



Laboratorio Autorizzato

PROVE SUI MATERIALI DA COSTRUZIONE
Istituto Superiore "S. Calvino - G.B. Amico"



Istituto Superiore "S. Calvino - G.B. Amico"

Via Salemi 49 - 91100 - Trapani
Tel: 0923.21016 - tpis028009@pec.istruzione.it



**POMERIGGI DI STUDIO
AL LABORATORIO
2° Incontro**

13 aprile 2016

**ANALISI DELLE STRUTTURE IN MURATURA
MEDIANTE LA TECNICA DEI MARTINETTI PIATTI**

Relatore: Ing. Santo Mineo

Amministratore unico CIMENTO S.r.l. – Laboratorio di diagnostica strutturale
Vicedirettore associazione MASTER – Materials And Structures TESting and Research



Introduzione

La conoscenza della costruzione in muratura oggetto della verifica è di fondamentale importanza ai fini di una adeguata analisi, e può essere conseguita con **diversi livelli di approfondimento**, in funzione dell'accuratezza delle operazioni di rilievo, dell'analisi storica e delle indagini sperimentali.

Tali operazioni saranno funzione degli obiettivi preposti ed andranno ad interessare tutto o in parte la costruzione, a seconda della ampiezza e della rilevanza dell'intervento previsto.



L'esame della qualità muraria e l'eventuale **valutazione sperimentale delle caratteristiche meccaniche** hanno come finalità principale quella di stabilire se la muratura in esame è capace di un comportamento strutturale idoneo a sostenere le azioni statiche e dinamiche prevedibili per l'edificio in oggetto.

Le **NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI**, al **capitolo 8 "Costruzioni esistenti"**, e la circolare esplicativa n°617/C.S.LL.PP. al punto **C8A.1.A** forniscono le indicazioni necessarie per l'individuazione delle proprietà dei materiali delle costruzioni in muratura.

Per la caratterizzazione meccanica della muratura viene indicata tra le indagini in situ estese la **prova con martinetti piatto doppio**.



La tecnica del martinetti piatti

E' una metodologia di prova nata e collaudata nel campo della meccanica delle rocce per la determinazione dello stato di sollecitazione naturale di un ammasso roccioso.



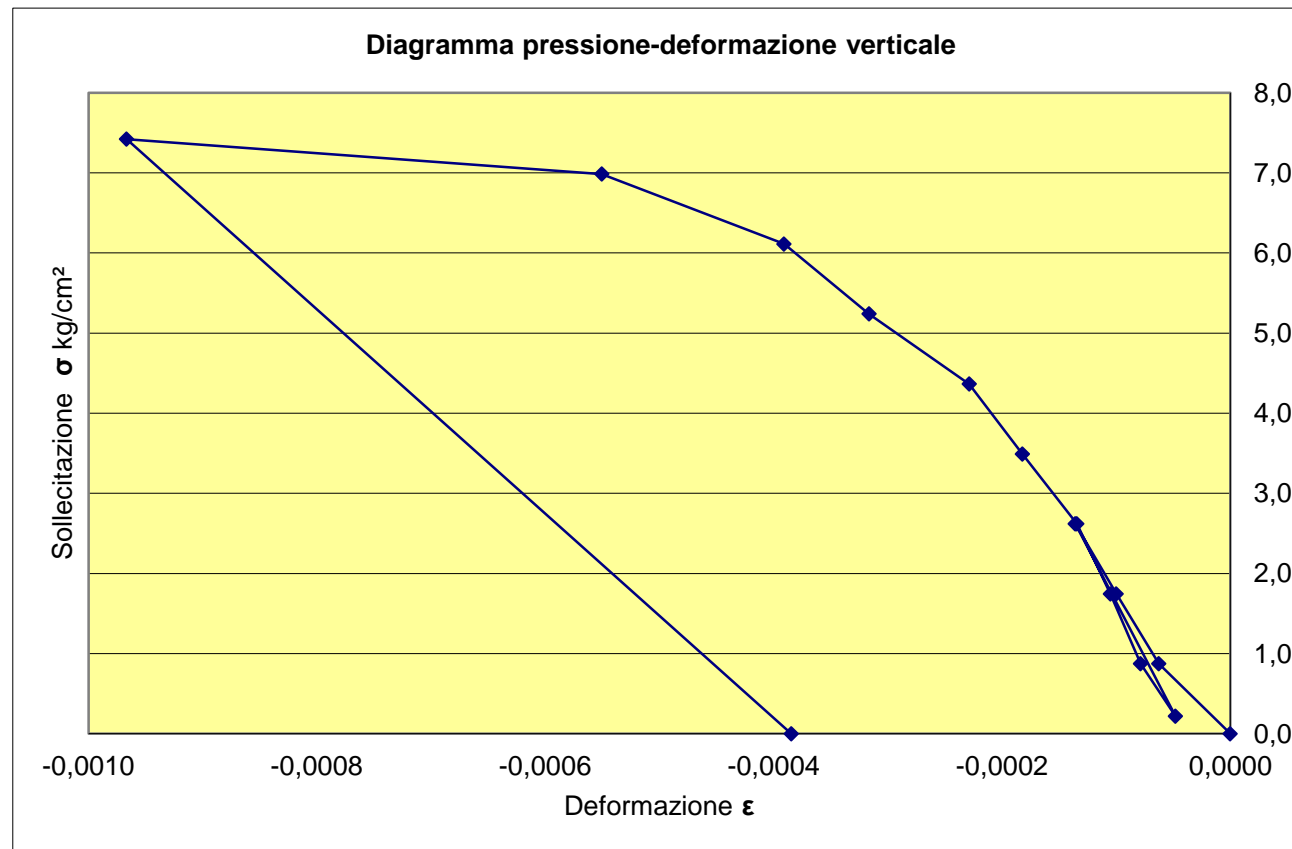
fonte: www.geologicaitaliana.it



La tecnica d'indagine con l'uso di martinetti piatti si è molto diffusa soprattutto nell'analisi di murature di edifici di interesse storico e monumentale, grazie alla bassissima invasività della prova stessa.



Mediante l'utilizzo dei martinetti piatti è possibile determinare le **caratteristiche meccaniche di deformabilità e resistenza della muratura esaminata**, con le dovute limitazioni legate alla tecnica costruttiva del paramento murario.



I martinetti piatti possono utilizzarsi in configurazione singola per la misura dello stato tensionale in sito, ed in configurazione doppia per la determinazione delle caratteristiche di deformabilità.



Martinetto piatti in configurazione singola



Martinetto piatti in configurazione doppia

Norme di riferimento

Per l'esecuzione delle prove con i martinetti piatti si fa riferimento alle norme ASTM International (American Society for Testing and Materials International):

- **ASTM International C1196-09** “Standard test method for in situ compressive stress within solid unit masonry estimated using the flatjack method”. (*martinetto singolo*)
- **ASTM International C1197-09** “Standard test method for in situ measurement of masonry deformability properties using the flatjack method”. (*martinetto doppio*)



Operazioni preliminari alle prove con martinetti piatti

Prima dell'esecuzione delle prove con martinetti piatti è necessario eseguire delle operazioni preliminari e propedeutiche:

- 1. rimozione dell'intonaco per mettere a vista l'apparecchio murario**



2. indagine endoscopica per verificare la continuità muraria nel suo spessore



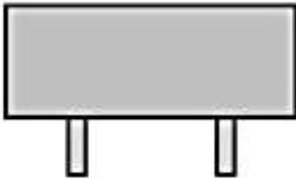
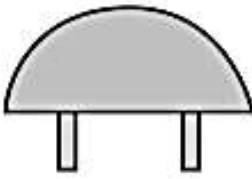
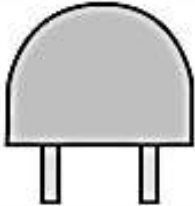
Martinetti piatti: che cosa sono

Prima di descrivere le metodologie di prova è bene mostrare e descrivere l'attrezzatura con la quale le stesse vengono eseguite.

I **martinetti piatti** sono dei dispositivi in acciaio, simili a tasche, molto appiattiti, i quali **vengono inseriti in tagli effettuati nella malta della muratura**, ed all'interno dei quali è possibile pomparvi del fluido oleodinamico per "gonfiarli", ossia pressurizzarli per trasmettere la pressione all'interno della muratura.



Possono avere diverse forme e dimensioni, e vengono scelti in funzione della geometria del paramento murario o dell'elemento da verificare.

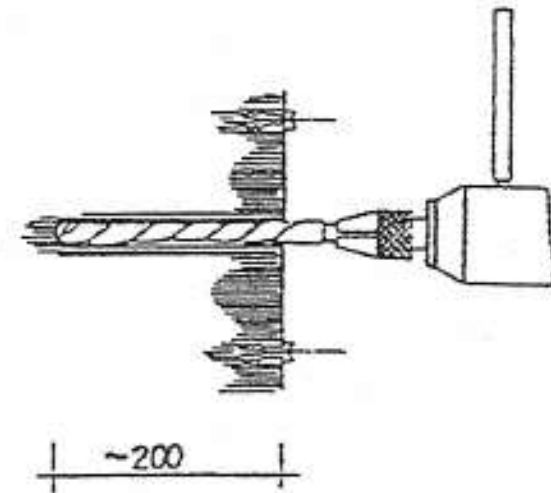
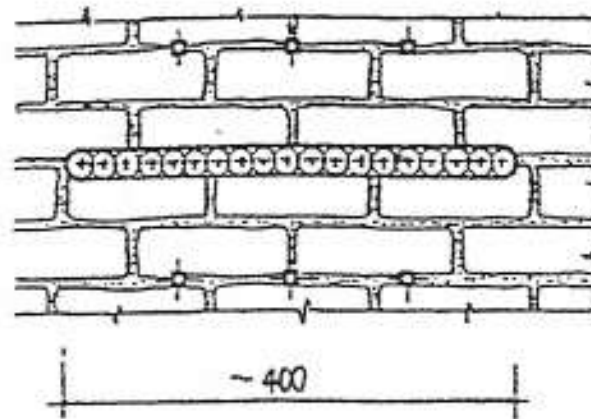
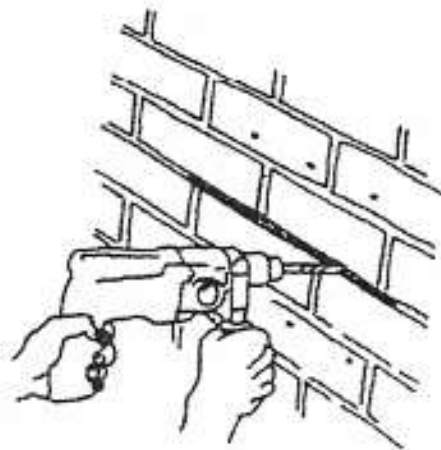
FORMATO		RETTANGOLARI	SEMICIRCOLARI	FORMATO SPECIALE PER TRONCATRICE
FORMATO				
DIMENSIONI	MP-A	400x200x4mm 240x120x4mm 400x120x4mm	325x120x4mm	350x260x4mm
	GL-A	400x200x6mm 240x120x4mm 400x120x4mm	325x120x4mm	350x260x3.5mm
PRESSIONE MASSIMA DI ESERCIZIO	MP-A	60 bar	60 bar	60 bar
	GL-A	100 bar	100 bar	100 bar



Come effettuare i tagli

Chiaramente in funzione della forma del martinetto scelta per la prova, cambia la modalità di esecuzione dei tagli nella muratura per inserire i martinetti.

Vengono utilizzati: trapani, seghe circolari e seghe semicircolari eccentriche.



Taglio di forma rettangolare mediante trapano





Taglio di forma semicircolare allungata mediante mototroncatrice eccentrica

Come pressurizzare i martinetti

I martinetti piatti vengono pressurizzati da pompe elettriche o manuali che permettono di gestire con particolare cura gli incrementi di carico oltre a mantenere costante la pressione.



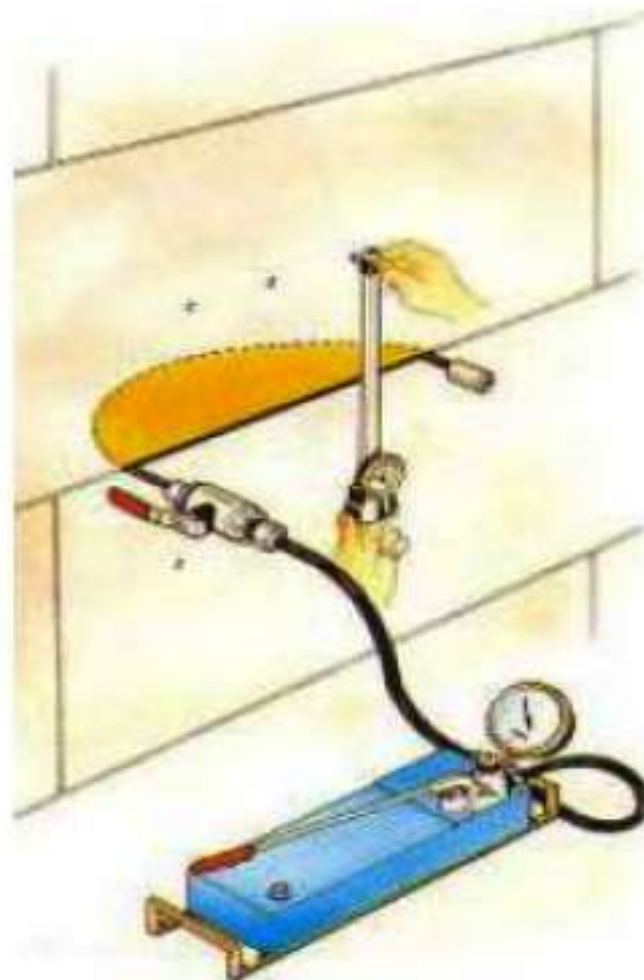
La misura delle deformazioni

La misura delle deformazioni della muratura viene eseguita con un deformometro millesimale di tipo removibile con basi di misura fissate sulla superficie muraria mediante spinotti o basette forate.



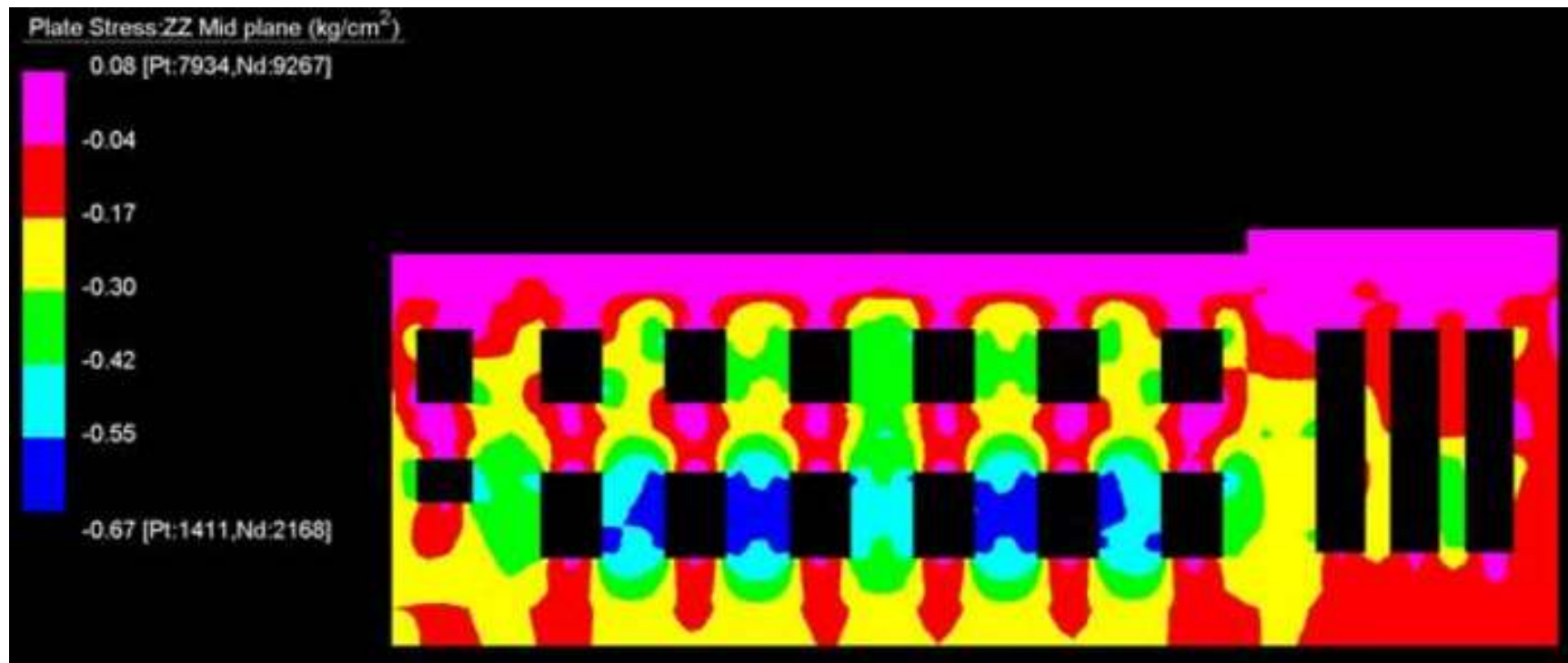
Deformometro removibile millesimale

Riepilogo delle fasi operative



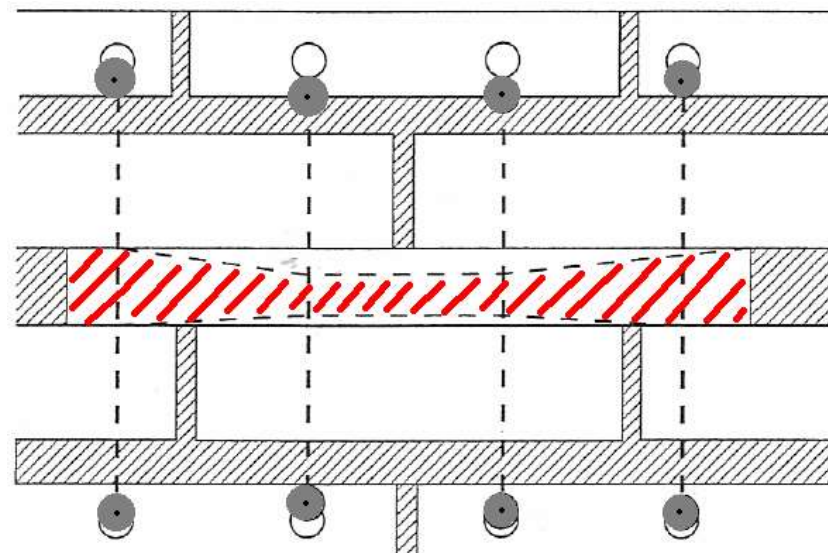
Martinetti piatti in configurazione singola

La tecnica dei martinetti piatti in configurazione singola viene utilizzata per la misura sperimentale dello stato tensionale in sito di una zona di muratura.



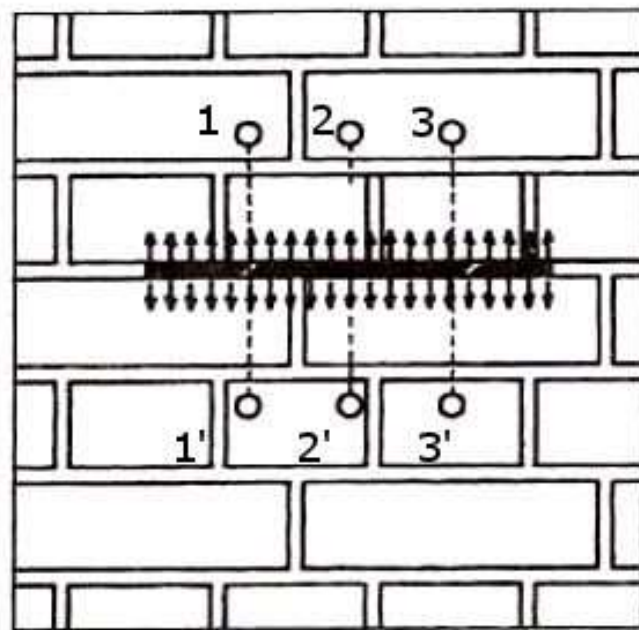
Stato tensionale di una parete muraria, nello stato di fatto (da modellazione agli elementi finiti) – Fonte www.hsh.info

La metodologia di prova si basa sul fatto che **un taglio eseguito su di un solido sottoposto ad uno stato tensionale annulla le tensioni mutue agenti sulle facce generate dal taglio stesso**: il rilascio delle tensioni provoca la chiusura parziale del taglio che può essere rilevata mediante la misura di precisione dell'avvicinamento di coppie di punti a cavallo del taglio, e confrontata con la posizione reciproca delle coppie di punti prima del taglio.

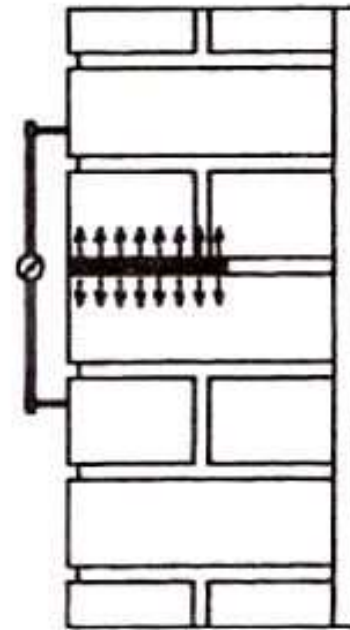


Un martinetto piatto viene inserito all'interno del taglio: la pressione dello stesso viene gradualmente incrementata sino ad annullare l'avvicinamento dei punti precedentemente misurato.

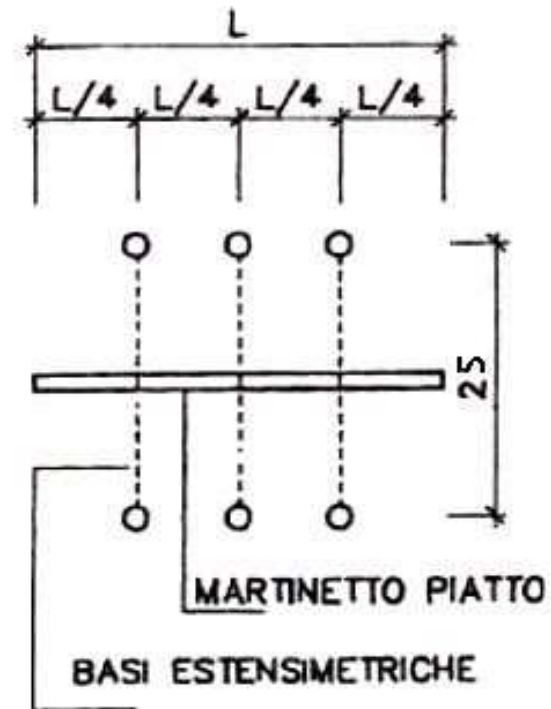




PROSPETTO



SEZIONE A-A



In queste condizioni il valore della pressione all'interno del martinetto, opportunamente corretto, corrisponde al valore della tensione presente nella muratura prima del taglio.



Calcolo della tensione della muratura in situ

P = pressione letta al manometro

K_m = fattore di taratura del martinetto

K_a = A_m / A_t = Area martinetto / area taglio

σ = tensione nella muratura ante taglio

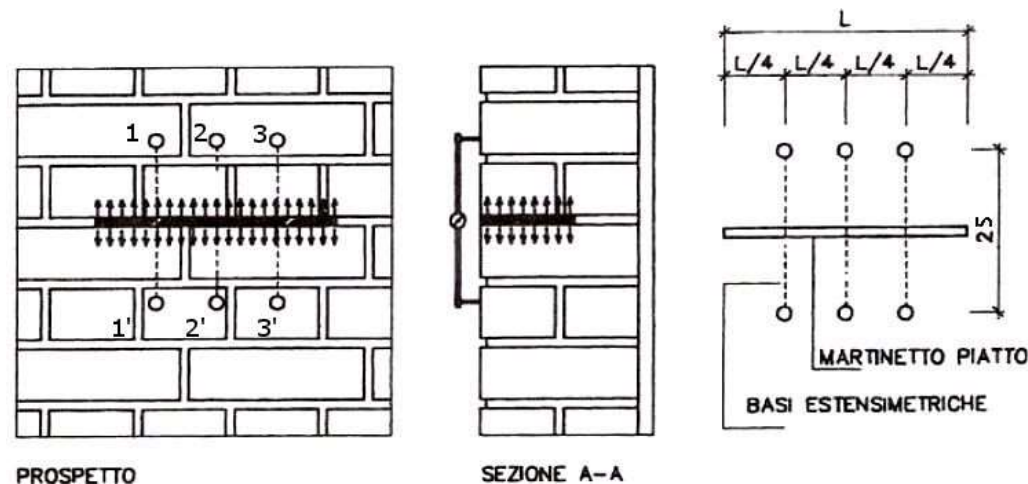
$$\sigma = P \times K_m \times K_a \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$



Rilievo della tensione in situ delle murature con martinetto piatto

MODALITA' OPERATIVE

1. Individuare l'area da sottoporre a prova e rimuovere l'intonaco sino al rinvenimento della muratura.
2. Individuare il piano di taglio in corrispondenza di un giunto di malta.
3. Posizionare i capisaldi delle basi di misura secondo il seguente schema (attendere la completa asciugatura del fissante prima di eseguire la prova):



4. Eseguire e registrare le letture delle distanze tra le basi di misura prima del taglio.
5. Eseguire il taglio nella muratura.
6. Misurare l'area di taglio.
7. Eseguire e registrare le letture delle distanze tra le basi di misura dopo il taglio.
8. Inserire il martinetti e gli eventuali spessori.
9. Eseguire le operazioni di carico con livelli crescenti di pressione (step).
10. Dopo ciascuno step, allo stabilizzarsi della pressione, eseguire e registrare le letture delle distanze tra le basi di misura.
11. Fermare gli step di carico sino al ripristino delle distanze iniziali tra le basi di misura (valore medio) e registrare la pressione al manometro.



ESEMPIO DI PROVA – RILIEVO DELLA TENSIONE IN SITU

MARTINETTI PIATTI IN CONFIGURAZIONE SINGOLA - RILIEVO DELLA TENSIONE DI ESERCIZIO

Data prova: **09-mar-16**

Struttura monitorata: **xxxxxxxxxx**

Strumento utilizzato: ***Deformometro meccanico avente sensibilità millesimale (0,001 mm)***

Base di misura del deformometro: **250,000 mm**

Barra di taratura: **250,000 mm**

Campo di misura del deformometro: **+/- 5,000 mm**

Punto di misura:

Km = coefficiente di taratura del martinetto = 0,887

Km = coeff. di taratura del mart. (> 10 bar) = 0,887

P = pressione letta al manometro

Ka = A_m / A_t = area martinetto / area taglio : 0,99

σ = sollecitazione agente sulla muratura
($\sigma = P \times K_m \times K_a$)

A_m = area martinetto = 775,06 cmq

A_t = area taglio = 780 cmq

Altezza martinetto da pavimento = **55 cm**



ESEMPIO DI PROVA – RILIEVO DELLA TENSIONE IN SITU

P (bar)	σ (Kg/cm ²)	Letture alla barra di taratura (mm)	Letture al display				Misura effettiva dei lati			
			1-1'	2-2'	3-3'	media	1-1'	2-2'	3-3'	media
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Ante taglio										
Tensione di esercizio		4,856	5,836	7,223	4,254	5,771	250,980	252,367	249,398	250,915
Post Taglio										
0,0	0,0	4,854	5,796	7,149	4,196	5,714	250,942	252,295	249,342	250,860
1,0	0,9	4,855	5,810	7,165	4,206	5,727	250,955	252,310	249,351	250,872
2,0	1,8	4,854	5,820	7,176	4,218	5,738	250,966	252,322	249,364	250,884
3,0	2,6	4,854	5,832	7,192	4,230	5,751	250,978	252,338	249,376	250,897
4,0	3,5	4,853	5,846	7,208	4,244	5,766	250,993	252,355	249,391	250,913
5,0	4,4	4,853	5,860	7,223	4,258	5,780	251,007	252,370	249,405	250,927

Misura del lato = Base di misura del deformometro + (Letture al display - Letture alla barra di taratura)

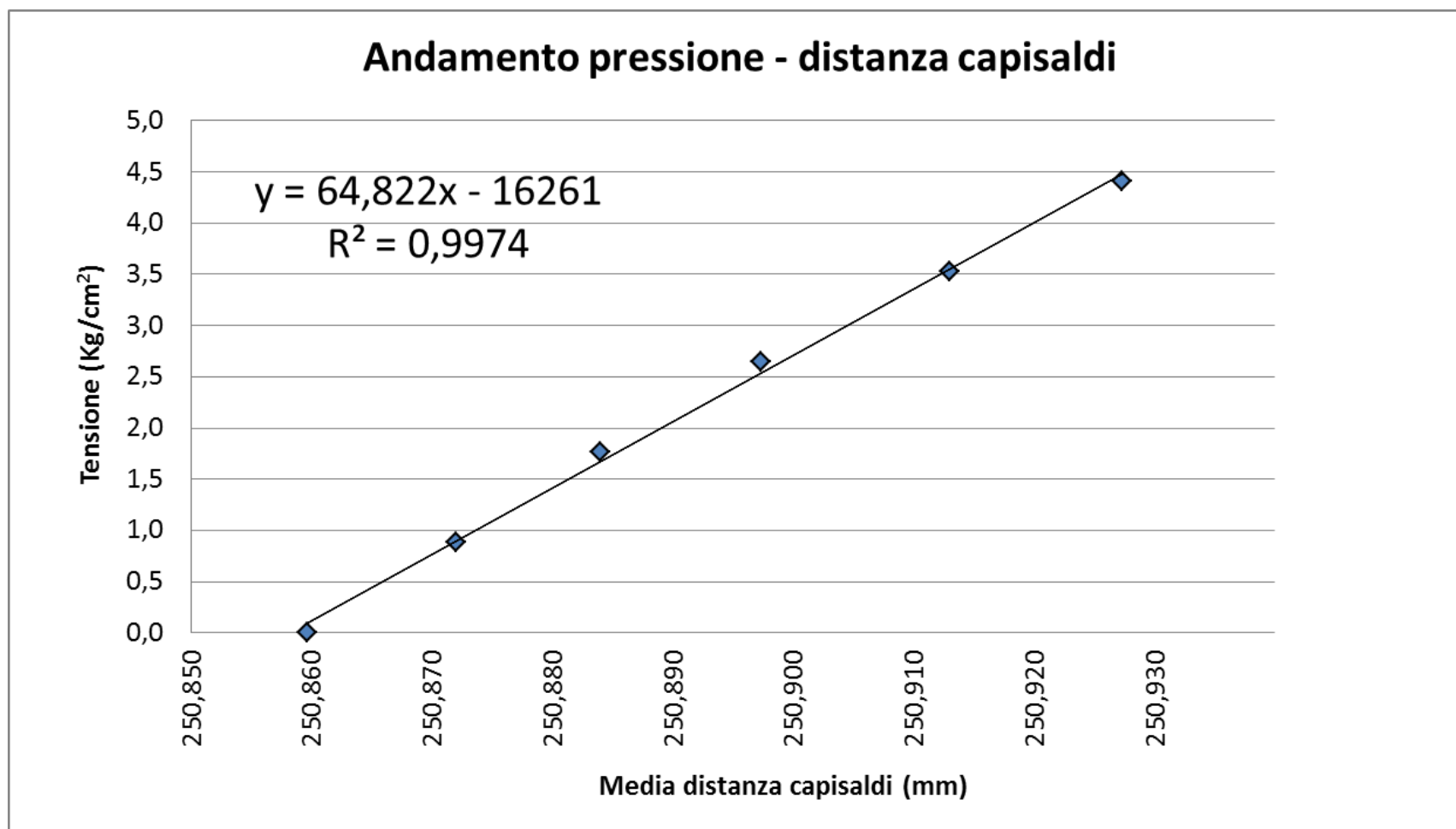
Pressione in situ (per interpolazione)

Media distanza iniziale = **250,915 mm**

Tensione in situ ante taglio = **3,8 Kg/cm²**



ESEMPIO DI PROVA – RILIEVO DELLA TENSIONE IN SITU



ESEMPIO DI PROVA – RILIEVO DELLA TENSIONE IN SITU



ESEMPIO DI PROVA – RILIEVO DELLA TENSIONE IN SITU



Martinetti piatti in configurazione doppia

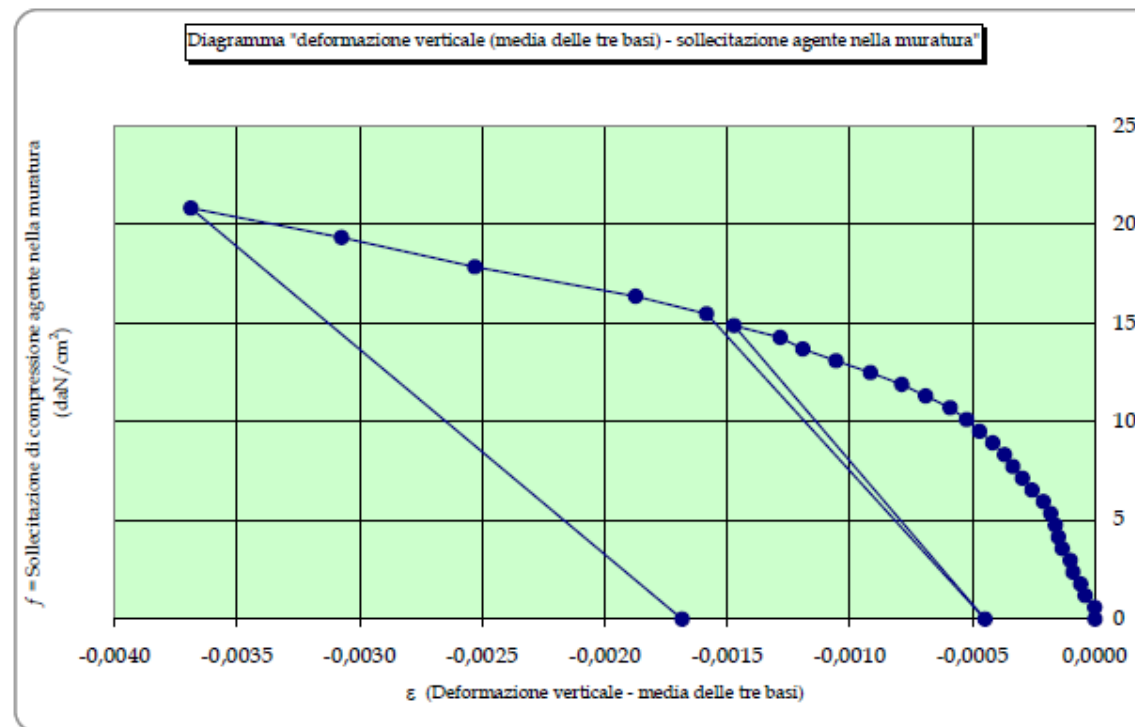
L'impiego dei martinetti piatti in configurazione doppia consente di valutare in situ le caratteristiche meccaniche delle murature, mediante il rilievo delle caratteristiche di deformazione.



La determinazione delle caratteristiche di deformazione della muratura viene effettuata praticando due tagli paralleli nei quali vengono inseriti due martinetti piatti, messi in pressione durante la prova.



La particolare condizione equivale ad una compressione monoassiale, in direzione ortogonale al piano di posa dei conci, della porzione di muratura compresa fra i due tagli, che consente la costruzione di un diagramma carico-deformazione, interpretando il quale è possibile determinare il modulo di elasticità longitudinale della muratura indagata

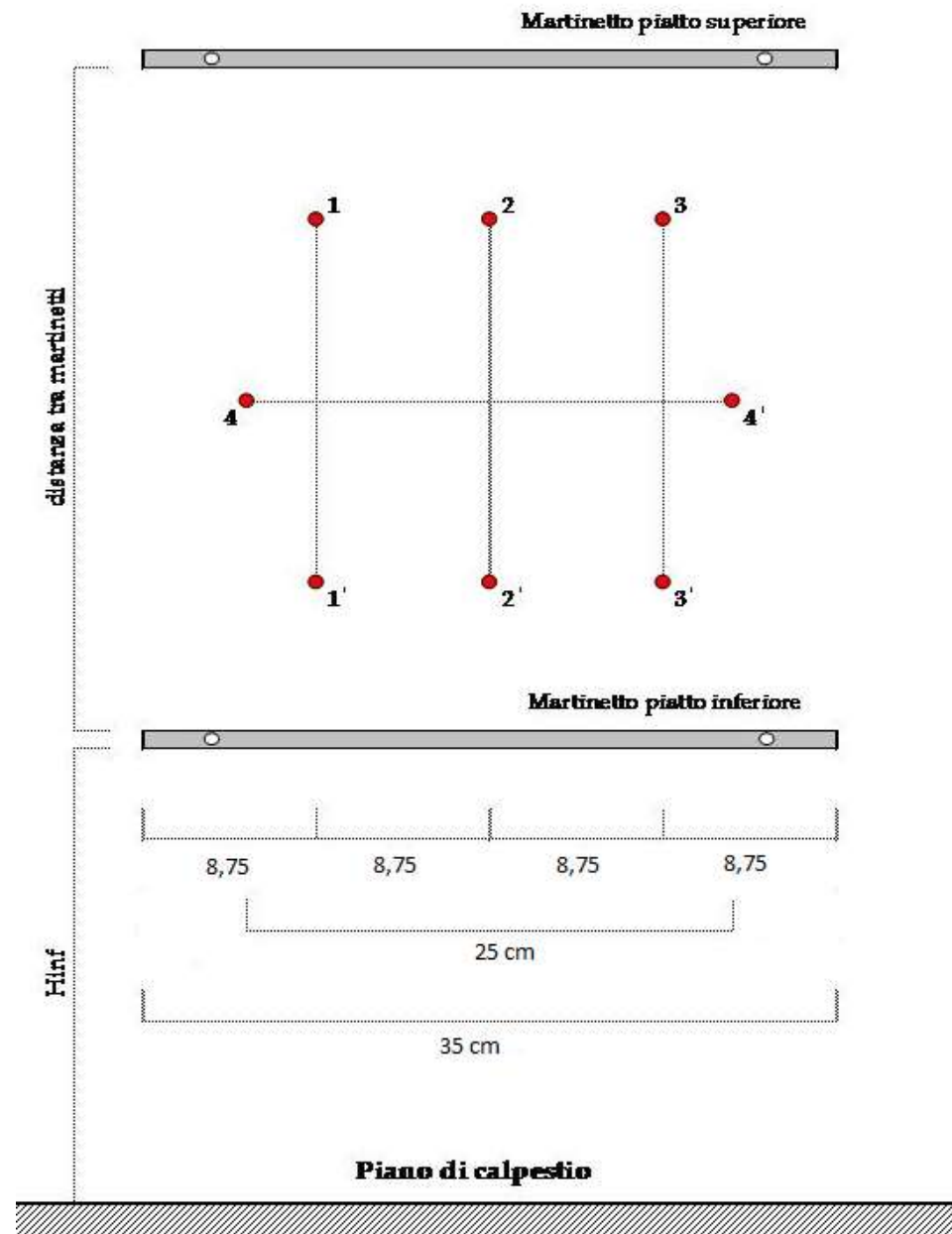


Determinazione della caratteristiche meccaniche murature

MODALITA' OPERATIVE

1. posizionamento mediante inghisaggio (o incollaggio), all'interno dei piani di taglio, di tre basi di misura verticali (1-1', 2-2', 3-3') e di una base di misura trasversale (4-4') ciascuna costituita da due capisaldi (spinotti o piastrine in acciaio) provvisti di sedi adatte ad ospitare i puntali di un deformometro meccanico rimovibile (necessarie a determinare il comportamento deformativo sotto carico, sia in direzione assiale che in direzione trasversale, della muratura contenuta all'interno dei tagli stessi);
2. esecuzione di due tagli posti sulla stessa verticale, ad una distanza sufficiente a contenere una porzione significativa di muratura (conci e ricorsi di malta);





3. introduzione dei due martinetti nelle tasche praticate nella muratura ed esecuzione della misura iniziale delle basi di misura verticali e trasversali a carico nullo;
4. pompaggio dell'olio in pressione all'interno dei martinetti eseguendo alcuni cicli di carico, incrementando gradualmente il livello di sollecitazione in modo da poter determinare i moduli di deformabilità a vari livelli di sollecitazione.
5. misura di precisione, rilevata al comparatore millesimale del deformometro, per la determinazione dei valori dell'effettive basi di misura verticali ed orizzontale nel corso della prova. Tali valori, opportunamente trasformati in deformazione, vengono messi in relazione con la tensione di compressione, fornendo così la curva che descrive il legame costitutivo.



Calcolo della tensione e del modulo elastico della muratura in situ

La **pressione** effettivamente applicata sulla muratura è calcolata con la seguente relazione:

$$\sigma = p \times (A_m / A_t) \times K_m$$

dove

A_m = area martinetto

A_t = valore medio delle due aree del taglio

K_m = valore medio dei due coefficienti di taratura dei martinetti

p = pressione erogata dai due martinetti (letta al manometro della pompa idraulica)

Il valore del **modulo di elasticità verticale della muratura** è determinabile come:

$$E = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon_v$$

dove:

$\Delta\sigma$ = intervallo di carico considerato

$\Delta\varepsilon_v$ = deformazione assiale corrispondente



ESEMPIO DI PROVA – RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE DI DEFORMAZIONE

MARTINETTI PIATTI IN CONFIGURAZIONE DOPPIA - RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE DI DEFORMAZIONE

Cantiere: **[REDACTED]** Data: 25/10/2012

Strumento utilizzato: Deformometro meccanico avente sensibilità millesimale (0,001 mm)

Base di misura del deformometro: 250,000 mm

Barra di taratura: 250,000 mm

Campo di misura del deformometro: +/- 5,000 mm

Punto di misura: **Dm1 - Muro tra porticato del chiostro e palestra**

K_m = coefficiente di taratura del martinetto (da 0 a 9 bar) = 0,860

K_m = coefficiente di taratura del martinetto (> 10 bar) = 0,900

P = pressione letta al manometro

K_a = **A_m / A_t** = area martinetto / media area taglio = 0,979

σ = sollecitazione agente sulla muratura

A_m = **area martinetto** = 773,22 cm²

(σ = P x K_m x K_a)

A_{ts} = area taglio superiore = 790 cm²

ε = deformazione longitudinale

A_{ti} = area taglio inferiore = 790 cm²

(ε = (L - L₀) / L₀)

A_t = **media delle aree di taglio** = 790 cm²

H martinetto sup. = 140 cm

H martinetto inf. = 61 cm



ESEMPIO DI PROVA – RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE DI DEFORMAZIONE

MARTINETTI PIATTI IN CONFIGURAZIONE DOPPIA - RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE DI DEFORMAZIONE

Cantiere: _____ Data: 11/12/2015

Strumento utilizzato: *Deformometro meccanico avente sensibilità millesimale (0,001 mm)*

Base di misura del deformometro: **250,000 mm**

Barra di taratura: **250,000 mm**

Campo di misura del deformometro: **+/- 5,000 mm**

Punto di misura: **DM - Muro interno tra vano scala e portico**

K_m = coefficiente di taratura del martinetto (da 0 a 9 bar) = 0,893

K_m = coefficiente di taratura del martinetto (> 10 bar) = 0,893

P = pressione letta al manometro

$K_a = A_m / A_t$ = area martinetto / media area taglio = 0,991

σ = sollecitazione agente sulla muratura
($\sigma = P \times K_m \times K_a$)

A_m = area martinetto = 773,22 cm²

A_{ts} = area taglio superiore = 780 cm²

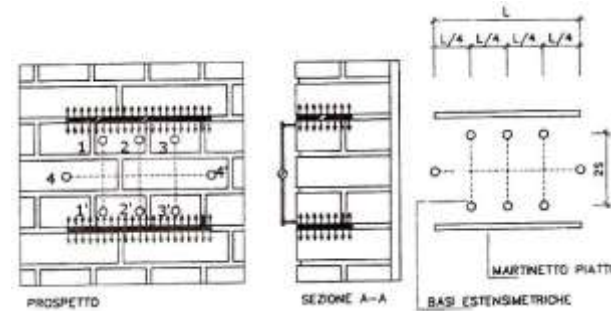
ϵ = deformazione longitudinale
($\epsilon = (L - L_0) / L_0$)

A_{ti} = area taglio inferiore = 780 cm²

A_t = media delle aree di taglio = 780 cm²

H martinetto sup. = 145

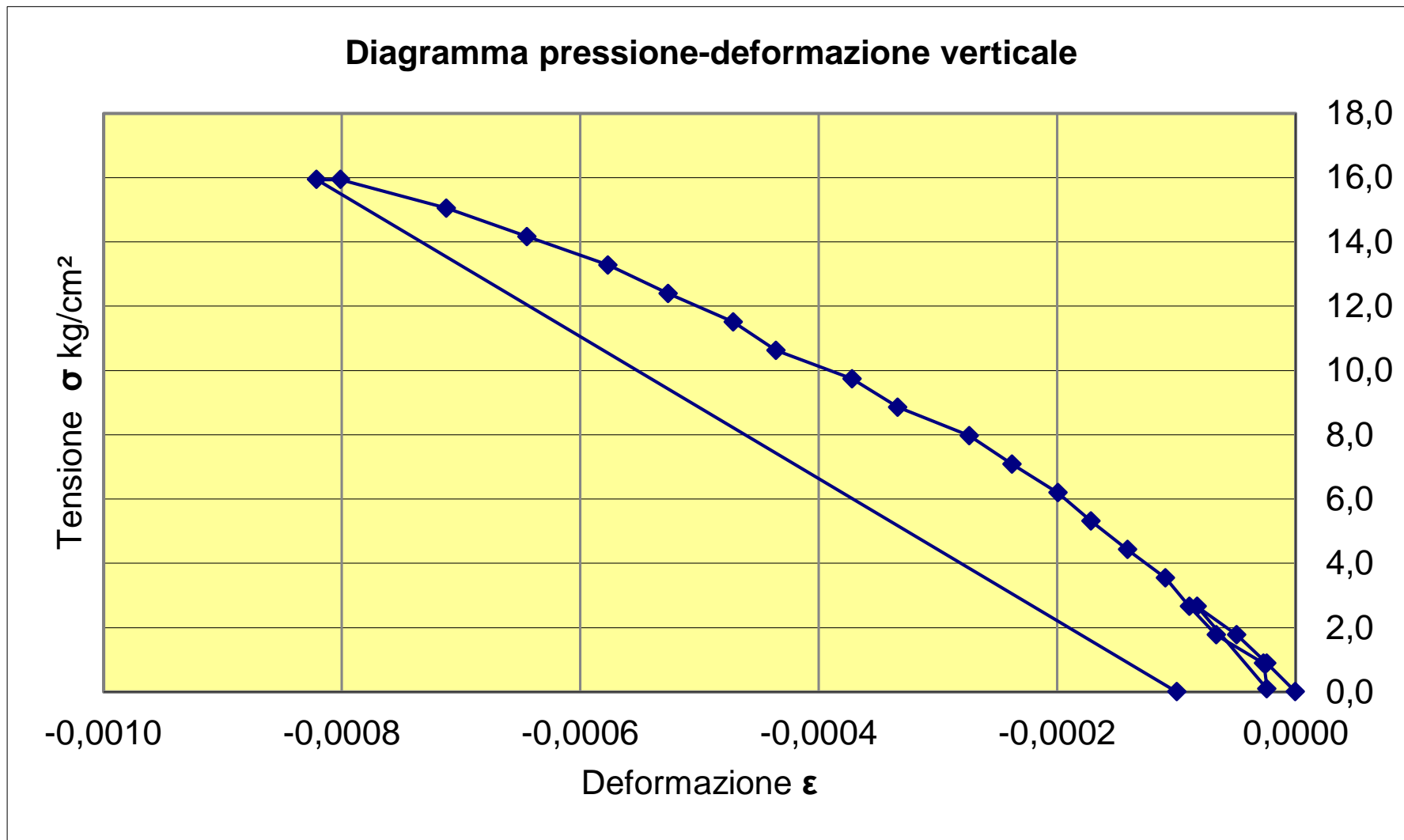
H martinetto inf. = 74



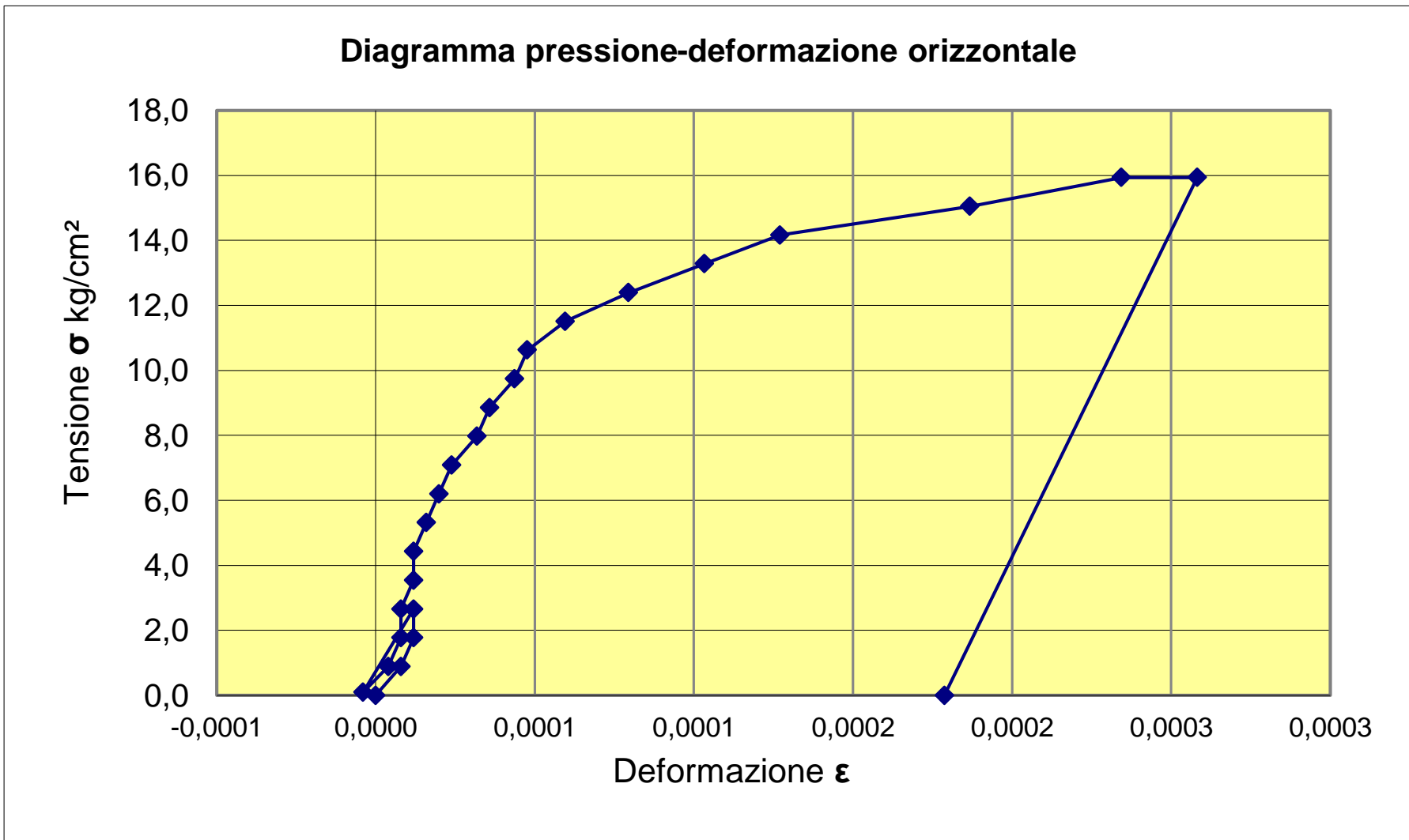
MARNETTI PIATTI IN CONFIGURAZIONE DOPPIA - TABELLA DI PROVA

P (bar)	σ (Kg/cm ²)	Letture alla barra di taratura (mm)	Verticali				Orizzontali				Misura effettiva delle basi di misura (mm)								Deformazioni ϵ (mm/mm)				
															Verticali		Orizzontale						
			1-1'	2-2'	3-3'	4-4'	1-1'	2-2'	3-3'	4-4'	1-1'	2-2'	3-3'	4-4'	1-1'	2-2'	3-3'	media 1-2-3	4-4'				
0,0	0,0	4,825	4,568	7,756	4,558	6,507	249,743	252,931	249,733	251,682	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000						
1,0	0,9	4,825	4,563	7,749	4,552	6,509	249,738	252,924	249,727	251,684	-0,000020	-0,000028	-0,000024	-0,000024	-0,000024	0,000008	0,000008						
2,0	1,8	4,825	4,557	7,742	4,546	6,510	249,732	252,917	249,721	251,685	-0,000044	-0,000055	-0,000048	-0,000048	-0,000049	0,000012	0,000012						
3,0	2,7	4,825	4,549	7,733	4,538	6,510	249,724	252,908	249,713	251,685	-0,000076	-0,000091	-0,000080	-0,000080	-0,000082	0,000012	0,000012						
0,1	0,1	4,825	4,565	7,745	4,554	6,506	249,740	252,920	249,729	251,681	-0,000012	-0,000043	-0,000016	-0,000016	-0,000024	-0,000004	-0,000004						
1,0	0,9	4,825	4,563	7,749	4,550	6,508	249,738	252,924	249,725	251,683	-0,000020	-0,000028	-0,000032	-0,000032	-0,000027	0,000004	0,000004						
2,0	1,8	4,825	4,555	7,736	4,541	6,509	249,730	252,911	249,716	251,684	-0,000052	-0,000079	-0,000068	-0,000068	-0,000066	0,000008	0,000008						
3,0	2,7	4,825	4,550	7,728	4,537	6,509	249,725	252,903	249,712	251,684	-0,000072	-0,000111	-0,000084	-0,000084	-0,000089	0,000008	0,000008						
4,0	3,5	4,825	4,544	7,724	4,532	6,510	249,719	252,899	249,707	251,685	-0,000096	-0,000127	-0,000104	-0,000104	-0,000109	0,000012	0,000012						
5,0	4,4	4,825	4,537	7,715	4,524	6,510	249,712	252,890	249,699	251,685	-0,000124	-0,000162	-0,000136	-0,000136	-0,000141	0,000012	0,000012						
6,0	5,3	4,825	4,530	7,705	4,518	6,511	249,705	252,880	249,693	251,686	-0,000152	-0,000202	-0,000160	-0,000160	-0,000171	0,000016	0,000016						
7,0	6,2	4,825	4,526	7,698	4,508	6,512	249,701	252,873	249,683	251,687	-0,000168	-0,000229	-0,000200	-0,000200	-0,000199	0,000020	0,000020						
8,0	7,1	4,825	4,517	7,688	4,498	6,513	249,692	252,863	249,673	251,688	-0,000204	-0,000269	-0,000240	-0,000240	-0,000238	0,000024	0,000024						
9,0	8,0	4,826	4,508	7,680	4,491	6,516	249,682	252,854	249,665	251,690	-0,000244	-0,000304	-0,000272	-0,000272	-0,000274	0,000032	0,000032						
10,0	8,9	4,850	4,522	7,688	4,496	6,541	249,672	252,838	249,646	251,691	-0,000284	-0,000368	-0,000348	-0,000348	-0,000333	0,000036	0,000036						
11,0	9,7	4,851	4,514	7,679	4,487	6,544	249,663	252,828	249,636	251,693	-0,000320	-0,000407	-0,000388	-0,000388	-0,000372	0,000044	0,000044						
12,0	10,6	4,852	4,502	7,662	4,471	6,546	249,650	252,810	249,619	251,694	-0,000372	-0,000478	-0,000456	-0,000456	-0,000436	0,000048	0,000048						
13,0	11,5	4,852	4,492	7,656	4,460	6,549	249,640	252,804	249,608	251,697	-0,000412	-0,000502	-0,000501	-0,000501	-0,000472	0,000060	0,000060						
14,0	12,4	4,852	4,480	7,642	4,445	6,554	249,628	252,790	249,593	251,702	-0,000460	-0,000557	-0,000561	-0,000561	-0,000526	0,000079	0,000079						
15,0	13,3	4,852	4,469	7,625	4,435	6,560	249,617	252,773	249,583	251,708	-0,000505	-0,000625	-0,000601	-0,000601	-0,000577	0,000103	0,000103						
16,0	14,2	4,852	4,452	7,611	4,415	6,566	249,600	252,759	249,563	251,714	-0,000573	-0,000680	-0,000681	-0,000681	-0,000644	0,000127	0,000127						
17,0	15,0	4,852	4,438	7,590	4,399	6,581	249,586	252,738	249,547	251,729	-0,000629	-0,000763	-0,000745	-0,000745	-0,000712	0,000187	0,000187						
18,0	15,9	4,852	4,420	7,562	4,378	6,593	249,568	252,710	249,526	251,741	-0,000701	-0,000874	-0,000829	-0,000829	-0,000801	0,000234	0,000234						
18,0	15,9	4,852	4,417	7,558	4,370	6,599	249,565	252,706	249,518	251,747	-0,000713	-0,000890	-0,000861	-0,000861	-0,000821	0,000258	0,000258						
0,0	0,0	4,852	4,573	7,749	4,566	6,579	249,721	252,897	249,714	251,727	-0,000088	-0,000134	-0,000076	-0,000076	-0,000100	0,000179	0,000179						

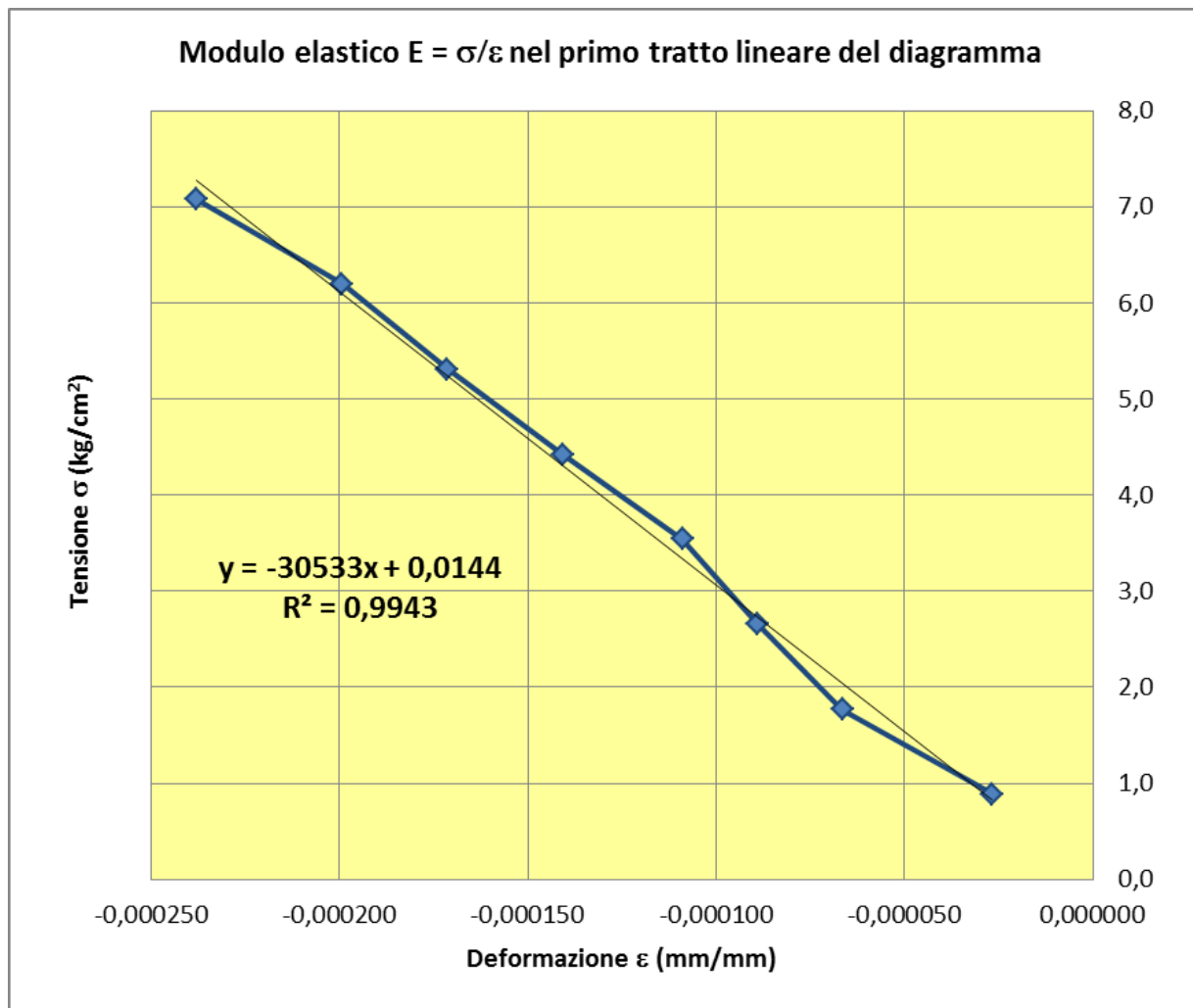
ESEMPIO DI PROVA – RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE DI DEFORMAZIONE



ESEMPIO DI PROVA – RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE DI DEFORMAZIONE



ESEMPIO DI PROVA – RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE DI DEFORMAZIONE



$E = 30.533 \text{ Kg/cm}^2$



ESEMPIO DI PROVA – RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE DI DEFORMAZIONE



ESEMPIO DI PROVA – RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE DI DEFORMAZIONE



Bibliografia

Leggi, Norme e Raccomandazioni

- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008).
- ASTM International C1196-09 “Standard test method for in situ compressive stress within solid unit masonry estimated using the flatjack method”.
- ASTM International C1197-09 “Standard test method for in situ measurement of masonry deformability properties using the flatjack method”.

Libri

- S. Bufarini - V. D’Aria - R. Giacchetti, *Il Controllo strutturale degli edifici in cemento armato e muratura II ed.*, EPC Libri 2010.
- S. Bufarini - V. D’Aria - S. Mineo - D. Squillacioti, *Monitoraggio delle strutture*, EPC Libri 2010.
- Zizzi - S. Mineo - S. Bufarini - V. D’Aria, *Controlli e verifiche delle strutture di calcestruzzo in fase di esecuzione*, EPC Editore.
- S. Bufarini - V. D’Aria - D. Squillacioti, *COLLAUDO STATICO: prove di carico su solai ed impalcati*, EPC Editore.
- S. Bufarini, V. D’Aria, D. Squillacioti - “Meccanica delle murature” – EPC Libri.

