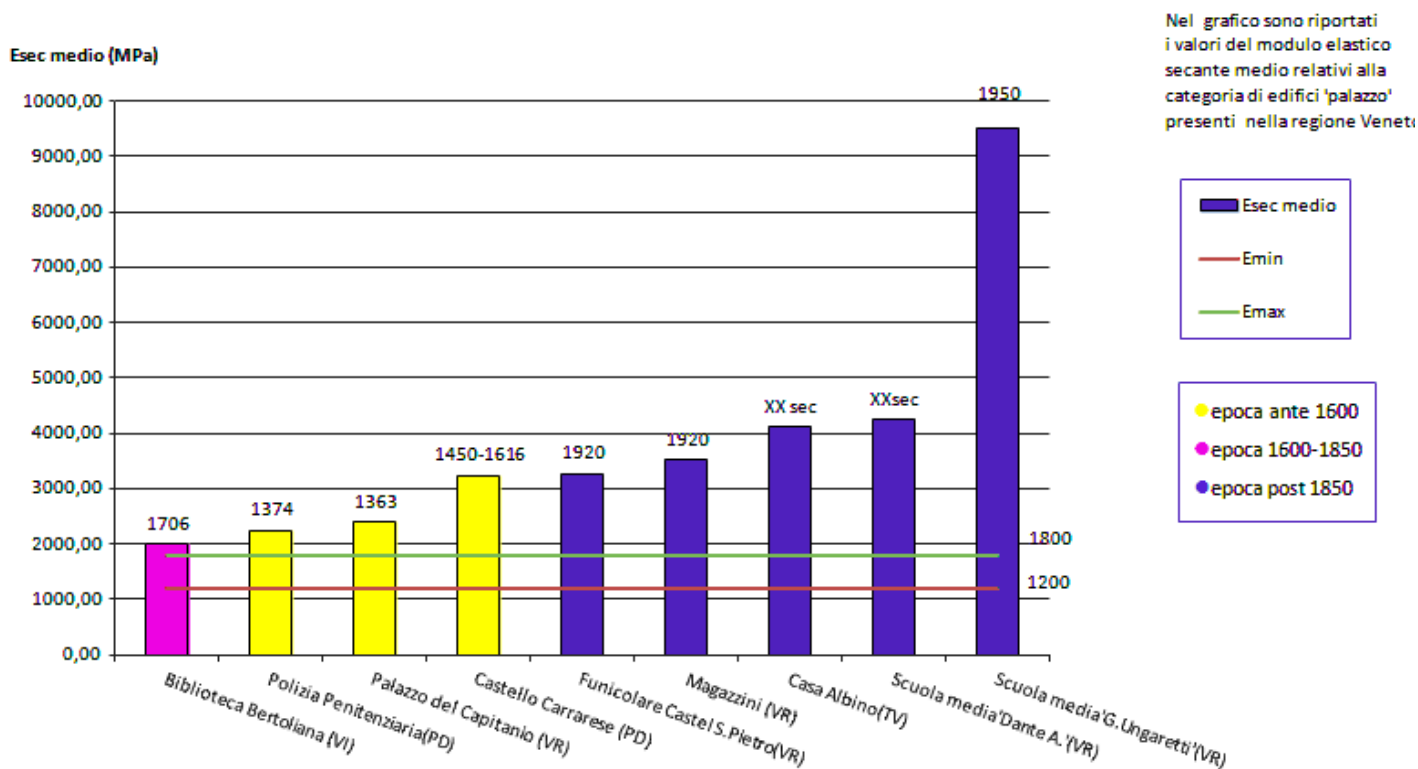


Figura 4.21 : Modulo elastico secante medio ed epoche di costruzione. Confronto fra i valori delle prove effettuate su di edifici appartenenti alla categoria 'PALAZZO' presenti nella Regione Veneto.

Regione Emilia Romagna

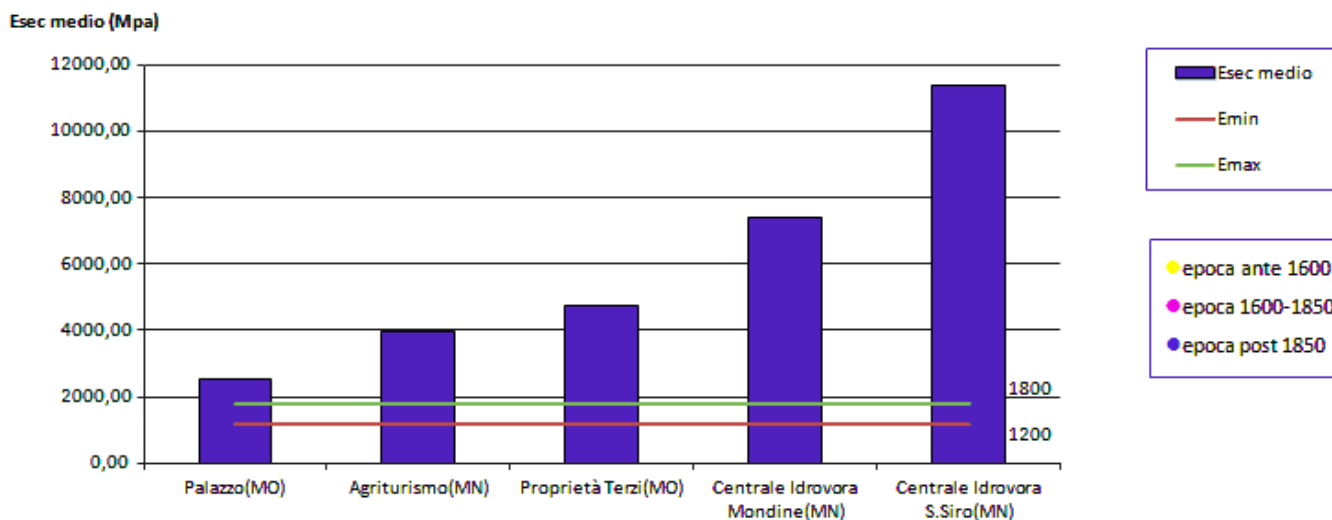


Figura 4.22 : Modulo elastico secante medio ed epoche di costruzione. Confronto fra i valori delle prove effettuate su di edifici appartenenti alla categoria 'PALAZZO' presenti nella Regione Emilia - Romagna.

Per completezza si riporta la tabella relativa alla categoria 'PONTE' e il corrispondente grafico.

NOME SITO	Esec medio (MPa)	DESTINAZIONE D'USO	EPOCA	DATA
Ponte delle Barche(VI)	4223,10	PONTE	A	epoca romana
Centrale Idrovora S.Siro(MN)*	6278,90	PONTE	C	1926
Ponte della Libertà(VE)	6297,86	PONTE	C	1846-1931
MEDIA	5599,95			

* prova effettuata su un campione di muratura disposto sulla chiavica

Tabella 4.13 : Prove disposte in ordine crescente per i valori di modulo elastico secante medio relativi alla categoria ' PONTE ' .

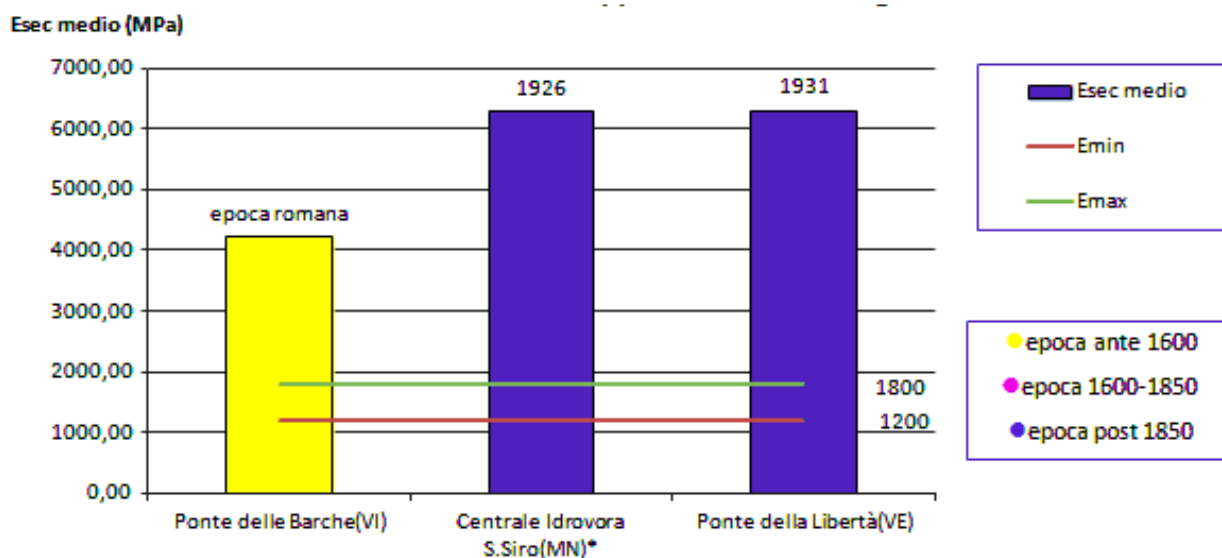


Figura 4.23 : Modulo elastico secante medio ed epoche di costruzione. Confronto fra i valori delle prove effettuate su di edifici appartenenti alla categoria 'PONTE'.

Il valore medio del modulo secante medio per i manufatti analizzati è pari a 5599,95 MPa , ovvero circa 3,11 volte superiore rispetto al valore massimo suggerito dalla normativa (1800 MPa).

4.3.2 CURVE SFORZO - DEFORMAZIONE ED EPOCHE DI COSTRUZIONE

Sono state costruite le curve tensione - deformazione in termini di valori medi, ossia effettuando una media dei valori di tensione e di deformazione delle prove effettuate su ciascun fabbricato.

NOME SITO - REGIONE VENETO -	DEFORMAZIONE MEDIA (μ strain)										
Biblioteca Bertoliana (VI)	0	2,67 E-04	4,95 E-04	1,06 E-03	1,67 E-03	2,38 E-03	3,56 E-03	4,63 E-03			
Polizia Penitenziaria(PD)	0	1,21 E-04	2,46 E-04	4,66 E-04	9,61 E-04	1,66 E-03	2,76 E-03				
Palazzo del Capitano (VR)	0	1,95 E-04	3,34 E-04	5,99 E-04	1,20 E-03	1,97 E-03	2,68 E-03	2,97 E-03	1,51 E-03	2,46 E-03	
Castello Carrarese (PD)	0	1,50 E-04	2,32 E-04	3,84 E-04	6,76 E-04	1,21 E-03					
Funicolare Castel S.Pietro(VR)	0	6,78 E-05	1,43 E-04	2,27 E-04	3,33 E-04	4,45 E-04	5,91 E-04	7,55 E-04	9,48 E-04	1,19 E-03	1,56E -03
Magazzini (VR)	0	1,38 E-04	2,31 E-04	3,50 E-04	4,45 E-04	5,91 E-04					
Casa Albino(TV)	0	9,80 E-05	1,70 E-04	2,44 E-04	3,29 E-04	4,52 E-04	6,18 E-04				
Scuola media'Dante A.'(VR)	0	1,04 E-04	1,77 E-04	3,01 E-04	5,90 E-04	7,87 E-04	4,64 E-04	5,75 E-04	6,98 E-04		
Scuola media'G.Ungaretti'(VR)	0	1,27 E-04	1,58 E-04	3,54 E-04	1,00 E-03	1,90 E-03	2,52 E-03	4,20 E-03			
Chiesa di S.Margherita(TV)	0	1,04 E-04	1,77 E-04	3,01 E-04	5,90 E-04	7,87 E-04	4,64 E-04	5,75 E-04	6,98 E-04	8,29E -04	9,51E -04

NOME SITO - REGIONE VENETO -	TENSIONE MEDIA (MPa)										
Biblioteca Bertoliana (VI)	0	0,52	0,94	1,48	1,9	2,36	3,05	3,45			
Polizia Penitenziaria(PD)	0	0,3	0,6	1	1,5	2	2,5				
Palazzo del Capitano (VR)	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,45	3	
Castello Carrarese (PD)	0	0,3	0,6	1	1,5	1,86					
Funicolare Castel S.Pietro(VR)	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3
Magazzini (VR)	0	0,3	0,6	0,9	1,5	1,8					
Casa Albino(TV)	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8				
Scuola media'Dante A.'(VR)	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,42	1,8	2,1	2,4		
Scuola media'G.Ungaretti'(VR)	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,9	2,55			
Chiesa di S.Margherita(TV)	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,42	1,8	2,1	2,4	2,7	3

Tabella 4.14 e 4.15 : Valori medi di tensione e di deformazione delle prove di martinetto piatto doppio di manufatti appartenenti alla categoria 'EDIFICIO' della Regione Veneto.

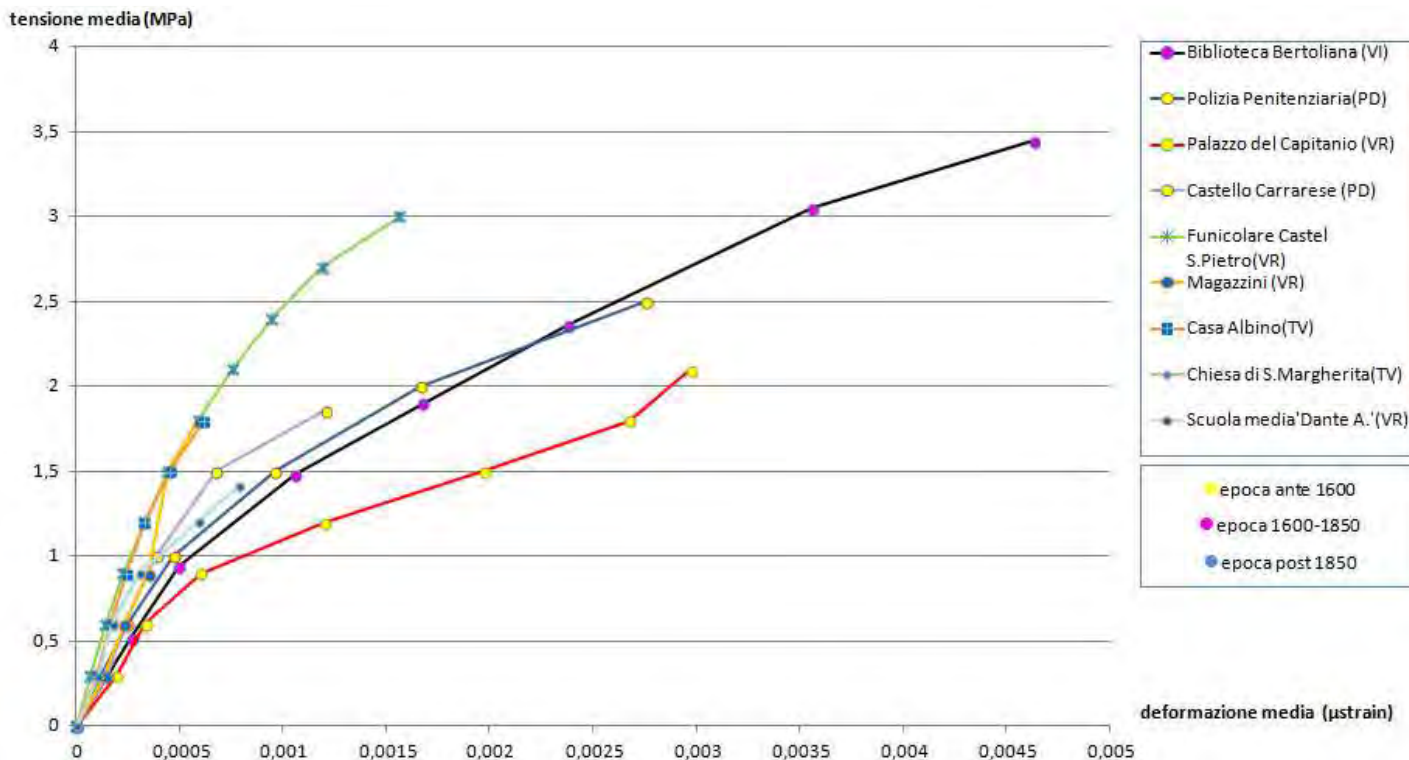


Figura 4.24 : Curva tensione - deformazione dei manufatti appartenenti alla categoria 'EDIFICIO' della Regione Veneto.

NOME SITO	DEFORMAZIONE MEDIA (µstrain)										
	0	2,50	3,52	4,82	6,38	7,96	9,89	1,17	1,36	1,57	1,80
Ponte delle Barche(VI)	0	E-04	E-04	E-04	E-04	E-04	E-04	E-03	E-03	E-03	E-03
Centrale Idrovora S.Siro(MN)*	0	4,74	8,71	1,31	1,83	2,48	3,06	3,71	4,36	5,83	8,98
		E-05	E-05	E-04	E-04	E-04	E-04	E-04	E-04	E-04	E-04
Ponte della Libertà(VE)	0	5,80	1,21	1,92	2,67	3,65	4,81	8,30	1,11	8,11	
		E-05	E-04	E-04	E-04	E-04	E-04	E-04	E-03	E-04	

NOME SITO	TENSIONE MEDIA (MPa)										
	0	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
Ponte delle Barche(VI)	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	3	4
Centrale Idrovora S.Siro(MN)*	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,83	4,43	4,75	
Ponte della Libertà(VE)	0										

Tabella 4.16 e 4.17 : Valori medi di tensione e di deformazione delle prove di martinetto piatto doppio di manufatti appartenenti alla categoria 'PONTE'.

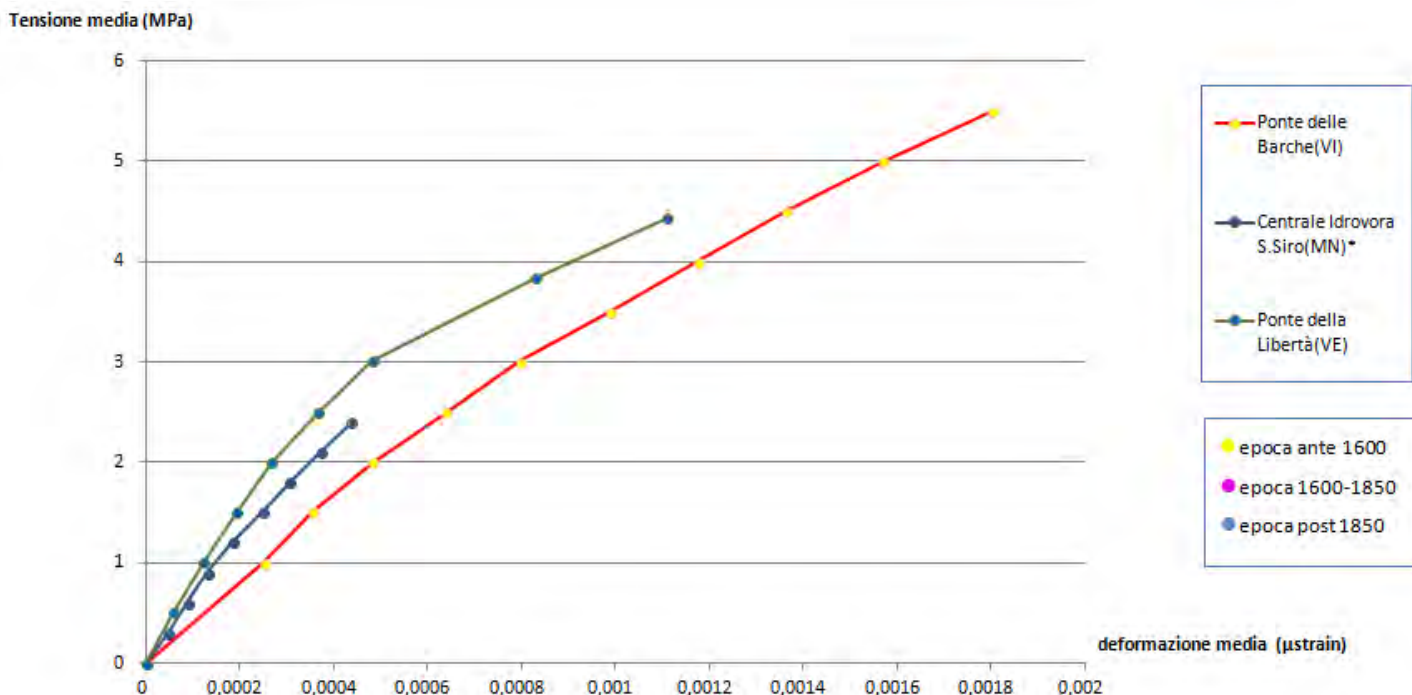


Figura 4.25 : Curva tensione – deformazione dei manufatti appartenenti alla categoria ‘PONTE’ .

Per entrambe le categorie di destinazione d’uso, la curva tensione – deformazione mostra come le strutture realizzate in un’ epoca precedente al 1600 presentino valori più bassi mentre quelle costruite dopo il 1850 valori più alti. Infatti gli le costruzioni più recenti - Ponte della Libertà (1931) e Centrale Idrovora di San Siro (1926) - hanno valori maggiori del modulo elastico rispetto a quello del Ponte delle Barche (epoca romana).

4.4 PONTI IN MURATURA : CASI DI STUDIO

Sebbene sia già stata affrontata nel precedente paragrafo la tematica degli edifici catalogati come ‘PONTE’, si esamineranno più dettagliatamente i seguenti casi di studio di ponti in muratura :

- Ponte Furo , Vicenza ;
- Ponte delle Barche, Vicenza ;
- Ponte della Libertà, Venezia.

Si riportano nei paragrafi successivi i valori ottenuti con le prove di martinetto piatto doppio per ciascun manufatto sopracitato.

4.4.1 PONTE FURO

L'obiettivo delle indagini condotte sul Ponte Furo è di determinare le principali caratteristiche meccaniche di muratura e malte. Le prove eseguite hanno avuto carattere debolmente distruttivo (prove di martinetto piatto, carotaggi nelle murature), e sono state compendiate da altre di caratteristiche totalmente non distruttive (prove soniche). In relazione agli scopi della campagna diagnostica si sono quindi pertanto eseguite le seguenti prove:

- n°1 prova di martinetto piatto doppio ;
- n°5 microcarotaggi ;
- n°5 indagini videoendoscopiche ;
- n°1 indagine sonica .

Lo schema riassuntivo delle prove viene riportato nella figura seguente.

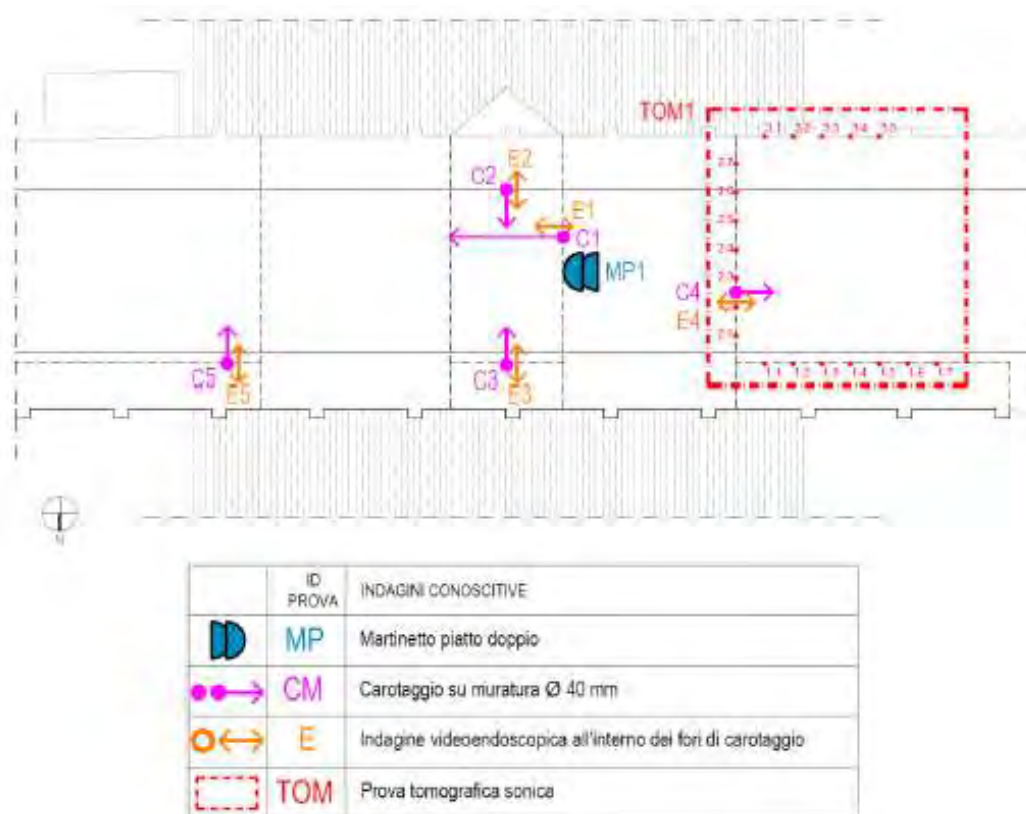


Figura 4.26 : Schema riassuntivo delle indagini condotte sul Ponte Furo

Soffermando l’attenzione sulle prove di martinetto piatto doppio si ricavano i seguenti valori di modulo elastico tangente e secante :

Nome Prova	σ_{max} [N/mm ²]	Caratteristiche di deformabilità		
		$\Delta\sigma$ [N/mm ²]	$E_{tangente}$ [N/mm ²]	$E_{scarico}$ [N/mm ²]
MPD 1	6,00	0,00-0,50	32142	36068 (0,50 - 0,05)
		0,50-1,00	32039	31164 (1,00 - 0,05)
		1,00-1,50	27429	29697 (1,50 - 0,05)
		1,50-2,00	40795	30622 (2,00 - 0,05)
		2,00-2,50	26104	30079 (2,50 - 0,05)
		2,50-3,00	27764	29664 (3,00 - 0,05)
		3,00-3,50	24886	29115 (3,50 - 0,05)
		3,50-4,00	23633	28637 (4,00 - 0,05)
		4,00-5,00	24431	27614 (5,00 - 0,05)
		5,00-6,00	22760	26550 (6,00 - 0,05)

Figura 4.27 : Risultati della prova di martinetto piatto doppio

In seguito ad una catalogazione visiva , la muratura è assimilabile alla categoria proposta dalla normativa con ‘ Muratura a blocchi lapidei squadrate ’.



Figura 4.28 : Ponte Furo, Vicenza

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

Figura 4.29 : Estratto della Tabella C8A.2.1 della circolare 617, 2009

Vengono successivamente comparati i valori emersi dalle prove con quelli suggeriti dalla normativa per la tipologia muraria osservata .

La particolarmente elevata rigidezza emersa in tutti gli step di carico deriva anche dalla dimensione rilevante dei blocchi lapidei, per cui il campione murario soggetto a prova di compressione presentava un unico giunto orizzontale. Ne consegue che la rigidezza risulta notevolmente superiore a quella proposta dalla normativa. Si fa inoltre notare che la prova descrive un comportamento pressoché perfettamente elastico della muratura, che non denota particolari decrementi delle proprie caratteristiche di deformabilità fino alla rilevante tensione di compressione di 6,0 N/mm².

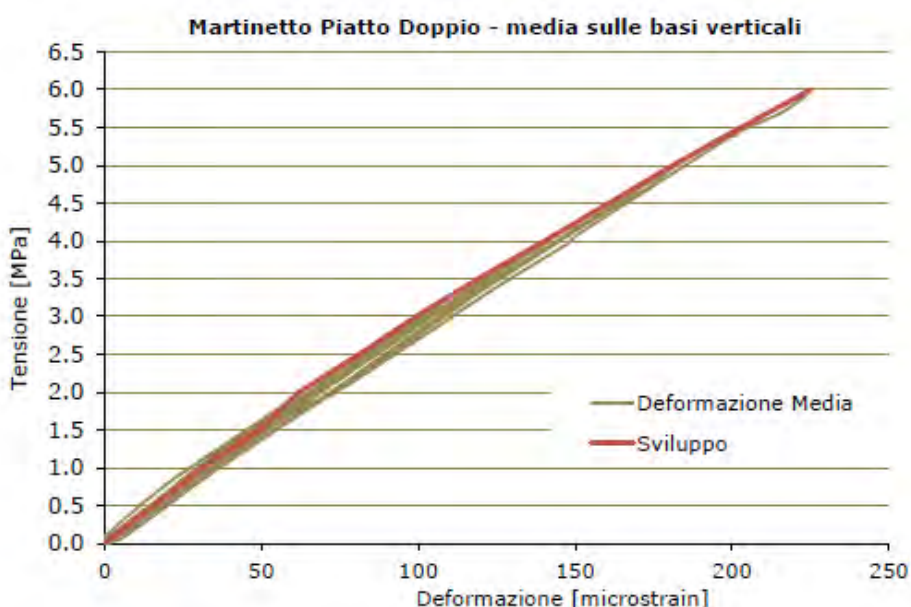


Figura 4.30 : Diagramma tensione-deformazione. Da notare il comportamento elastico fino a 6MPa

4.4.2 PONTE DELLE BARCHE

L'obiettivo delle indagini condotte sul Ponte delle Barche è di determinare le principali caratteristiche meccaniche di muratura e malte. Le prove eseguite hanno avuto carattere debolmente distruttivo (prove di martinetto piatto, carotaggi nelle murature), e sono state compendiate da altre di caratteristiche totalmente non distruttive (prove soniche). In relazione agli scopi della campagna diagnostica si sono quindi pertanto eseguite le seguenti prove:

- n°1 prova di martinetto piatto doppio ;
- n°6 microcarotaggi ;
- n°3 indagini videoendoscopiche ;
- n°2 indagine sonica .

Lo schema riassuntivo delle prove viene riportato nella figura seguente.

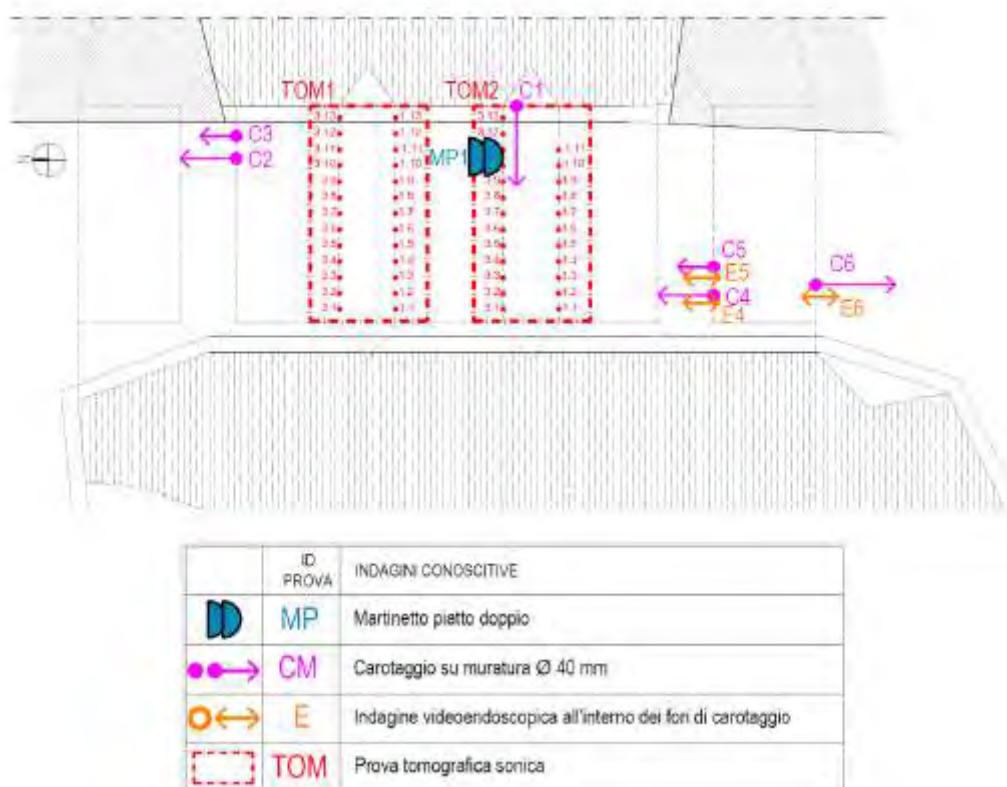


Figura 4.31 : Schema riassuntivo delle indagini condotte sul Ponte delle Barche

Soffermando l'attenzione sulle prove di martinetto piatto doppio si ricavano i seguenti valori di modulo elastico tangente e secante :

Nome Prova	σ_{max} [N/mm ²]	Caratteristiche di deformabilità		
		$\Delta\sigma$ [N/mm ²]	$E_{tangente}$ [N/mm ²]	$E_{secante}$ [N/mm ²]
MPD 1	5,50	0,00-1,00	4001	4358 (1,00 - 0,05)
		1,00-1,50	4884	4670 (1,50 - 0,05)
		1,50-2,00	3846	4602 (2,00 - 0,05)
		2,00-2,50	3202	4441 (2,50 - 0,05)
		2,50-3,00	3167	4281 (3,00 - 0,05)
		3,00-3,50	2598	4170 (3,50 - 0,05)
		3,50-4,00	2702	4147 (4,00 - 0,05)
		4,00-4,50	2650	3984 (4,50 - 0,05)
		4,50-5,00	2426	3855 (5,00 - 0,05)
		5,00-5,50	2144	3723 (5,50 - 0,05)

Figura 4.32 : Risultati della prova di martinetto piatto doppio

In seguito ad una catalogazione visiva , la muratura è assimilabile alla categoria proposta dalla normativa con ' Muratura in mattoni pieni e malta di calce '.



Figura 4.33 : Ponte delle Barche, Vicenza

Tipologia di muratura	f_m	τ_0	E	G	w
	(N/cm ²)	(N/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN/m ³)
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12

Figura 4.34 : Estratto della Tabella C8A.2.1 della circolare 617, 2009

Vengono successivamente comparati i valori emersi dalle prove con quelli suggeriti dalla normativa per la tipologia muraria osservata .

I valori di rigidezza emersi - generalmente relazionabili alla resistenza della muratura - denotano un buon comportamento della muratura indagata. Infatti, relativamente alla classificazione muraria riportata in tabella C8A.2.1, i valori sperimentali ottenuti sono superiori rispetto a quelli riportati dalla normativa (che indica il valore di E nel range 1200 - 1800 N/mm²). Inoltre la prova è stata spinta ad elevati tenori di compressione (5,5 N/mm²) con un buon comportamento elastico della muratura.

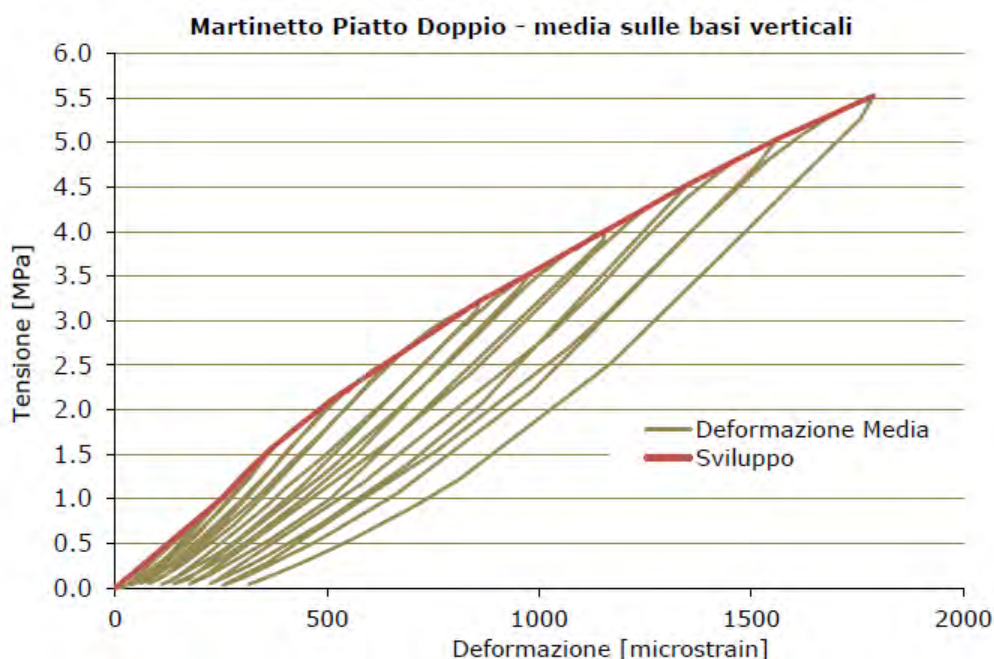


Figura 4.35 : Diagramma tensione-deformazione.

4.4.3 PONTE DELLA LIBERTA'

L'obiettivo delle indagini condotte sul Ponte della Libertà è di determinare le principali caratteristiche meccaniche di muratura e malte. Le prove eseguite hanno avuto carattere debolmente distruttivo (prove di martinetto piatto, carotaggi nelle murature), e sono state compendiate da altre di caratteristiche totalmente non distruttive (prove soniche). In relazione agli scopi della campagna diagnostica si sono quindi pertanto eseguite le seguenti prove:

- n°2 prova di martinetto piatto singolo ;
- n°4 prova di martinetto piatto doppio ;
- n°12 sondaggi con perforatrice a carotaggio continuo ;
- n°7 indagini per la determinazione della porosità ;
- n°15 prove di compressione su carote .

Lo schema riassuntivo delle prove viene riportato nella figura seguente.



Figura 4.36 : Schema riassuntivo delle indagini condotte sul Ponte della Libertà



Figura 4.37 : Ponte della Libertà, Venezia

Soffermando l'attenzione sulle prove di martinetto piatto doppio si ricavano i seguenti valori di modulo elastico tangente e secante :

Nome Prova	σ_{locale} [N/mm ²]	σ_{max} [N/mm ²]	Caratteristiche di deformabilità		
			$\Delta\sigma$ [N/mm ²]	E_{tangente} [N/mm ²]	E_{scarico} [N/mm ²]
MPD 1	0,74	5,00	0,00-0,50	6335	5573 (0,50 - 0,05)
			0,50-1,00	5984	5616 (1,00 - 0,05)
			1,00-1,50	5075	5375 (1,50 - 0,05)
			1,50-2,00	4060	5089 (2,00 - 0,05)
			2,00-2,50	3268	4742 (2,50 - 0,05)
			2,50-3,00	2715	4418 (3,00 - 0,05)
			3,00-3,50	2185	4014 (3,50 - 0,05)
			3,50-4,00	1742	3641 (4,00 - 0,05)
			4,50-5,00	693	2793 (5,00 - 0,05)

Figura 4.38 : Risultati della prova di martinetto piatto doppio MPD1

MPD 2	0,60	5,00	0,00-0,50	8050	7147 (0,50 - 0,05)
			0,50-1,00	6830	6757 (1,00 - 0,05)
			1,00-1,50	5827	6492 (1,50 - 0,05)
			1,50-2,00	6704	6518 (2,00 - 0,05)
			2,00-2,50	5384	6294 (2,50 - 0,05)
			2,50-3,00	4548	5984 (3,00 - 0,05)
			3,00-3,50	4179	5733 (3,50 - 0,05)
			3,50-4,00	3137	5399 (4,00 - 0,05)
			4,00-4,50	2833	5059 (4,50 - 0,05)
4,50-5,00	2987	4896 (5,00 - 0,05)			

Figura 4.39 : Risultati della prova di martinetto piatto doppio MPD2

MPD 3	---	5,00	0,00-0,50	14390	14208 (0,50 - 0,05)
			0,50-1,00	11598	12568 (1,00 - 0,05)
			1,00-1,50	10278	11425 (1,50 - 0,05)
			1,50-2,00	8819	10686 (2,00 - 0,05)
			2,00-2,50	8077	10092 (2,50 - 0,05)
			2,50-3,00	7421	9744 (3,00 - 0,05)
			3,00-3,50	6636	8252 (3,50 - 0,05)
			3,50-4,00	6423	8900 (4,00 - 0,05)
			4,00-4,50	6631	8526 (4,50 - 0,05)
			4,50-5,00	7231	8434 (5,00 - 0,05)
MPD 4	---	5,00	0,00-0,50	5470	5588 (0,50 - 0,05)
			0,50-1,00	5040	5318 (1,00 - 0,05)
			1,00-1,50	4818	5218 (1,50 - 0,05)
			1,50-2,00	3875	4964 (2,00 - 0,05)
			2,00-2,50	2836	4507 (2,50 - 0,05)
			2,50-3,00	2245	4037 (3,00 - 0,05)
			3,00-3,50	1847	3811 (3,50 - 0,05)
			3,50-4,00	1372	3071 (4,00 - 0,05)
			4,00-4,50	927	2856 (4,50 - 0,05)

Figura 4.40 : Risultati della prova di martinetto piatto doppio MPD3 e MPD4

In seguito ad una catalogazione visiva , la muratura è assimilabile alla categoria proposta dalla normativa con ‘ Muratura in mattoni pieni e malta di calce ’.

Tipologia di muratura	f_m	τ_0	E	G	w
	(N/cm ²)	(N/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN/m ³)
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia	500	24	3500	875	15

Figura 4.41 : Estratto della Tabella C8A.2.1 della circolare 617, 2009

Vengono successivamente comparati i valori emersi dalle prove con quelli suggeriti dalla normativa per la tipologia muraria osservata .

I valori di rigidezza emersi - generalmente relazionabili alla resistenza della muratura - denotano un buon comportamento della muratura indagata : infatti i valori sperimentali ottenuti sono significativamente superiori rispetto a quelli riportati dalla normativa (che indica il valore di E nel range 1200 – 1800 MPa).

La prova è stata spinta inoltre ad elevati tenori di compressione (5,0 MPa), e solo in prossimità di questi emergeva un netto calo della risposta meccanica della muratura, nella consueta direzione del carico.

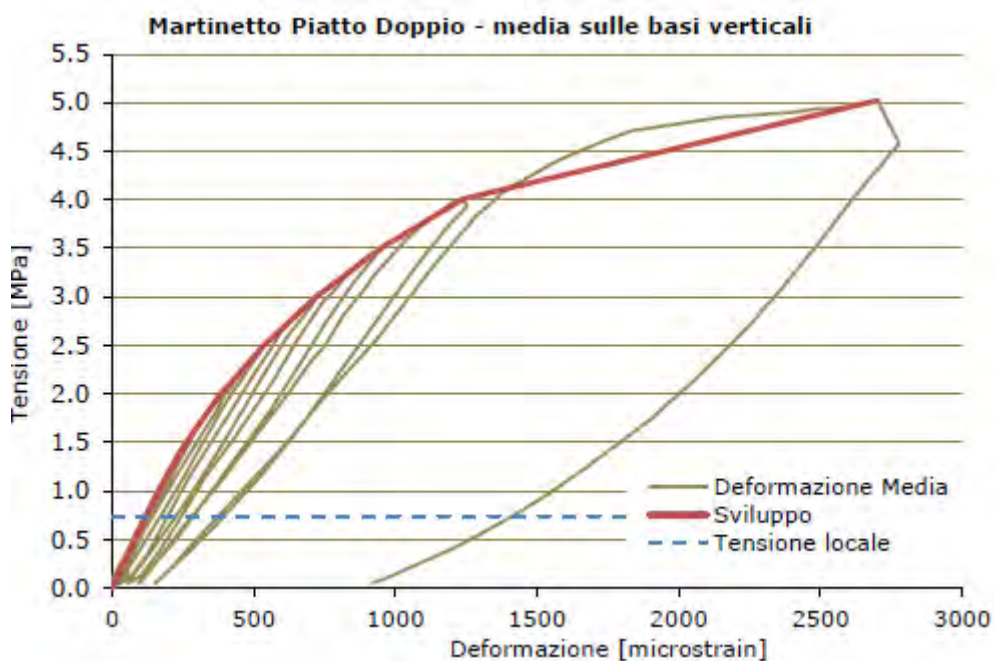


Figura 4.42 : Diagramma tensione-deformazione MPD1

5 CONCLUSIONI

Le prove di martinetto piatto possono essere attualmente considerate le uniche prove “debolmente distruttive” disponibili in sito che possano proporre dei risultati sufficientemente attendibili circa le caratteristiche locali di tensione e deformabilità delle strutture in muratura.

Questa metodologia di indagine è in grado di fornire risultati di natura quantitativa, sia per la rilevazione del tenore locale di tensione che per la valutazione della deformabilità delle murature.

La muratura non presenta però un comportamento elastico-lineare ma è disomogenea, anisotropa e con variazioni all’interno dello stesso edificio indagato. I risultati di tali prove assumono pertanto delle caratteristiche qualitative , ovvero riescono a proporre delle informazioni generali sulle murature indagate.

Se si considera la prova di martinetto piatto doppio, l’eterogeneità e il comportamento non-lineare della muratura provoca una distribuzione non uniforme delle tensioni durante l’esecuzione della prova e rende difficile la stima della sua fase elastica.

L’elaborazione dei dati emersi dalle prove e la loro interpretazione rappresenta un punto fondamentale per la comprensione degli effettivi risultati dei test. I dati acquisiti sono difatti influenzati dalla tipologia muraria, la posizione di esecuzione del test, la presenza di discontinuità all’interno del solido murario.

L’interpretazione dei risultati deve tener conto di situazioni particolari quali la concentrazione di tensione nelle strutture indagate, la presenza di deformazioni anelastiche nella muratura, la presenza di basse tensioni di compressione .

Infine, i risultati dei test devono essere considerati non attendibili ove si verificano importanti irregolarità nella risposta, ovvero quando non si riesca ad ottenere una compensazione degli spostamenti in tutte le basi di lettura (nel caso di martinetto piatto singolo), nel caso in cui la muratura soprastante non fornisca un adeguato contrasto per l’esecuzione della prova di martinetto piatto doppio, quando la risposta indichi una muratura eccessivamente “debole” o disomogenea.

E’ opportuno affiancare alle prove di martinetto piatto altre metodologie di indagine (prove soniche, analisi delle malte, carotaggi,etc) in modo da adottare un approccio multidisciplinare che consenta di interpretare i risultati ottenuti.

Dall'elaborazione dei dati si sono riscontrati , per ciascuna tipologia di muratura, valori elevati del modulo elastico rispetto al range proposto dalla normativa , questo si riscontra particolarmente nei manufatti catalogati con la categoria 'PONTE' i cui valori superano di circa tre volte il valore massimo proposto dalla normativa per la categoria muraria di appartenenza.

Infine si è riscontrata una correlazione fra l'epoca di costruzione della struttura e il valore del modulo elastico : le strutture costruite nel XVII presentavano valori più bassi rispetto a quelle costruite nelle epoche successive.

Bibliografia

Binda L. (2005). *2° Seminario a intervencao no patrimonio praticas de conservacao e reabilitacao : Investigation for the diagnosis of historic buildings: application at different scales*, FEUP , Ottobre 2005.

Binda L. , L.Cantini , G.Cardani , A.Saisi , C.Tiraboschi , *Use of flat-jack and sonic tests for the qualification of historic masonry*, The tenth north American masonry conference , St. Louis, Missouri , June 3–6, 2007.

Carbonara G., (1996). *Restauro Architettonico*. (vol. II, sez. E2), UTET, Torino, 1996.

Casarin F. (2006) , *Structural assessment and seismic vulnerability analysis of a complex historical building*. Tesi di Dottorato, Rel. C.Modena, Università degli Studi di Padova.

Gardin B. (2007) *Diagnosi delle murature storiche mediante procedure debolmente distruttive: problematiche nell'uso dei martinetti piatti*. Tesi di Laurea, Rel. M.R. Valluzzi, Università degli Studi di Padova.

Dalla Benetta M. (2011) *Qualificazione di murature storiche: procedure sperimentali in situ e calibrazione in laboratorio*. Tesi di Dottorato, Rel. C.Modena, Università degli Studi di Padova.

Modena C. , *Ammaloramenti della muratura e patologia dei ponti in muratura*, Appunti a cura del Prof. Claudio Modena ,Università degli studi di Padova.

Norme Tecniche per le Costruzioni – DM 14/01/08, Ministero delle infrastrutture e dei trasporti

RELUIS (2005-2007). *Misura in situ dello stato di sforzo mediante l'uso del martinetto piatto singolo*, Responsabile : L. Binda , A. Saisi , G. Cardani , C. Modena , M.R. Valluzzi , F.daPorto , F.Casarin , N.Mazzon ,M. dalla Benetta , Coordinatore: G.Magenes , S.Lagomarsino.

RELUIS (2005-2007). *Misura in situ delle proprietà elastiche mediante l'uso di martinetto piatto doppio*, Responsabile : L. Binda , A. Saisi , G. Cardani , C. Modena , M.R. Valluzzi , F.daPorto , F.Casarin , N.Mazzon ,M. dalla Benetta , Coordinatore: G.Magenes , S.Lagomarsino.

RELUIS (2009). *Linee guida per la compilazione della scheda di valutazione dell'IQM*, Responsabile : A.Borri , A. De Maria , Perugia.

RELUIS (2009). *Esempi compilati di scheda di valutazione dell'IQM*, Responsabile : A.Borri, A. De Maria , Perugia.

RELUIS (2009). *Scheda di valutazione dell'IQM*, Responsabile : A.Borri, A. De Maria , Perugia.

Tecchio G. , *Convegno CIFI : Vulnerabilità sismica dei ponti ferroviari, Ponti in muratura : materiali, tipologie, tecniche costruttive, patologie* , 2013.
