

Edifici in muratura

Resistenza degli elementi di muratura

Catania, 20 aprile 2004

Bruno Calderoni

DAPS, Università di Napoli Federico II

Resistenza a compressione degli elementi (pietre naturali o mattoni artificiali)

INITIAL TESTS FOR BRICK/BLOCK

A) FOR NATURAL STONE BLOCK :

- THE STONE BLOCKS OF EACH QUARRY HAVE TO BE PERIODICALLY TESTED FOR ENSURING THE MAINTENANCE OF THE RESISTANCE PROPERTIES.
- EACH TIME 30 ~~30~~ ELEMENTS SHALL BE BROKEN IN COMPRESSION FOR EVALUATING THE CHARACTERISTIC COMPRESSIVE STRENGTH (f_{bk}):

$$f_{bk} = 0.75 f_{bm}$$

↳ mean value of the 30 results

- FOR TUFF BLOCK, IN PARTICULAR, IT NEEDS THAT

$$f_{bm} \geq 2.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{bmin} > 1.5 \quad "$$

B) FOR ARTIFICIAL CLAY BRICK :

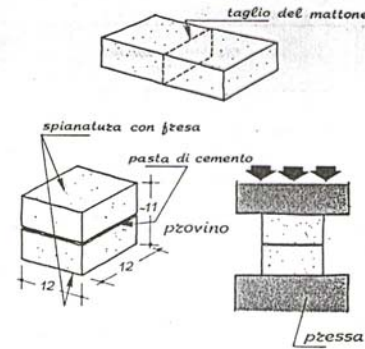
(WITH OR WITHOUT HOLLOW)

THE PRODUCTION HAS TO BE CERTIFIED (AS WELL AS STEEL AND CEMENT) BY MEANS OF OFFICIAL CONTROLS PERFORMED ONCE IN A YEAR. COMPRESSIVE TESTS ARE CARRIED OUT BY LOADING THE BRICK ~~ALONG~~ TWO DIFFERENT DIRECTION :

- a) THE DIRECTION OF LOADS IN THE ACTUAL WALL
- b) THE DIRECTION ORTHOGONAL TO THE ONE OF LOADS IN THE WALL

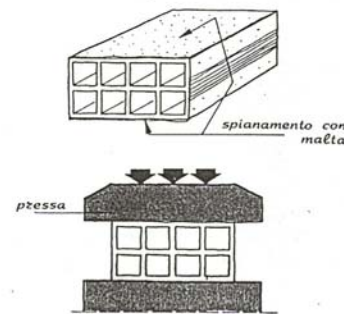
BRICK COMPRESSIVE TEST

BRICKS W/O HOLES

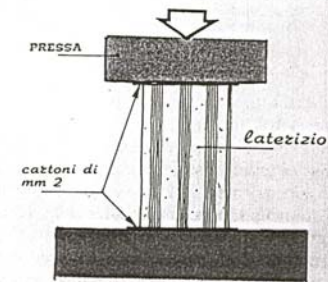


TESTING
PROCEDURE

HOLLOW BRICKS



TESTING ALONG
THE ACTUAL LOAD
DIRECTION



TESTING ALONG
THE DIRECTION
ORTHOGONAL
TO THE ACTUAL
LOAD

Prove di rottura a compressione su elementi artificiali (mattoni e blocchi)

Prove di rottura a compressione su elementi artificiali (mattoni e blocchi)

EVALUATION OF CHARACTERISTIC VALUE (f_{bk})

- FOR COMPRESSION ALONG WALL LOADING DIRECTION :

$$f_{bk} = f_{bm} - 1.64 s \quad (f_{bk} = 0.75 f_{bm})$$

↑ FOR NATURAL STONE BLOCK

where :

f_{bm} = mean value of compressive resistance obtained by at least 30 tests.

s = standard deviation

it must be verified :

$$\frac{s}{f_{bm}} \leq 0.2$$

- FOR COMPRESSION ORTHOGONAL TO THE WALL LOADING DIRECTION :

$$\bar{f}_{bk} = 0.7 \bar{f}_{bm}$$

where :

\bar{f}_{bm} = mean value of compressive resistance obtained by at least 6 tests

Resistenza a compressione delle rocce più comuni

R O C C E	Carichi di rottura su cubetti in Kgcm ⁻²			
	scadenti di scarto	normali	ottimi	medie generali
GRANITI	572-1000 non rari	1000-2000 comuni	2000-4144 frequenti	1635
SIENITI	879			1478
DIORITI	1300			1840
PORFIDI	620-1000 non rari	1000-2500 comuni	2500 frequenti	1909
TRACHITI	149-800	1000-1800	2251	1500 *
R.cce LEUCITICHE	1189-1500 più freq.	1500-2000 comuni	2000-2357 non rari	1748
BASALTI	835-2000 non rari	2000-4000 molto com.	4000-5071 piut. freq.	3241
TUFI VULCANICI **	3-30 freq.	30-70 molto comun.	70-187 rari	71
CALCARI (cal.dol.)	45-500 rari	500-1500 comuniss.	1500-2200 non rari	845
DOLOMIE	390			1098
TUFI CALCAREI (arenar. Conchig)	7-56	9-455 i più comuni	38-455	86
TRAVERTINI	38			458
ALABASTRI	531		1200	680
QUARZITI	2580		3200	2862
Congl. (brecce bregle pudd)	89-800 freq.	800-1500 comuni	1500 freq.	750
ARENARIE	70-400 non rari	400-1300 comuni	1300 non rari	790
MARMI	190-1000 rari	1000-1400 molto com.	1400 freq.	1113
CIPOLLINO	1150	1500	1500	1325
GNEISS	530	800-1900	1950	1104
ALTRI SCISTI	290		1500	700 ?
SERPENTINI	680		2654	1560

(*) Non tenendo conto dei valori troppo bassi.

(**) Per murature correnti si potrà considerare un carico di rottura medio di 40 Kgcm⁻², avendo accertato che la malta ha consistenza non inferiore ai tufo e non esistono vuoti.

Resistenza a trazione delle rocce più comuni

R O C C E	SCADENTE E DI SCARTO	Carico di rottura a trazione in $\text{Kgc}m^{-2}$		
		NORMALE	OTTIMO	MEDIA
GRANITI	6,4 - 20 non rari	20-60 molto com.	60-81 non rari	37
PORFIDI		51	70	60
TRACHITI		25	45	35
TUFI VULCANICI				7,7
CALCARI	9 - 30 non rari	30-70 molto com.	70-103 più freq.	50
DOLOMIE	10	28		21
ARENARIE	4,2-10 non rari	10-40 comuniss.	40-101 rari	19
MARMI	30		90	40
SERPENTINO	56	104		80
BASALTI				

Per le murature di tufo eseguite prima del 1950 con la tecnologia corrispondente all'impiego di pietre sbozzate, accertata una efficiente tessitura nell'ambito dei filoni, si può adottare una resistenza ultima a trazione pari a $4 \text{ Kgc}m^{-2}$.

Resistenza delle malte

INITIAL TESTS FOR MORTAR

- WITH REFERENCE TO COMPOSITION, RESISTANCE PROPERTIES OF MORTAR HAVE TO BE OBTAINED BY TESTING :
 - FLEXURAL TENSILE STRENGTH
 - ULTIMATE COMPRESSIVE STRENGTH
- THE TESTING PROCEDURE ARE THE SAME USED FOR CEMENT : (D.M. 3/6/68)
 - AT LEAST 3 SPECIMENS (4x4x16 cm SIZED) HAVE TO BE TESTED, FIRSTLY IN BENDING AND THEN IN COMPRESSION (ON THE OBTAINED 6 PARTS).
- THE MORTARS ARE CLASSIFIED DEPENDING ON THE COMPRESSIVE RESISTANCE :

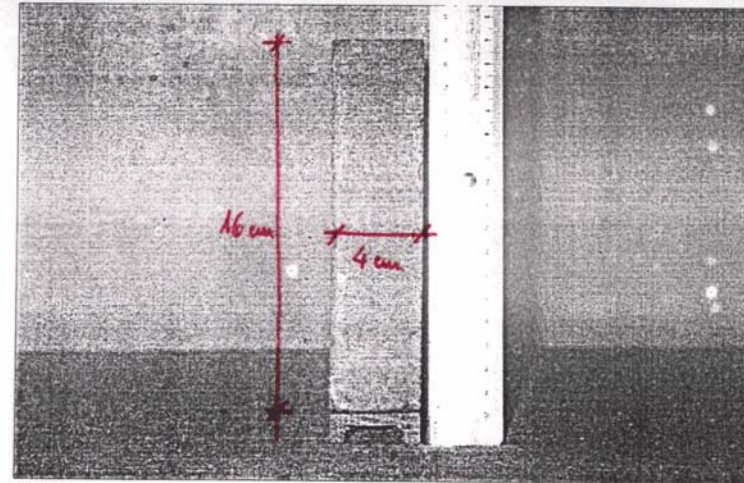
GROUP	RESISTANCE (N/mm ²)
M1	> 12
M2	> 8
M3	> 5
M4	> 2.5

OR ACCORDING THEIR COMPOSITION (BY VOLUME)

	CEMENTO	CALCE AEREA	CALCE IDRAULICA	SABBIA	POZZOLANICA
M1 - CEMENTIZIA	1	-	-	3	-
M2 - CEMENTIZIA	1	-	0.5	4	-
M3 - BASTARDA	1	-	1	5	-
M4 - BASTARDA	1	-	2	9	-
M4 - POZZOLANICA	-	1	-	-	3
M4 - IDRAULICA	-	-	1	3	-

CEMENT RESISTANCE TEST

SAMPLE FOR TESTING

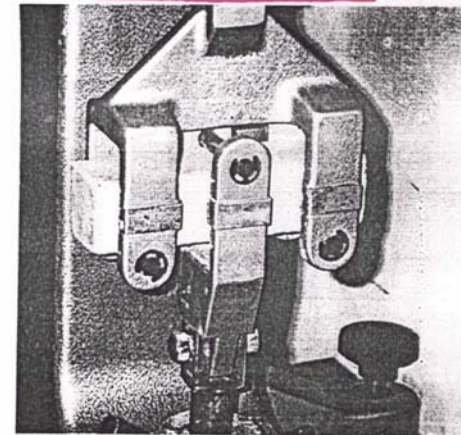


Prove di resistenza
sulle malte

PREPARATION
OF SAMPLES



TENSILE RESISTANCE
FOR BENDING TEST



THE TWO PARTS OBTAINED FROM BENDING TEST
ARE USED FOR COMPRESSIVE RESISTANCE TEST.

Prove su malte e
mattoni durante la
costruzione

TESTS AND CHECKING DURING CONSTRUCTION

THE "DIRECTOR OF WORKS" HAS TO CHECK BEFORE AND DURING CONSTRUCTION THE RESISTANCE PROPERTIES OF :

- MORTAR
- BRICK
- MASONRY

A) TESTS ON MORTAR

PERIODICALLY COMPRESSIVE ~~TEST~~ TEST ON THREE SPECIMENS HAS TO BE CARRIED OUT FOR CHECKING THE UNIFORMITY OF THE MORTAR PRODUCTION.

B) TESTS ON BRICK/BLOCK

EACH SUPPLY OF BRICKS CAN BE CHECKED BY COLLECTING AT LEAST THREE ELEMENTS TO TEST IN COMPRESSION.

FOR ACCEPTING THE SUPPLY IT ~~MUST~~ BE HAPPEN:

$$f_{bm} \geq 1.20 f_{bk}$$

$$f_{bmin} \geq 0.90 f_{bk}$$

where :

f_{bm} = mean value of compressive resistance obtained by the 3 tests

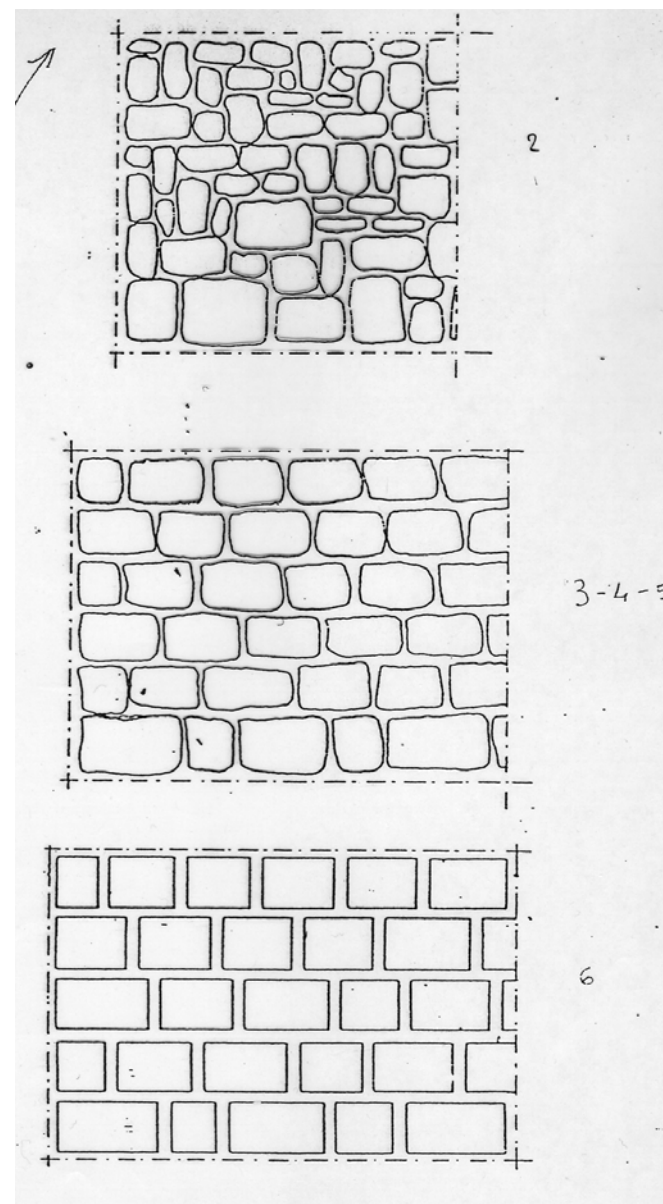
f_{bmin} = minimum obtained value

f_{bk} = compressive characteristic resistance prescribed in design.

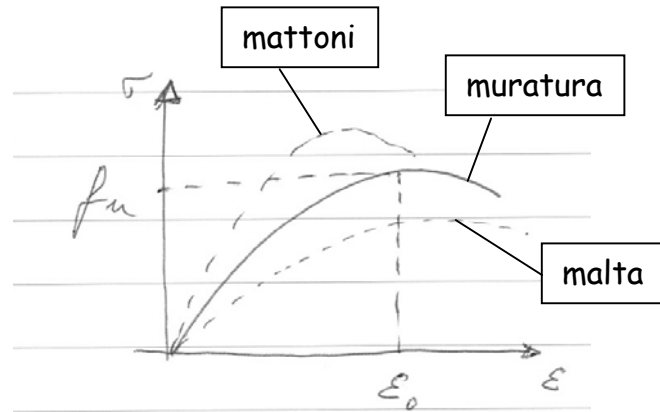
TIPI DI MURATURA

(Classificazione statica - CESUN 1983)

	TIPO DI MURATURA	σ_{AMM} [kg/cm ²]
1	Muratura a secco (senza malta).	1
2	Muratura con pietre alla rinfusa poco lavorate.	2
3	Muratura a strati con pietre lavorate.	3
4	Muratura non regolare a strati o corsi.	4
5	Muratura regolare a strati (es. normale muratura di tufo).	5
6	Muratura a conci di pietra.	6
7	Muratura a conci di pietra con rinforzi in mattoni di laterizio nelle spalle dei vani, negli spigoli, o listata.	7
8	Muratura in pietra da taglio, con blocchi squadrati con cura (quasi senza malta) ma con grappe metalliche.	8
9	Muratura in mattoni di laterizio pieni.	6-10



Resistenza a compressione della muratura (normale ai letti di malta)



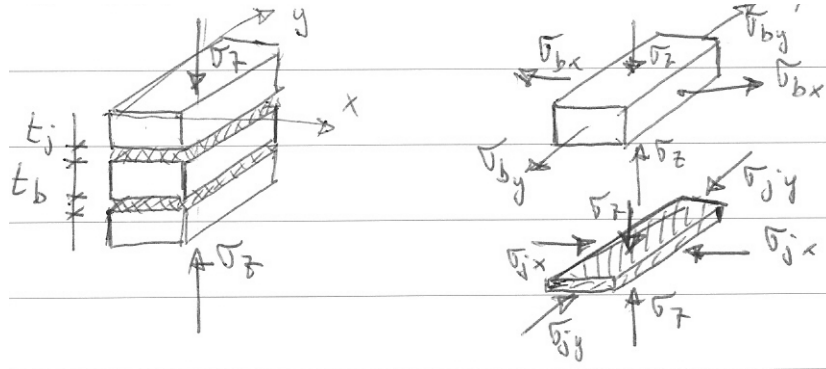
Fattori influenzanti:

- ELEMENTI (resistenza, geometria, deformabilità)
- MALTA (resistenza, deformabilità, spessore giunti)
- ACQUA (assorbimento mattoni, ritenzione malta)
- GEOMETRIA (tessitura, sistema costruttivo)

Crisi per compressione:

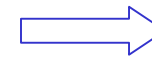
- Sviluppo progressivo di **fessure verticali** negli elementi (per **trazione ortogonale** alla compressione)
- La trazione è dovuta alla **coazione tra malta ed elementi** a causa del diverso comportamento deformativo)
- La malta è confinata dagli elementi e quindi nasce uno stato di **compressione triassale**
- Per questo motivo la muratura (e quindi anche la malta) può resistere a sforzi di compressione **maggiori della resistenza monoassiale della malta**

Resistenza a compressione della muratura: modello teorico elastico (Haller, Francis, Tassios..)



Ipotesi:

- MATTONI
- MALTA



Omogenei ed isotropi a comportamento elastico lineare

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_{bx} &= \frac{1}{E_b} [\sigma_{bx} + \nu_b (\sigma_z - \sigma_{by})] \\ \epsilon_{by} &= \frac{1}{E_b} [\sigma_{by} + \nu_b (\sigma_z - \sigma_{bx})] \end{aligned} \right\} \text{mattoni}$$

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_{jx} &= \frac{1}{E_j} [-\sigma_{jx} + \nu_j (\sigma_z + \sigma_{jy})] \\ \epsilon_{jy} &= \frac{1}{E_j} [-\sigma_{jy} + \nu_j (\sigma_z + \sigma_{jx})] \end{aligned} \right\} \text{malta}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bx} \cdot t_b &= \sigma_{jx} \cdot t_j \xrightarrow{\alpha = t_j/t_b} \sigma_{bx} = \alpha \sigma_{jx} \\ \sigma_{by} \cdot t_b &= \sigma_{jy} \cdot t_j \xrightarrow{\alpha = t_j/t_b} \sigma_{by} = \alpha \sigma_{jy} \end{aligned} \right\} \leftarrow \text{EQUILIBRIO}$$

$$\epsilon_{bx} = \epsilon_{jx} \quad \epsilon_{by} = \epsilon_{jy} \quad \leftarrow \text{CONGRUENZA}$$

$$\sigma_{bx} = \sigma_{by} = \frac{\alpha (\nu_j - \beta \nu_b)}{1 + \alpha \beta - \nu_j - \alpha \beta \nu_b} \cdot \sigma_z$$

dove: $\beta = E_j / E_b$

Resistenza a compressione della muratura: modello teorico elastico (Haller, Francis, Tassios..) (cont.)

Ipotesi sulla rottura
della muratura



La crisi del mattone per trazione (σ_t)
corrisponde alla rottura della muratura

Tensione di trazione nel mattone



$$\sigma_t = \sigma_{bx} = \sigma_{by}$$

Resistenza a **compressione** monoassiale del mattone



$$f_{bc}$$

Resistenza a **trazione** monoassiale del mattone



$$f_{bt} = \lambda \cdot f_{bc}$$

Criterio di **rottura del mattone**
(in condizioni triassiali)



$$\frac{\sigma_z}{f_{bc}} + \frac{\sigma_t}{\lambda \cdot f_{bc}} = 1$$

Resistenza della muratura

$$f_u = \frac{1}{1 + \frac{\alpha(v_j - \beta v_b)}{\lambda(1 + \alpha\beta - v_j - \alpha\beta v_b)}} \cdot f_{bc}$$

Aspetti positivi:

- La rottura a compressione deriva da coazioni fra i materiali
- Corretta influenza dello spessore dei giunti

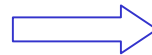
Aspetti negativi:

- Necessaria conoscenza qualitativa delle costanti elastiche (v ed E)
- Comportamento elastico lineare fino a rottura

Resistenza a compressione della muratura: modello teorico elastico (Hilsdorf)

Stesse ipotesi sul comportamento elastico dei materiali

Diversa ipotesi sulla rottura
della muratura



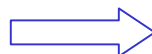
La rottura della muratura si ha quando contemporaneamente si perviene alla crisi per comp.-trazione dei mattoni e per compressione triassiale della malta

Criterio di **rottura del mattone**
(in condizioni triassiali)



$$\frac{\sigma_z}{f_{bc}} + \frac{\sigma_t}{1 \cdot f_{bc}} = 1$$

Criterio di **rottura della malta**
(in condizioni triassiali)



$$\sigma_z = f_j + 4,1 \cdot \sigma_{jx}$$

Resistenza a **compressione**
monoassiale della malta

Resistenza della muratura

$$f_m = \frac{f_{bc}}{\mu_m} \cdot \frac{(f_{bt} + \alpha' f_j)}{(f_{bt} + \alpha' f_{bc})}$$

dove: $\alpha' = t_j / (4,1 \cdot t_b)$

$$\mu_m = 1,1 \div 2,5$$

coeff. di non uniformità degli sforzi nei mattoni e nei giunti
(diminuisce all'aumentare della resistenza della malta)

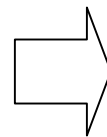
Resistenza a compressione della muratura: conclusioni sui modelli teorici

- La resistenza **augmenta** all'augmentare di quella dei componenti, ma in modo **non proporzionale**
- Se la **malta** è molto **buona**, l'augmento della **resistenza** degli **elementi** fa augmentare velocemente la resistenza della muratura (lentamente se la **malta** è **scadente**)
- La resistenza della muratura **augmenta** molto più **lentamente** all'augmentare della **resistenza** della **malta**
- La resistenza **diminuisce** all'augmentare dello **spessore dei giunti** (tanto più quanto più la malta è scadente)

Influenzano la resistenza anche:

- i giunti verticali
- la tessitura degli elementi
- l'esecuzione della malta
- la qualità dei giunti

(FATTORI EMPIRICI)



FORMULAZIONI SEMI-EMPIRICHE

EC6

$$f_k = k \cdot f_b^2 \cdot f_m^\beta$$

Coef. per il tipo di
elementi (0.4-0.6)

Resistenza
elementi

Resistenza
malta

D.M.87

Valori tabellati
 $F(f_b, f_m)$

**Resistenza della
muratura secondo
D.M. 20/11/87**

Valori tabellari

• LA RESISTENZA CARATTERISTICA A COMPRESSIONE (f_k) SI PUO' DETERMINARE ANCHE IN BASE ALLE CARATTERISTICHE DEI COMPONENTI (f_{bk} - TIPO DI MALTA) SEMPRECHE' :

- I GIUNTI ORIZZONTALI E VERTICALI SIANO RIEMPIITI COMPLETAMENTE DI MALTA CON SPESSORE $5 \text{ mm} \leq \text{SP.} \leq 15 \text{ mm}$.

TIPO DI MALTA		M4	M3	M2	M1	
SOLO PER ELEMENTI NATURALI	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	(N/mm^2)
	2.0	1.2	1.2	1.2	1.2	
	3.0	2.0	2.2	2.2	2.2	
	5.0	3.0	3.3	3.4	3.5	
	7.5	3.5	4.1	4.5	5.0	
	10.0	4.1	4.7	5.3	6.2	
	15.0	5.1	6.0	6.7	8.2	

• RESISTENZA CARATTERISTICA A TAGLIO :

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4 \sigma_m < f_{vklim} = 1.4 f_{bk}$$

f_{vk} : resistenza caract. a taglio in presenza di carichi verticali
 f_{vko} : resistenza caract. a compressione in dir. orizz. (solo per elementi artificiali)
 σ_m : tensione media di compressione

SI DETERMINA SPERIMENTALMENTE O IN BASE ALLE CARATTERISTICHE DEI COMPONENTI

	f_{bk} (N/mm^2)	TIPO DI MALTA	f_{vko} (N/mm^2)
MURATURE CON ELEMENTI ARTIFICIALI IN LATERIZIO	≤ 15	M1-M2-M3-M4	0.2
	> 15	M1-M2-M3-M4	0.3
MURATURE CON ELEMENTI ARTIFICIALI IN CALCESTRUZZO O CON ELEMENTI IN PIETRA NATURALE SQUA.	≤ 3	M1-M2-M3 M4	0.1 0.1
	> 3	M1-M2-M3 M4	0.2 0.1

Resistenza della
muratura secondo
D.M. 20/11/87

Prove su muretti

C) TEST FOR MASONRY

- **CHARACTERISTIC COMPRESSIVE STRENGTH (f_k)**
- IT IS OBTAINED BY TESTING ENTIRE "LITTLE WALLS"
~~CONSTRUCTION~~ BUILT UP ~~IN~~ IN THE SAME WAY OF
THE ACTUAL WALL;
- AT LEAST 6 WALLS ARE TO BE TESTED IN COMPRESSION
- THE CHARACTERISTIC VALUE IS GIVEN BY:

$$f_k = f_m - k s$$

where:

f_m = mean value

s = standard deviation

k = coefficient depending on
number of specimens

m	k
6	2.33
8	2.19
10	2.10
20	1.93

- **CHARACTERISTIC SHEAR STRENGTH (f_{vk0})**
- IT IS OBTAINED BY MEAN OF DIAGONAL
COMPRESSIVE TESTS ON "LITTLE WALLS"
- AT LEAST 6 WALLS ARE TO BE TESTED
- THE CHARACTERISTIC VALUE IS GIVEN BY:

$$f_{vk0} = 0.7 f_{vm}$$

↳ mean value

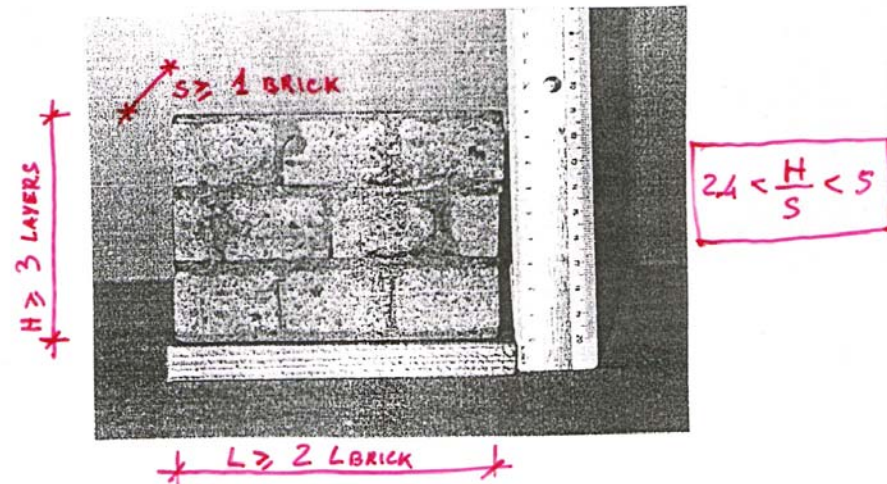
- THE CHARACTERISTIC OBTAINED VALUES
HAVE TO COMPLY WITH THE ONES
PRESCRIBED BY DESIGNER

Resistenza della
muratura secondo
D.M. 20/11/87

Prove su muretti

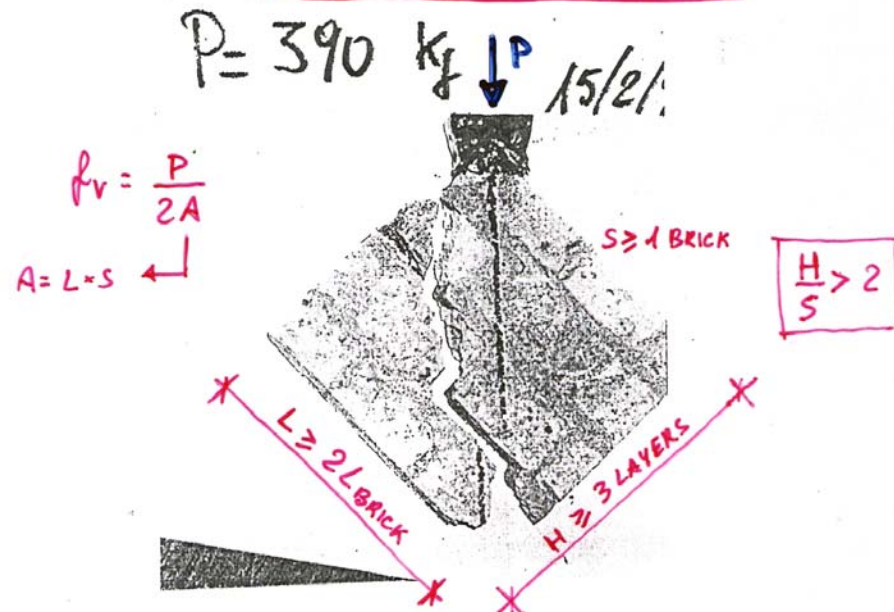
COMPRESSIVE TEST ON WALL

SAMPLE DIMENSION



DIAGONAL COMPRESSIVE TEST ON WALL

SAMPLE AFTER FAILURE



RESISTENZA DELLA MURATURA

CIRCOLARE MIN. LL.PP. 30/7/1981 :

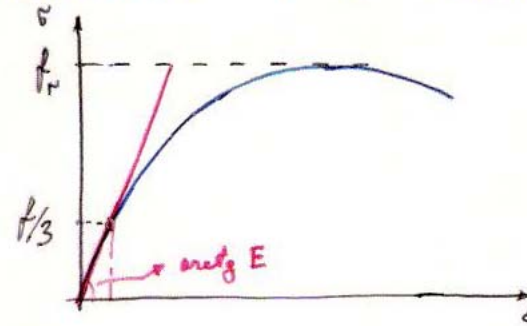
"ISTRUZIONI RELATIVE ALLA NORMATIVA TECNICA
PER LA RIPARAZIONE..... DEGLI EDIFICI IN MURATURA
DANNEGGIATI DAL SISMA"

Tabella 1

	TIPO DI MURATURA	τ_k (t/m^2)	σ_k (t/m^2)
MURATURE NON CONSOLIDATE NON LESIONATE	Mattoni pieni Malta bastarda	12	300
	Blocco modulare (con caratteristiche rispondenti alle prescrizioni DM 3-3-1975) (29 x 19 x 19 cm) Malta bastarda	8	250
	Blocco in argilla espansa o calcestruzzo Malta bastarda	18	300
	Murature in pietra (in presenza di ricorsi di mattoni estesi a tutto lo spessore del muro, il valore rappresentativo di τ_k può essere incrementato del 30%)		
	a) pietrame in cattive condizioni	2	50
	b) pietrame grossolanamente squadrato e ben organizzato	7	200
c) a sacco in buone condizioni	4	150	
	Blocchi di tufo di buona qualità	10	250
MURATURE NUOVE	Mattoni «pieni» con fori circolari Malta cementizia $R_m \geq 1450 t/m^2$	20	500
	Forati doppio UNI rapp. vuoto/pieno = 40% Malta cementizia $R_m \geq 1450 t/m^2$	24	500
MURATURE CONSOLIDATE	Mattoni pieni, pietrame squadrato, consolidate con 2 lastre in calcestruzzo armato da cm 3 (minimo)	18	500
	Pietrame iniettato Murature in pietra a sacco consolidate con due lastre in cls armato da cm 3 (minimo)	11 11	300 300

CARATTERISTICHE DI DEFORMAZIONE

• DIAGRAMMA σ - ϵ SPERIMENTALE



- MODULO DI ELASTICITA' E (a breve termine)

• DALLE PROVE SPERIMENTALI:

$E \rightarrow$ MODULO SECANTE AD UN TERZO DI f_r

• DA VALUTAZIONI EMPIRICHE:

$$E = 1000 f_k \quad G = 0.4E \quad \left(\frac{E}{G} = 2.5\right)$$

• DIAGRAMMA σ - ϵ DI PROGETTO

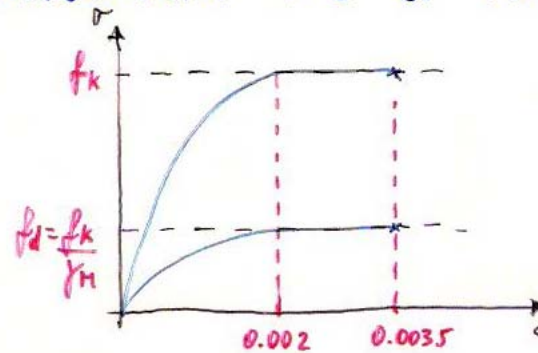
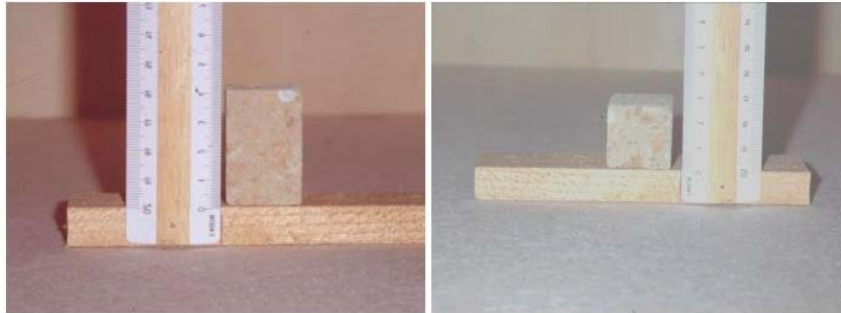


Diagramma σ - ϵ
secondo EC6

Mattoncini di tufo giallo napoletano

scala 1/10



$$f_{bm}^1 = 31.4 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{bm}^2 = 40.2 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{bk} = 0.75 \times 40.2 = 30.0 \text{ kg/cm}^2$$

Malte

- A) – cementizia (M1)
- B) – pozzolanica di calce (<M4)
- C) – premiscelata ad alta resistenza (>M1)



Resistenza a compressione delle malte

Malta	A	B	C
f (MPa)	12.5	1.56	42.5

Resistenza a compressione della muratura



Risultati delle prove di schiacciamento su muretti a filari orizzontali

Malta	Valori di f_t ottenuti nelle singole prove (MPa)								f_m (MPa)	f_k (MPa)
A	2.47	2.77	2.71	3.69	2.92	3.51	-	-	3.01	1.99
B	1.69	1.97	1.63	1.82	1.79	2.21	-	-	1.85	1.36
C	2.34	2.25	2.52	2.28	2.49	2.86	3.17	3.02	2.62	1.85

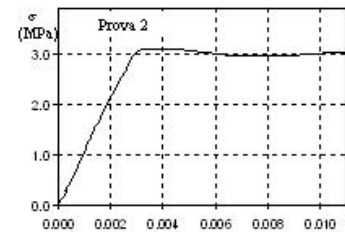
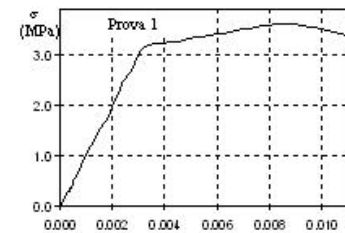
Muratura con filari inclinati



Risultati delle prove di schiacciamento su muretti a filari inclinati

Malta	Inclinazione	Valori di f_t ottenuti nelle singole prove (MPa)				f_m (MPa)
A	10°	3.84	2.92	2.61	-	3.12
A	20°	3.14	2.34	2.80	-	2.76
A	30°	2.92	3.23	2.77	3.60	3.13
A	40°	4.09	2.92	2.89	2.92	3.21
B	10°	2.25	2.15	-	-	2.20
B	20°	2.28	2.55	1.75	-	2.19
B	30°	2.62	2.00	2.03	2.09	2.18

Modulo elastico (prova a deformazione controllata)



$$E_m \approx 10000 \text{ kg/cm}^2$$

Resistenza a trazione della muratura

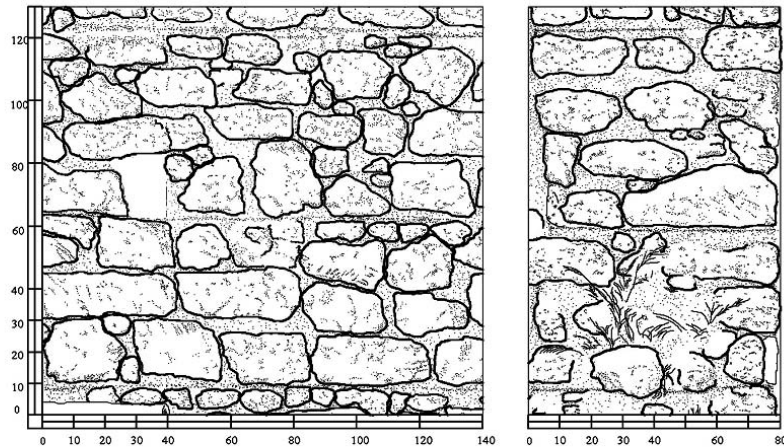


$$f_{tm} \approx 3.0 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{solidità: } \rho = f_{tm}/f_{cm} \approx 0.10$$

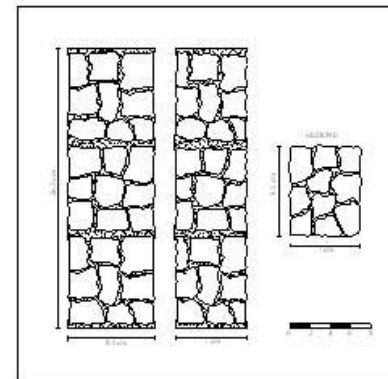
Le murature storiche napoletane in tufo giallo

Le murature a “cantieri”: XVI – XVII secolo



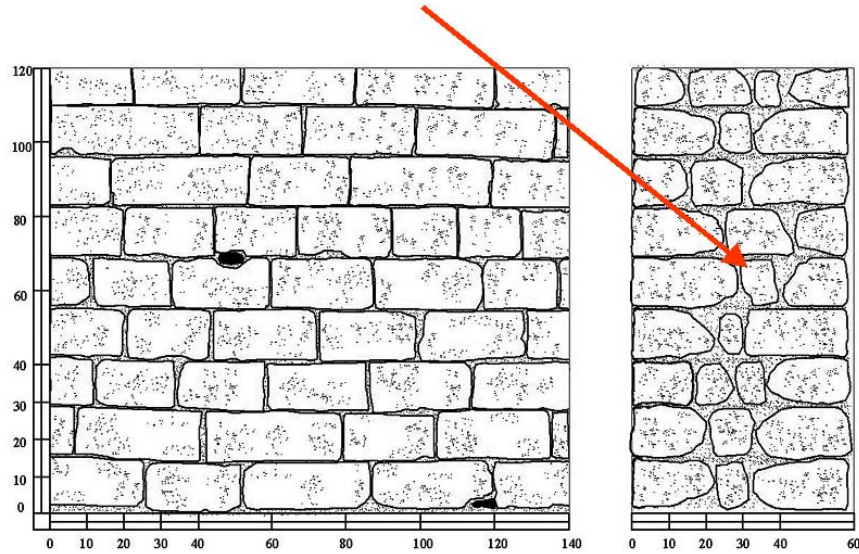
il “cantiere”

A – Muratura “a cantieri” (secoli XVI e XVII)

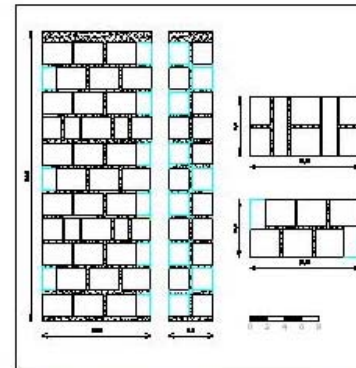


Murature a filari di "bozzette"; XVIII secolo

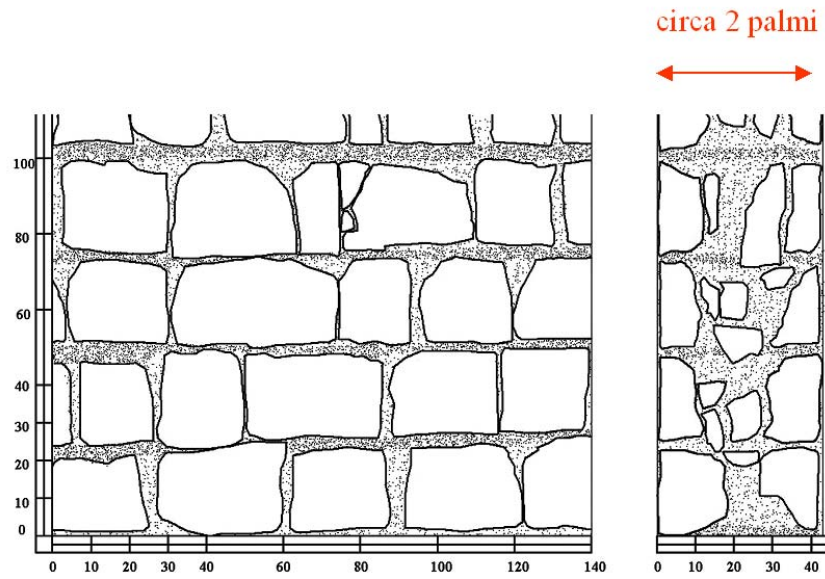
si osserva a volte la mancanza di diatoni



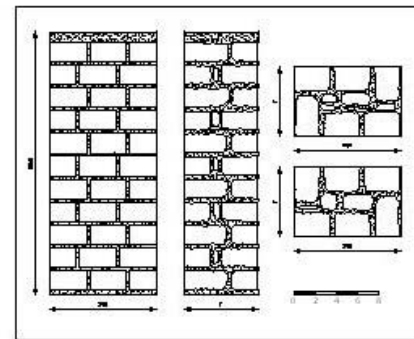
B – Muratura "a bozzette" (secolo XVIII)



Murature a “blocchetti con masso a sacco”; XIX-XX secolo



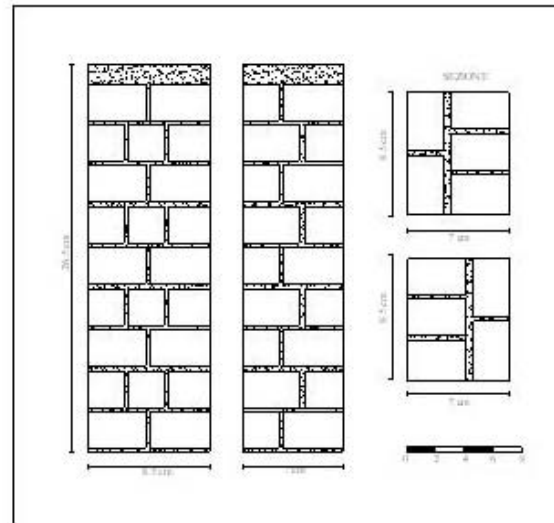
C – Muratura “a sacco” (secolo XIX)



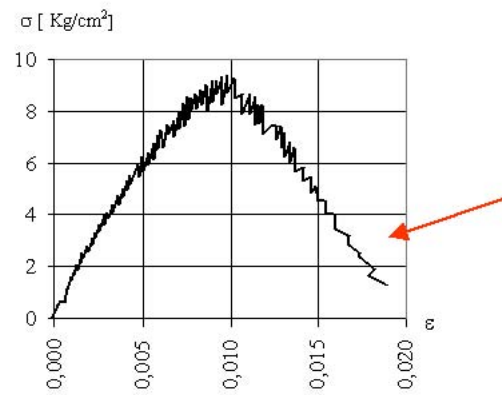
*Le murature contemporanee in tufo giallo.
(murature ordinarie)*

La tradizionale escavazione a mano del tufo giallo ebbe termine in Campania a metà del XX secolo, con l'introduzione delle macchine segatrici a disco (1957). Da allora le murature partenopee furono allestite con conci prismatici di 12x25x40 cm, con tessiture compatte e con l'utilizzo anche di malta cementizia

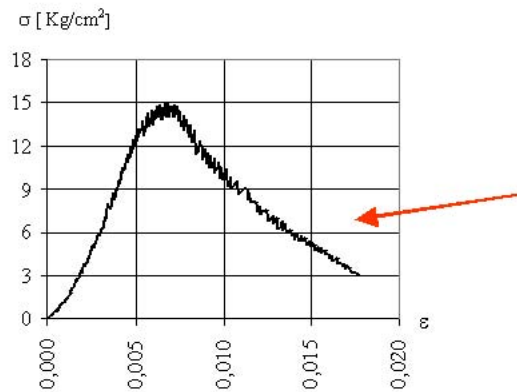
D – Muratura ordinaria (secolo XX)



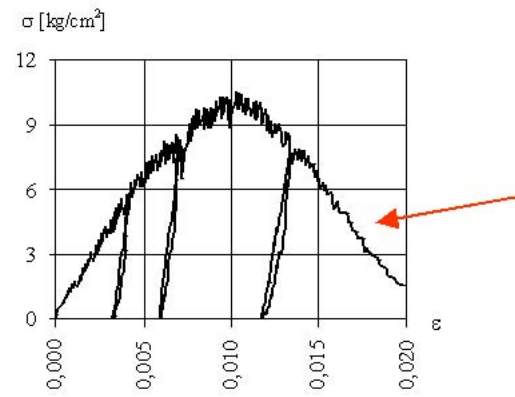
Prove di compressione monoassiali a deformazione guidata



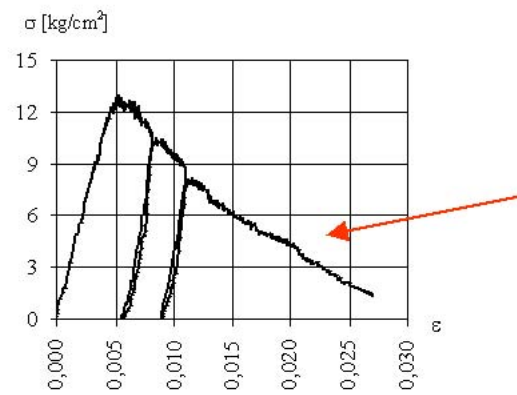
a "cantieri"



a "sacco"

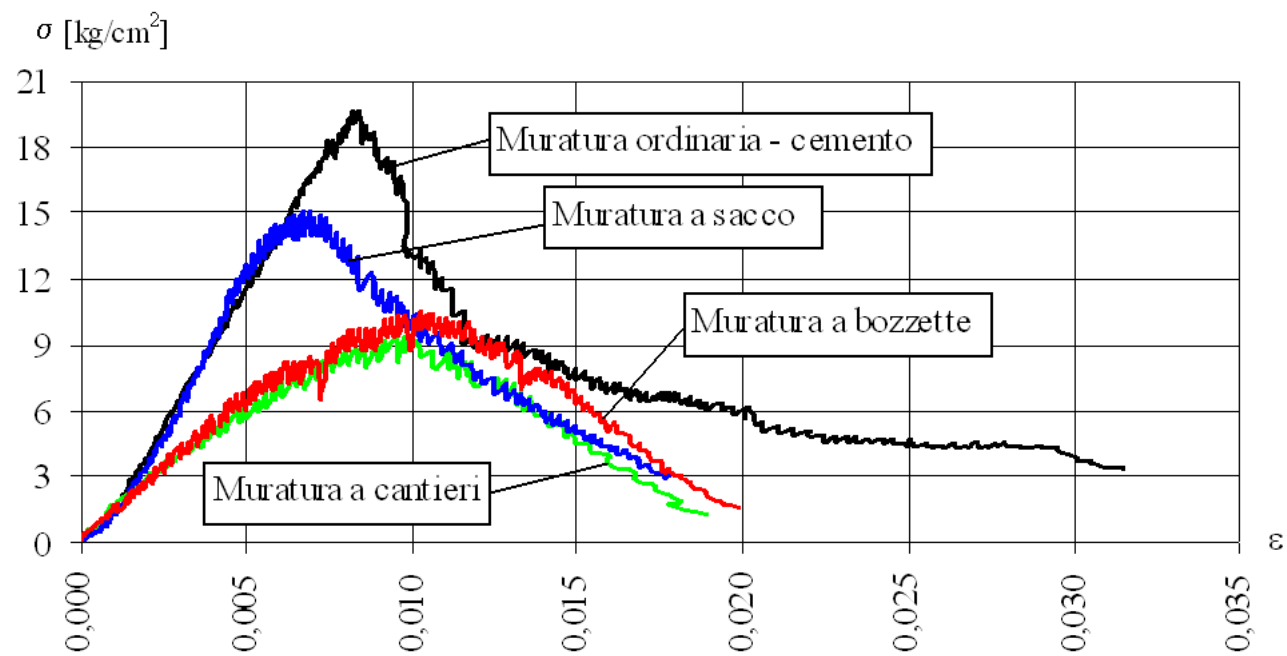


a "bozzette"



"ordinaria"

Confronto tra le diverse tipologie storiche

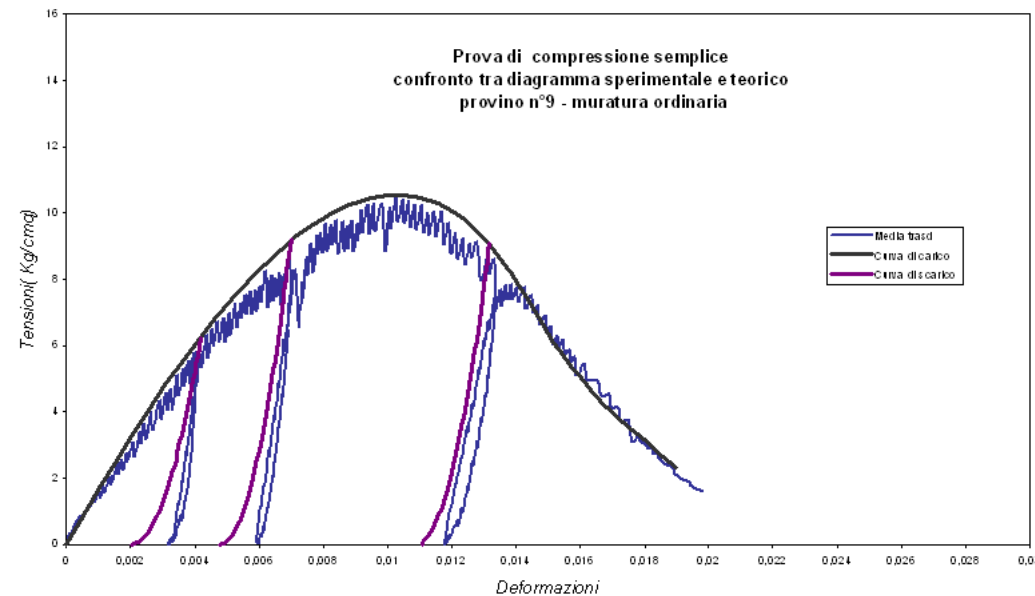


I risultati delle prove di compressione a deformazione guidata

Tabella 3. Risultati delle prove di compressione monoassiale

provino	tipologia di muratura	f_{co} [kg/cm ²]	ε_{co}	ε_{mu}
1	a cantieri	9.45	0.0098	0.0189
2	a cantieri	5.83	0.0083	0.0183
3	a cantieri	8.57	0.0090	0.0204
4	a sacco	15.01	0.0067	0.0178
5	a sacco	14.89	0.0100	0.0205
6	a sacco	13.97	0.0102	0.0153
7	a bozzette	11.03	0.0062	
8	a bozzette	15.51	0.0081	0.0143
9	a bozzette	10.90	0.0104	0.0198
10	a bozzette con diatoni	13.38	0.0131	0.0206
11	a sacco	9.61	0.0077	0.0169
12	a cantieri	7.05	0.0045	0.0148
13	a cantieri	8.04	0.0074	0.0181
16	a sacco	6.85	0.0090	
21	ordinaria	12.97	0.0061	0.0288
22	ordinaria	19.70	0.0084	0.0314
23	ordinaria	13.32	0.0061	0.0225
24	ordinaria	17.22	0.0067	

Formulazione analitica del legame costitutivo



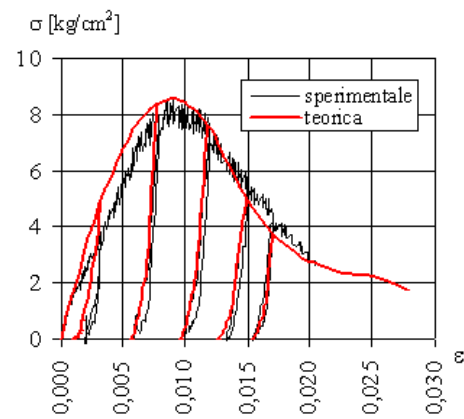
$$\sigma = [(k\eta - \eta^2) / (1 + (k-2)\eta)] F_c \quad \text{per } \eta < 1.4$$

$$\sigma = [(k\eta - \eta^2) / (1 + (k-2)\eta) + (\eta - 1.4)^{(2.1)} / a] F_c \quad \text{per } \eta > 1.4$$

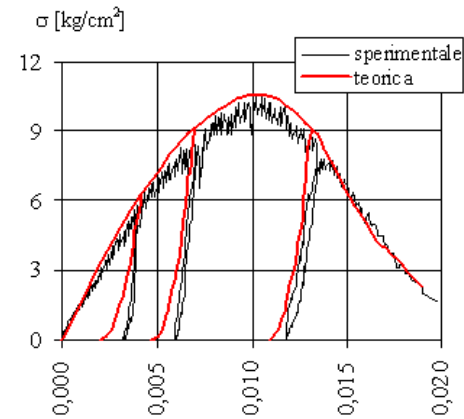
con: $\eta = \varepsilon / \varepsilon_c$ $k = 0.533 \eta_u + 0.6381$ $a = [(\eta - 1.4)^{(2.1)}] \times [F_c / (|F_{cu}| + |F_{cs}|)]$

essendo: $\eta_u = \varepsilon_u / \varepsilon_c$ $F_{cu} = 0.2 F_c$ $F_{cs} = \sigma$ per $\eta = \eta_u$ valutata con la 1° espressione

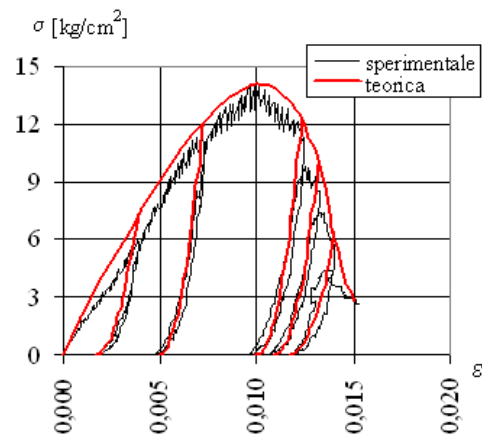
Confronto teorico - sperimentale



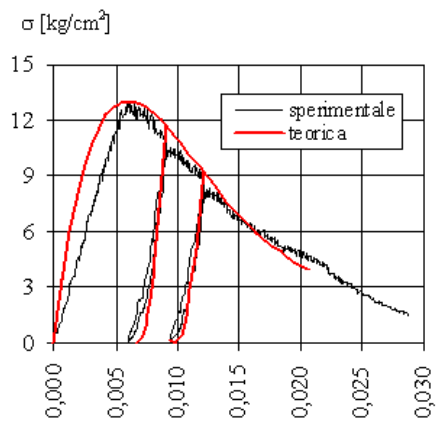
“cantieri”



“bozzette”



“sacco”



“ordinaria” con malta di calce