

IV-41. Brickwork with Steel Nets and Prestressed Cables

Rodolfo Antonucci
University of Ancona, Italy

Roberto Giacchetti
University of Ancona, Italy

Vittorio Guidi
Engineer builder, Ancona

Giovanni Menditto
University of Ancona, Italy

ABSTRACT

It was tested a series of specimens built:

- i—with prestressed cables inserted into the masonry or placed on both side of the masonry panel;*
- ii—with modular shape steel nets placed on both side of the specimen and mutually connected by transversal steel passing through the specimen. Successively shot-concrete is spread over the net.*

The results of the tests are the following:

- i—we get a comparative mechanical strength and the ductility of the brickwork panels;*
- ii—we get some useful advices for the design and for the structural repairs against earthquake and for very old and sometimes crumpling buildings;*
- iii—we get a comparative economical advices.*

Nous communiquons ce qui suit au sujet d'essais effectués sur un panneau de maçonnerie armé:

- i—avec des fils pre-tendus insérés dans la maçonnerie ou placés sur les façades laterales du panneau lui-même;*
- ii—avec des treillis métalliques soudés électriquement reliés au panneau par du mortier de ciment.*

Les résultats des essais ont permis:

- i—de faire une comparaison entre le comportement mécanique et la ductilité des différents échantillons;*
- ii—de formuler des indications de projet dans le cas d'action sismique e de restructuration de vieux édifices;*
- iii—de faire des comparaisons économiques entre les différentes solutions valables.*

Es wird berichtet ueber ausgefuehrte Versuche mit einem armieten Mauerteil:

- i—mit vorgedehnten Stahlkabeln, die man in das Mauerwerk einfuehrt oder an beiden Seiten der Mauer anbringt;*
- ii—mit elektrisch geschweissten Stahlnetzen, ueber die man eine Spezialzementmasse aufsprueht*

Die Versuche haben dazu gedient

- i—einen Vergleich zu ziehen zwischen dem mechanischen verhalten und der Spaltbarkeit der verschiedenen Proben;*
- ii—anwendungsweisen anzugeben in Falle von sismischen Bewegungen (Erdbeben) oder wiederinstandsetzung geschaedigter Gebaeude*
- iii—die wirtschaftlichkeit der Verschiedenen verfahren zu vergleichen.*

Si riferisce su prove condotte su un pannello murario armato:

- i—con trefoli pretesi inseriti nella muratura o disposti sulle facce laterali del pannello stesso;*
- ii—con reti metalliche elettrosaldate collegate al pannello con malta cementizia.*

I risultati delle prove hanno consentito:

- i—di istituire un confronto tra il comportamento meccanico e di duttilità dei diversi campioni;*
- ii—di formulare indicazioni progettuali nel caso di azione sismica e di ristrutturazione di vecchi edifici;*
- iii—di istituire confronti economici tra le soluzioni valide.*

INTRODUZIONE

La ricerca ha avuto quale obiettivo, la valutazione, oltre un accettabile livello di sicurezza, del rapporto ottimale costi-resistenza negli interventi di ristrutturazione degli edifici con struttura portante in muratura di mattoni.

Il concetto fondamentale che ha costantemente guidato il lavoro è stato quello di elevare la risposta del pannello murario alle azioni orizzontali con l'impegnare la muratura nel modo più diretto possibile, esaltando la solidarietà tra i vari ricorsi murari ed i cordoli di "piano" sia in modo diretto (con l'impiego di cavi pretesi disposti superficialmente o internamente) sia in modo continuo (con fodere di calcestruzzo armato con rete metallica elettrosaldata).

In questa prospettiva sono stati preparati i campioni descritti nei seguenti paragrafi.

Le prove che si illustrano sono limitate all'esame del comportamento di una struttura muraria in assenza di carico verticale; il caso di struttura caricata anche verticalmente costituisce oggetto di una ricerca in corso di completamento.

DESCRIZIONE ATTREZZATURA DI PROVA

L'attrezzatura di prova era costituita da un telaio di contrasto in acciaio in cui veniva collocata la struttura muraria. L'applicazione del carico avveniva mediante martinetto idraulico da 40 t nominali con pompa manuale e manometro. Il trasferimento delle azioni alla struttura muraria è stato ottenuto mediante traverso metallico realizzato affiancando due U.P.N. 200 adagiati con malta di calce sulla sommità del pannello murario. Il traverso metallico vuole simulare la presenza del cordolo di piano; a tal fine per meglio approssimare il valore dell'aderenza calcestruzzo-murature, si son saldate alla superficie inferiore del traverso tondini $\varnothing 8/20$ ".

STRUMENTAZIONE

Lo sforzo nei trefoli è stato misurato mediante impiego di due anelli dinamometrici da 30 t in compressione (Fig. 1). Per il controllo delle deformazioni si è fatto uso di:

- estensimetri meccanici Huggenberger con base di misura di 100 mm e rapporto di amplificazione 1200:1 (Fig. 2);
- comparatori centesimali con corsa da 10 mm;
- comparatori deciali con corsa da 20 mm (Fig. 3).

Le fessurazioni sono state rilevate mediante micrometro ottico.

DESCRIZIONE DEI CAMPIONI

Sono state condotte prove su cinque campioni, ciascuno ottenuto sempre dalla stessa struttura muraria previa opportuna preparazione ed armatura.

La struttura muraria risultava composta da un pannello di dimensioni 3,13 m (larghezza) \times 2,87 m (altezza) \times 0,26 (spessore) e da un maschio, formato ad una delle estremità del pannello, delle dimensioni m 1,02 (larghezza) \times 2,64 m (altezza) \times m 0,26 (spessore). Entrambi gli elementi erano realizzati impiegando mattoni posti di testa e legati con malta estremamente scadente (*) ottenuta con sabbia e calce bianca nel rapporto 3:1.

La minore altezza del maschio ha consentito di alloggiare la apparecchiatura di misura degli sforzi nei tiranti.

Dapprima sulle due facce del pannello si sono disposti esternamente due trefoli in acciaio armonico (Rak 180) da 1/2 pollice (mm^2 93/ca) inclinati di 45° sull'orizzontale. Inoltre ancorata ad una estremità al cordolo superiore, a 43 cm del lembo privo di maschio, ed all'altra estremità al telaio di contrasto, è stata disposta esternamente sulle due facce un'armatura "di coda" costituita da due $\varnothing 20$ in Fe B 32 K inclinati di un angolo $\alpha \cong 11,5^\circ$ (Campione n. 1).

Dopo aver portato rottura il campione testè descritto secondo quanto illustrato nel paragrafo 5, si è proceduto alla eliminazione dei due trefoli da mezzo pollice ed alla loro sostituzione con altri due trefoli da 3/8 (sez. 51,6 mm^2 /ca) in acciaio armonico (Rak 180) inseriti diagonalmente nell'interno del pannello murario previa perforazione con carotatrice da 45 mm e successiva sigillatura con boiaccia di cemento molto fluida (rapporto acqua/cemento = 0,6) in modo da consentire per gravità il riempimento dei vuoti. Le fessure prodotte sul campione n. 1 sono state sigillate con malta di gesso (campione n. 2). Dopo aver portato a rottura anche questo campione, si è proceduto alla sua ristrutturazione mediante formazione di due fodere in calcestruzzo di cemento gettato entro casseformi in legno ed armate con rete metallica Fe B 38 K elettrosaldata con maglia $\varnothing 5$ 20 \times 20. Le reti di armatura sono state collegate tra loro con tondini $\varnothing 6$ in Fe B 32 K posti ad interasse di 50 cm trasversalmente al piano delle reti stesse previa foratura con fioretto $\varnothing 12$. Le due reti sono state collegate mediante saldatura alla base al telaio di contrasto ed in sommità al profilato in modo da simulare la continuità dell'armatura metallica con i cordoli di piano.

In questo campione si è operato in presenza dell'armatura diagonale costituita da due trefoli da 3/8 di pollice e dell'armatura di coda (campione n. 3).

Successivamente si è soppressa la continuità del cordolo superiore e del telaio di contrasto al trefolo da 3/8 di pollice ed eliminata l'armatura di coda (campione n. 4).

Infine sullo stesso campione si è ridisposta l'armatura di coda (campione n. 5).

(*) Volutamente si è impiegata malta di qualità scadente al fine di avvicinarne lo stato a quello di malte di murature fatiscenti, tipiche dei centri storici.

DESCRIZIONE DELLE PROVE

Campione N. 1

Ha esibito un comportamento piuttosto fragile (Vedi tab. n. 1) e sotto un carico di 19.000 Kg il pannello, senza dar segni premonitori, è stato interessato improvvisamente da un'ampia fessurazione diagonale che, localizzata fra i ricorsi di mattoni, ha lasciato integri questi ultimi (fig. 4). Si è riscontrata altresì una rotazione rigida del maschio al di là del carico di prima fessurazione che ha evidenziato l'incapacità del pannello murario a partecipare ulteriormente alla resistenza che, da questo stadio, a prezzo di notevoli spostamenti, resta esclusivamente affidata al maschio compresso ed ai trefoli tesi. Si può pertanto individuare nell'innescare della fessurazione lo stato limite di esercizio. La massima deformazione alla estremità superiore della struttura muraria è stata di circa mm 3,5 sotto il carico di 18.000 Kg. Allo scarico l'energia accumulata dai trefoli da 1/2 pollice, bruscamente liberata, ha richiuso le lesioni prodotte inizialmente creandone altre in direzione ortogonale (Fig. 4).

Con riferimento al maschio si è rilevato un consistente stato fessurativo localizzato alla sua base dove si è evidenziato, altresì, una fortissima concentrazione degli sforzi. La restante parte del maschio è rimasta esente da deformazioni.

Infine, sempre sotto lo stesso carico di 30.000 Kg, è apparso uno scollamento delle paretine in calcestruzzo localizzato alle zone lesionate. La Fig. 9 presenta le deformate del maschio.

E' da rilevare, anche se l'indagine sperimentale non è stata estesa alla fase post-fessurativa, che in tale stadio lo schema statico di funzionamento è quello di trefoli tesi e maschio compresso. Sicchè lo stato limite ultimo può attainedersi o per rottura dei primi o per schiacciamento del secondo. In ogni caso il carattere fragile del collasso non implica ulteriori riserve di duttilità.

Campione N.2 (*) (Fig. 5)

Ha esibito un comportamento duttile caratterizzato sia dall'ampio intervallo deformativo esistente tra il carico di fessurazione (Kg 12.000) e quello di rottura (Kg 30.000) sia dall'entità delle deformazioni che a parità di carico, come mostra l'ispezione della tab. n. 2, si sono incrementate mediamente di circa il 75% rispetto a quelle registrate nel campione n. 1.

E' da rilevare il differente assetto del quadro fessurativo che a differenza di quello del campione n. 1, è apparso con molte lesioni diffuse manifestatesi progressivamente all'aumentare del carico sulla zona delimitata dalla diagonale e dal cordolo superiore con andamento pressochè parallelo tra loro (Fig. 6). L'esame della tabella n. 2 denuncia uno stato deformativo del maschio.

Allo scarico non si è evidenziato nè chiusura improvvisa delle lesioni nè inversione del quadro fessurativo il che

può interpretarsi come una dissipazione graduale dell'energia accumulatasi nei trefoli. La Fig. 7 presenta i diagrammi $P - \Delta$.

Campione N. 3

Ha esibito un comportamento monolitico con deformazioni estremamente basse (circa mm 0,9 a 18.000 Kg; circa mm 1,9 a 30.000 Kg). La fessurazione ha avuto inizio a circa 30.000 Kg ed a 34.000 Kg le fessure si sono localizzate nell'intorno della diagonale disponendosi parallelamente ad essa con ampiezza di 0,3 - 0,4 mm appena al disopra della diagonale e di circa 0,15 mm al disotto della diagonale stessa. L'ispezione della tab. n. 3 evidenzia un incremento degli spostamenti a partire dall'innescare della fessurazione. Si fa notare che il tiro nei trefoli misurato dagli anelli dinamometrici è rimasto inalterato durante lo svolgimento della prova. Questo risultato andrebbe, però, verificato attraverso un'ulteriore misura dello stato di tensione all'altra estremità dei trefoli. In ogni caso la modesta entità dello spostamento registrato in sommità della struttura muraria può convalidare il non impegno del cavo. La Fig. 8 presenta i diagrammi $P - \Delta$.

Campione N. 4

Ha esibito prevalentemente un comportamento di corpo rigido manifestatosi con una rotazione dell'intera struttura. Sotto un carico di 15.000 Kg l'entità della rotazione è stata tale da originare lo strappamento progressivo della rete di armatura dal cordolo inferiore.

Si può pertanto configurare come carico limite di esercizio quello di 15.000 Kg in quanto il comportamento di corpo rigido ha impedito di trasferire ulteriori azioni alla struttura.

L'ispezione della Tab. 4 evidenzia altresì la mancata collaborazione del maschio.

Campione N.h5

Questa prova è stata suggerita dal comportamento del campione n. 4 ed ha avuto come obiettivo la ricerca dello stato limite ultimo della struttura muraria una volta che, impedita la rotazione rigida, risulti il più possibile mobilitata la sua capacità resistente.

E' stato rilevato che con un carico di 30.000 Kg il quadro fessurativo, rispetto alla prova condotta sul campione n. 3, si è notevolmente ampliato sia per riguardo al numero che all'ampiezza delle fessure.

CONCLUSIONI

L'esame dei risultati ottenuti mostra che:

- l'intervento operato secondo il campione n. 1 tiene praticamente distinti il comportamento dell'acciaio da quello della muratura non riuscendo l'elasticità del primo ad influire sul comportamento fragile del secondo. Manca inoltre la possibilità di disperdere in questo elemento l'energia elastica accumulata nei trefoli;
- a differenza del campione n. 1, la presenza dei trefoli diagonali pretesi annegati internamente, conferisce al

(*) Nella fig. 7 bis è proposto un modello statico allo stato limite ultimo del campione n. 2. I risultati delle esperienze sembrano convalidare una tale interpretazione.

pannello una notevole duttilità. Inoltre al di là del carico di prima fessurazione, la localizzazione delle lesioni nella zona triangolare superiore del pannello murario, dà luogo alla formazione di una serie di bielle compresse che, assieme al cordolo superiore, trasferiscono in modo diffuso il carico applicato al maschio, impegnandolo alla resistenza globale della struttura;

- c. l'intervento simulato attraverso il campione n. 3 si è rivelato di notevole efficacia. La sua realizzazione trova giustificazione anche sul piano economico solo quando si deve intervenire per ristrutturare una pannellatura già precedentemente rinforzata mediante l'impiego di trefoli diagonali annegati;
- d. l'intervento simulato attraverso il campione n. 4 ha evidenziato nello strappamento della rete in prossimità del suo attacco al cordolo di base, una sezione di debolezza che, trasformando una struttura potenzialmente resistente in un meccanismo, ne ha impedito la completa utilizzazione;
- e. il comportamento del campione n. 5 ha evidenziato come impedendone la rotazione, sia possibile impegnare le potenziali (notevoli) capacità resistenti della struttura così trattata.

Concludendo le prove effettuate sembrano indicare la validità degli interventi di cui ai campioni n. 2 - 5 (*).

E' bene puntualizzare che l'intervento di cui al campione n. 5, specie se effettuato in modo discreto, richiede per la sua validità che sia impedito il ribaltamento della pannellatura. E' proprio questa conclusione che fornisce indicazioni di progetto (**).

ANALISI DEI COSTI

Consolidamento della muratura con paretine in c.a. e rete elettrosaldate.

casceforme	mq 23,22 × £. 5.000 m	= £. 116.100
rete	Kg 1300 × 24 = Kg 312 × £. 700	= £. 21.840

calcestruzzo	23,22 × 0.05 = mc 1,161 × £. 70.000	= £. 81.270
fori	4 × 0,26 = ml. 1,04 × £. 16.000	= £. 16.640
Costo globale dell'intervento sul campione..		<u>£. 235.850</u>

Consolidamento della muratura con trefoli in acciaio armonico pretesi.

Preparazione della muratura:

— ml. 4,23 × £. 20.000 =	£. 84.600
— iniezione di cemento	
Kg 3 × 4,23 = Kg 12,69	
Kg 12,69 × £. 190 =	£. 2.411
— trefolo 3/8 di pollice	
ml. 2 × 4,23 = ml. 8,46	
ml. 8,46 × 0,410 = Kg 3,468	
Kg 3,468 × £. 4.500 =	£. 12.138
— ancoraggi e piastre n. 2 × £. 6.000 = ...	£. 12.000
— tesature n. 2 × £. 5.000 =	£. 10.000
— tirante di coda 2 Ø 20	
2 × 3,80 = 7,60	
7,60 × 2,47 = Kg 18,992	
Kg 18,992 × £. 900 =	£. 16.895
Costo globale dell'intervento sul campione..	<u>£. 138.044</u>

La forza che produce la rotazione si assume convenzionalmente pari a quella che innesci la rottura del 1° filo della rete elettrosaldata. Supponendo allora la rotazione rigida, le forze nei fili della rete variano linearmente.

$$S_i = \frac{v}{h} y_i A_{si} E_s$$

Sicché dall'equilibrio alla rotazione rispetto al punto 0 delle forze applicate ai fili e del peso P_m si trae il valore della forza

$$F_i = \sum \frac{v y_i}{h^2} A_{si} E_s + P_m \frac{y_m}{h}$$

e quindi adottando opportuni coefficienti di sicurezza, il valore della F_i di progetto.

* Il confronto economico che si espone sulla base dei prezzi correnti orientano la scelta per l'intervento n. 2.

**Fig. 10.

TABELLA DEI RISULTATI RELATIVI AL CAMPIONE n°1

STRUMENTI DI MISURA	CARICHI (Kg.)							
	0	5000	10000	0	5000	0	10000	0
C ₁	0	-0.04	-0.01	-0.10	1.00	0.15	3.80	1.00
C ₂	0	-0.10	-0.04	0	1.05	0.20	4.10	1.20
C ₃	0	0.10	0.20	0.10	1.35	0.30	4.20	1.30
C ₄	0	-0.03	-0.01	-0.05	0.64	0.02	2.60	0.80
C ₅	0	0.02	0.07	0.02	0.80	0.12	2.82	0.87
C ₆	0	0.05	0.10	0.05	0.93	0.20	2.95	0.90
C ₇	0	0	-0.01	-0.03	0.35	0.03	1.40	0.44
C ₈	0	0	0.03	0	0.49	0.10	1.72	0.53
C ₉	0	0.02	0.08	0.03	0.55	0.14	1.65	0.50
C ₁₀	0	0	-0.01	-0.02	0.02	-0.02	0.07	-0.02
C ₁₁	0	0	0	0	0.14	0.07	0.62	0.35
C ₁₂	0	0	0.02	0.02	0.15	0.05	0.23	0.08
A ₁	4490	4490	4560	4490	4830	4490	5730	4760
A ₂	4490	4490	4560	4490	4830	4490	5650	4490

C₁.....C₃ : COMPARATORI DECIMALI : LETTURE IN MM.

C₄.....C₁₂ : COMPARATORI CENTESIMALI : LETTURE IN MM.

A₁ e A₂ : ANELLI ELASTICI : LETTURE IN Kg.

OSSERVAZIONI : INIZIO FESSURAZIONE A 19000 Kg.

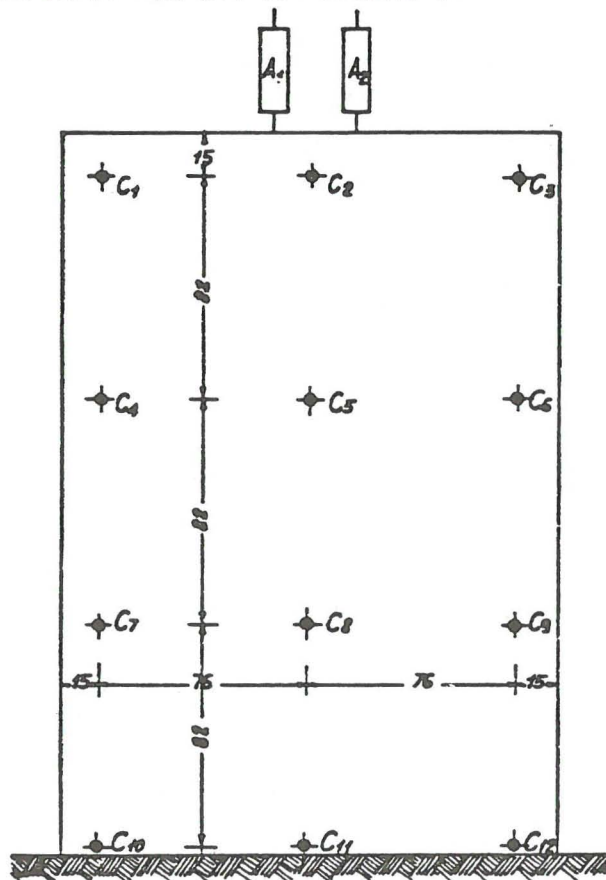


TABELLA DEI RISULTATI RELATIVI AL CAMPIONE n°2

STRUMENTI DI MISURA	CARICHI (kg.)																																		
	0	3000	0	6000	0	9000	0	12000	0	15000	0	18000	0	20000	0	22000	0	24000	0	26000	0	28000	0	30000	0	32000	0	34000	0	36000	0	38000	0	40000	
C ₁	0	0.01	-0.01	0.15	0	0.38	0.01	0.02	0.06	1.46	0.15	2.13	0.27	3.40	0.63	5.50	1.21	7.65	1.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C ₂	0	0.04	-0.01	0.21	-0.01	0.49	0.01	0.04	0.07	1.57	0.17	2.25	0.29	3.66	0.63	5.67	1.21	7.69	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C ₃	0	0.02	-0.02	0.24	-0.01	0.55	0.02	1.04	0.10	1.67	0.19	2.30	0.31	3.01	0.63	5.70	1.19	7.70	1.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C ₄	0	0.01	0	0.10	-0.01	0.26	0	0.37	0.02	1.00	0.08	1.40	0.17	2.30	0.40	3.03	0.70	5.32	1.29	7.73	2.43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C ₅	0	0.03	0	0.15	0	0.33	0	0.63	0.03	1.06	0.10	1.52	0.18	2.40	0.40	3.07	0.77	5.20	1.27	7.64	2.42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C ₆	0	0.03	0	0.15	-0.01	0.37	0.01	0.70	0.04	1.11	0.09	1.60	0.16	2.55	0.39	3.08	0.75	5.13	1.19	7.40	2.32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C ₇	0	0.01	0	0.07	0	0.15	0	0.32	0.03	0.56	0.05	0.80	0.10	1.25	0.20	1.97	0.30	2.72	0.67	3.90	1.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C ₈	0	0.02	0.01	0.08	0.01	0.20	0.02	0.39	0.03	0.66	0.05	0.96	0.09	1.44	0.19	2.16	0.36	2.92	0.60	4.10	1.32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C ₉	0	0.01	0	0.08	0	0.20	0	0.39	0.02	0.61	0.04	0.87	0.07	1.36	0.17	2.00	0.33	2.64	0.50	3.76	1.16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C ₁₀	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.03	0.01	0.06	0.01	0.09	0.02	0.13	0.04	0.20	0.06	0.29	0.10	0.62	0.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C ₁₁	0	0	0	0	0	0.02	0	0.06	0.02	0.11	0.02	0.12	—	0.23	0.02	0.35	0.11	0.60	0.20	0.75	0.40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C ₁₂	0	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.05	0.02	0.07	0.02	0.11	0.03	0.12	0.04	0.13	0.05	0.17	0.11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

E ₈	0	0	0	62.50	0	83.33	0	145.83	0	208.33	0	291.67	0	416.67	0	541.67	0	645.83	0	812.50	20.83	958.33	20.83	1083.33	41.67	1152.00	41.67	1415.67	125.00	—	—	—	—	—	—
E ₉	0	20.83	20.83	41.67	20.83	41.67	20.83	83.33	62.50	145.83	125.00	250.00	125.00	395.83	—	625.00	187.50	791.67	208.33	833.33	166.67	958.33	145.83	1083.33	125.00	1152.00	156.67	—	—	—	—	—	—	—	

A ₁	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2300	2160	2700	2365	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
A ₂	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2300	2160	2700	2365	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

C₁.....C₁₂ : COMPARATORI CENTESIMALI

LETTURE ESPRESSE IN MILLIMETRI

OSSERVAZIONI:

E₈ e E₉ : ESTENSIMETRI MECCANICI

LETTURE ESPRESSE IN $\mu\epsilon$ ($=10^{-6} \frac{m}{m}$)

a) L'INIZIO DELLA FESSURAZIONE E' AVVENUTO

A₁ e A₂ : ANELLI ELASTICI

LETTURE ESPRESSE IN Kg.

SOTTO UN CARICO DI 12000 Kg.

TABELLA DEI RISULTATI RELATIVI AL CAMPIONE n°3

STRUMENTI DI MISURA	CARICHI (Kg)																			
	0	6000	0	8000	0	10000	0	12000	0	14000	0	16000	0	18000	0	20000	0	22000	0	24000
C ₁	0	0.12	0	0.17	0	0.26	0.01	0.37	0.02	0.48	0.04	0.65	0.08	0.81	0.13	1.03	0.19	1.30	0.26	1.95
C ₂	0	0.14	0.01	0.20	0.02	0.32	0.03	0.54	0.05	0.58	0.00	0.78	0.12	0.98	0.17	1.19	0.22	1.47	0.29	1.70
C ₃	0	0.17	0.01	0.24	0.02	0.36	0.04	0.50	0.07	0.66	0.10	0.87	0.14	1.00	0.19	1.32	0.24	1.62	0.32	1.84
C ₄	0	0.07	0	0.10	0.01	0.16	0.01	0.23	0.01	0.30	0.03	0.42	0.07	0.66	0.11	0.73	0.16	0.94	0.23	1.44
C ₅	0	0.09	0	0.14	0.01	0.21	0.03	0.31	0.04	0.41	0.06	0.56	0.10	0.70	0.15	0.89	0.20	1.13	0.26	1.66
C ₆	0	0.09	0.01	0.15	0.02	0.24	0.05	0.35	0.05	0.47	0.09	0.62	0.13	0.79	0.19	1.00	0.23	1.28	0.31	1.80
C ₇	0	0.02	0	0.03	-0.01	0.05	0	0.09	0	0.13	0.01	0.21	0.05	0.29	0.00	0.40	0.11	0.63	0.16	0.85
C ₈	0	0.04	0.01	0.07	0.01	0.11	0.02	0.17	0.03	0.24	0.05	0.35	0.09	0.44	0.13	0.56	0.17	0.70	0.23	1.00
C ₉	0	0.07	0.01	0.10	0.02	0.15	0.04	0.21	0.05	0.30	0.00	0.41	0.11	0.52	0.14	0.65	0.18	0.81	0.24	1.10
C ₁₀	0	-0.03	-0.02	-0.03	-0.02	-0.04	-0.03	-0.04	-0.03	-0.04	-0.02	-0.04	-0.01	-0.03	-0.01	-0.02	0.01	0.01	0.02	0.07
C ₁₁	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0.01	0.03	0.03	0.05	0.04	0.08	0.05	0.12	0.07	0.21
C ₁₂	0	0.02	0.01	0.03	0	0.05	0.01	0.08	0.02	0.11	0.03	0.15	0.06	0.20	0.06	0.25	0.08	0.30	0.10	0.42

E ₁	0	0	0	0	0	0	0	4.17	4.17	4.17	4.17	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	16.67
E ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	16.67
E ₃	0	0	0	8.33	0	8.33	0	8.33	0	16.67	0	16.67	4.17	16.67	0	16.67	4.17	16.67	0	16.67
E ₄	0	8.33	0	8.33	0	16.67	8.33	16.67	8.33	20.83	8.33	20.83	8.33	25.00	8.33	25.00	8.33	25.00	4.17	20.83
E ₅	0	0	0	0	0	0	0	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	16.67	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	16.67
E ₆	0	8.33	8.33	25.00	16.67	50.00	25.00	75.00	33.33	100.33	41.67	133.33	50.00	150.33	50.00	175.00	50.33	202.00	50.33	241.67
E ₇	0	8.33	8.33	8.33	8.33	16.67	8.33	16.67	8.33	16.67	8.33	16.67	8.33	16.67	-16.67	0	-41.67	25.00	-33.33	-14.03

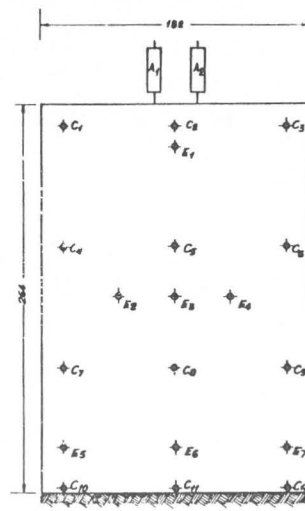
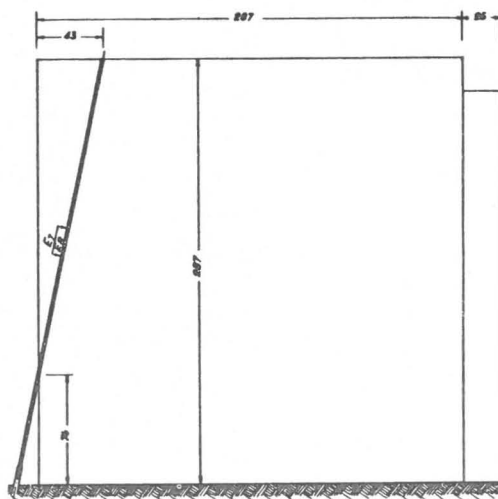
A ₁	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260
A ₂	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260	3260

C₁.....C₁₂ : COMPARATORI CENTESIMALI LETTURE ESPRESSE IN MILLIMETRIE₁.....E₇ : ESTENSIMETRI MECCANICI LETTURE ESPRESSE IN μE ($=10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{m}}$)A₁.....A₂ : ANELLI ELASTICI LETTURE ESPRESSE IN Kg.

OSSERVAZIONI:

a) L'INIZIO DELLA FESSURAZIONE E' AVVENUTO SOTTO UN CARICO DI 30'000 Kg.

b) PER UN CARICO DI 34000 Kg. L'AMPIEZZA DELLE LESIONI VARIA DA 0,44mm. A 0,40mm.



STRUMENTI DI MISURA	CARICHI (kg)						
	0	5000	0	10000	0	15000	0
C ₁	0	0.83	0.06	2.23	0.08	3.65	0.20
C ₂	0	0.85	0.05	2.29	0.06	3.74	0.19
C ₃	0	0.88	0.06	2.35	0.06	3.80	0.20
C ₄	0	0.59	0.06	1.62	0.09	2.62	0.15
C ₅	0	1.42	0.85	2.54	0.86	3.51	0.94
C ₆	0	0.64	0.02	1.70	0.02	2.72	0.12
C ₇	0	0.32	0.03	0.92	0.03	1.50	0.07
C ₈	0	0.34	0.02	1.00	0.03	1.60	0.06
C ₉	0	0.36	0.04	1.02	0.05	1.61	0.09
C ₁₀	0	0.02	0.01	0.13	0.02	0.25	0.01
C ₁₁	0	0.03	0.02	0.17	0.03	0.31	0.03
C ₁₂	0	0.09	0	0.32	0.02	0.48	0.01

E ₁	0	0	0	0	0	0	0
E ₂	0	0	0	0	0	0	0
E ₃	0	0	0	4.16	4.16	8.33	8.33
E ₄	0	0	0	0	0	0	0
E ₅	0	24.99	-8.33	16.66	-33.32	16.67	-16.67
E ₆	0	66.64	16.67	166.67	16.67	241.57	24.99
E ₇	0	49.98	16.67	49.98	0	99.96	24.99

TABELLA DEI RISULTATI RELATIVI AL CAMPIONE n°4

C₁.....C₁₂: COMPARATORI CENTESIMALI: LETTURE IN MM.
E₁.....E₇ ESTENSIMETRI MECCANICI: LETTURE IN μ E
OSSERVAZIONI: AL RICARICO A 0 DAI 15000 KG. SI
E' VERIFICATA LA ROTTURA DELLA RETE A 13000 KG.

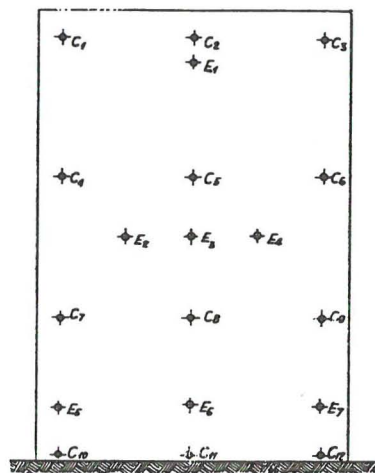
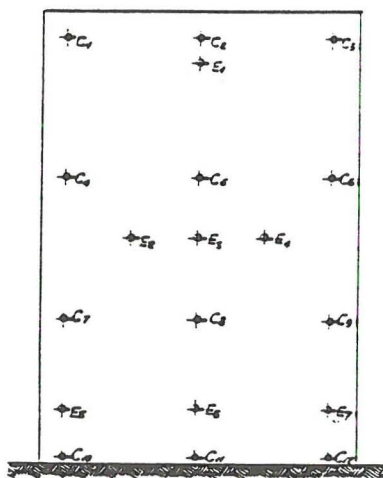


TABELLA DEI RISULTATI RELATIVI AL CAMPIONE n°5

C₁.....C₁₂: COMPARATORI CENTESIMALI: LETTURE IN MM.
E₁.....E₇ ESTENSIMETRI MECCANICI: LETTURE IN μ E
OSSERVAZIONI: SOTTO UN CARICO DI 30000 KG. HA
AVUTO INIZIO UNA FESSURAZIONE SUL MASCHIO IL
CARICO MASSIMO ASSORBITO DALLA PARETE E' STA-
TO DI 34000 KG.



STRUMENTI DI MISURA	CARICHI (kg)			
	0	15000	20000	25000
C ₁	0	3.71	4.72	6.62
C ₂	0	3.80	4.06	6.66
C ₃	0	3.95	5.57	7.76
C ₄	0	2.74	3.48	4.98
C ₅	0	2.92	3.60	5.13
C ₆	0	2.91	3.61	5.08
C ₇	0	1.69	2.10	3.22
C ₈	0	1.86	2.30	3.42
C ₉	0	1.90	2.31	3.38
C ₁₀	0	0.31	0.30	0.57
C ₁₁	0	0.43	0.56	1.18
C ₁₂	0	0.63	0.73	0.98

E ₁	0	0	0	0
E ₂	0	4.16	4.16	4.16
E ₃	0	-4.16	-4.16	0
E ₄	0	-12.49	-8.33	-16.67
E ₅	0	—	—	291.55
E ₆	0	183.25	208.25	195.75
E ₇	0	—	—	291.55

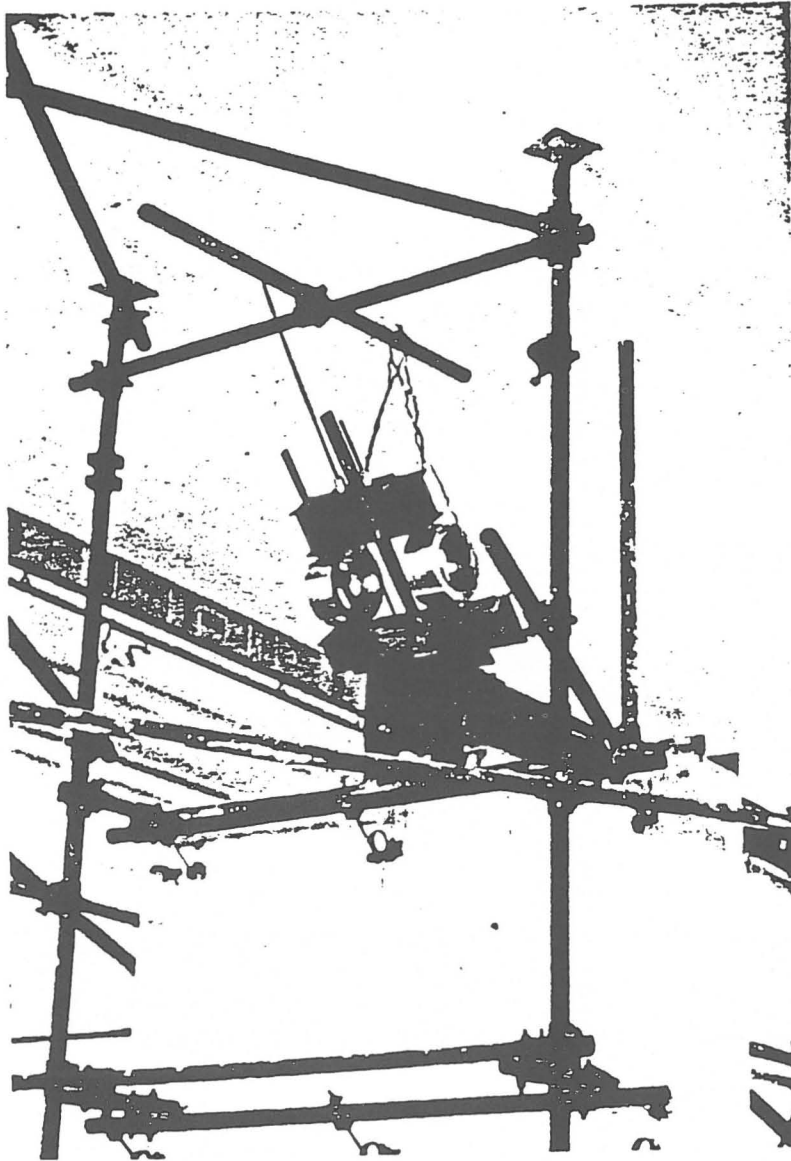


Figure 1.

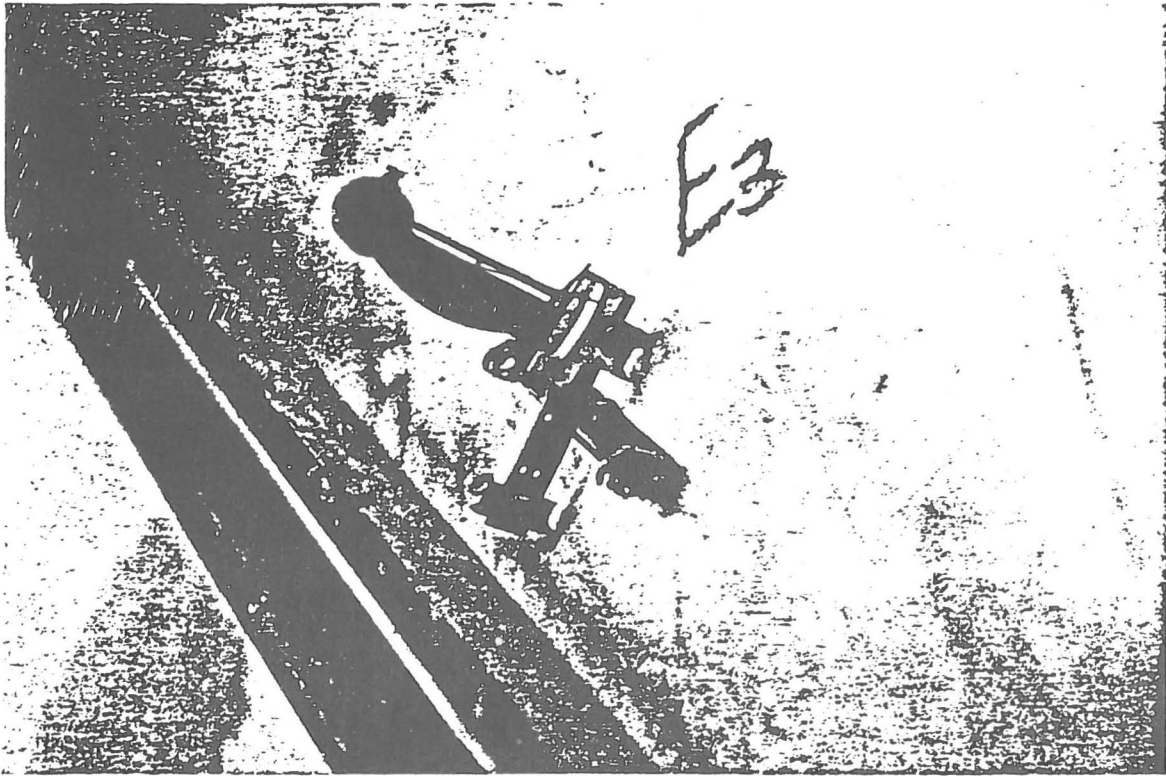


Figure 2.

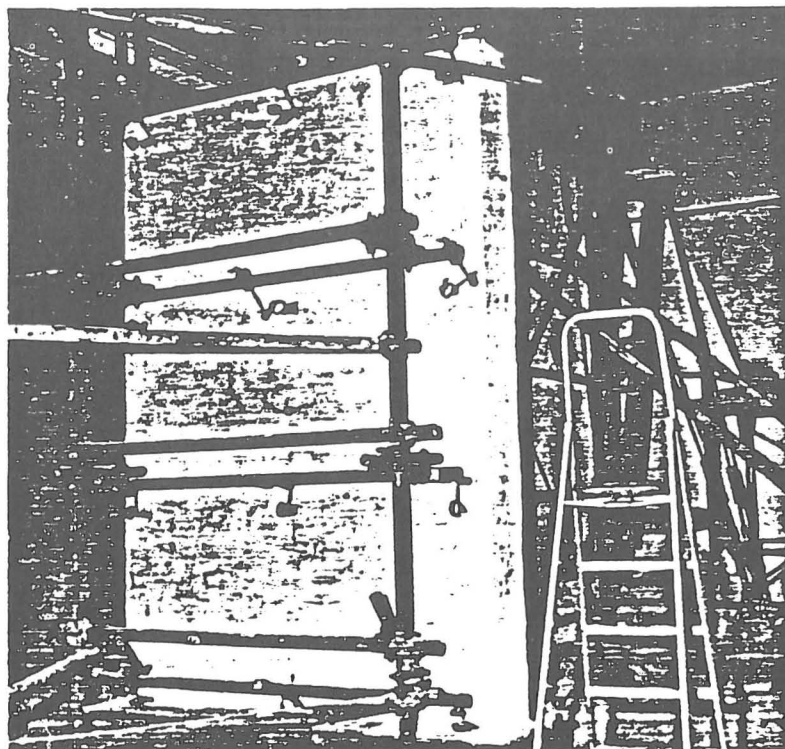


Figure 3.

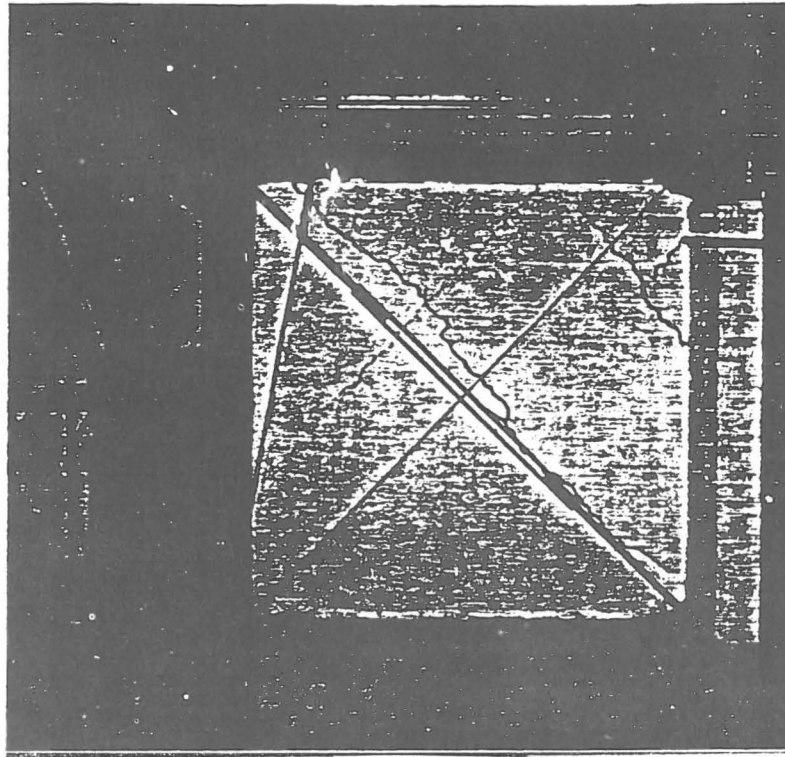


Figure 4.

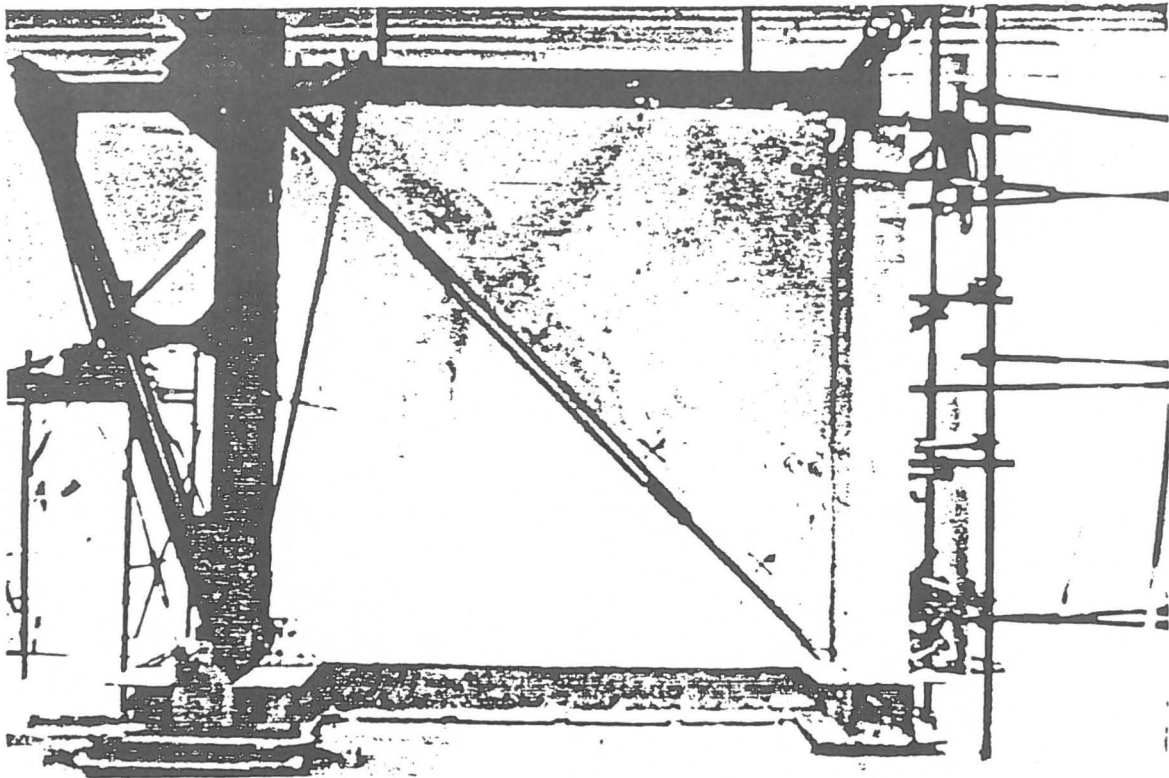


Figure 5.

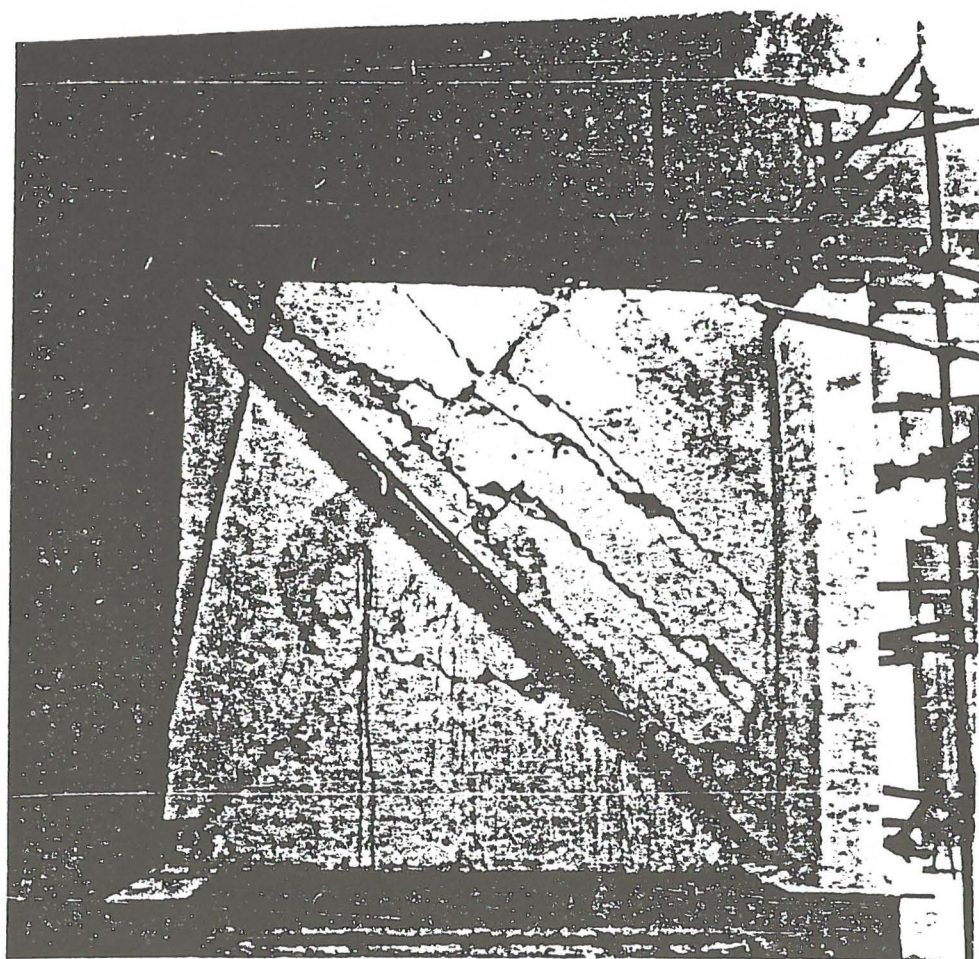


Figure 6.

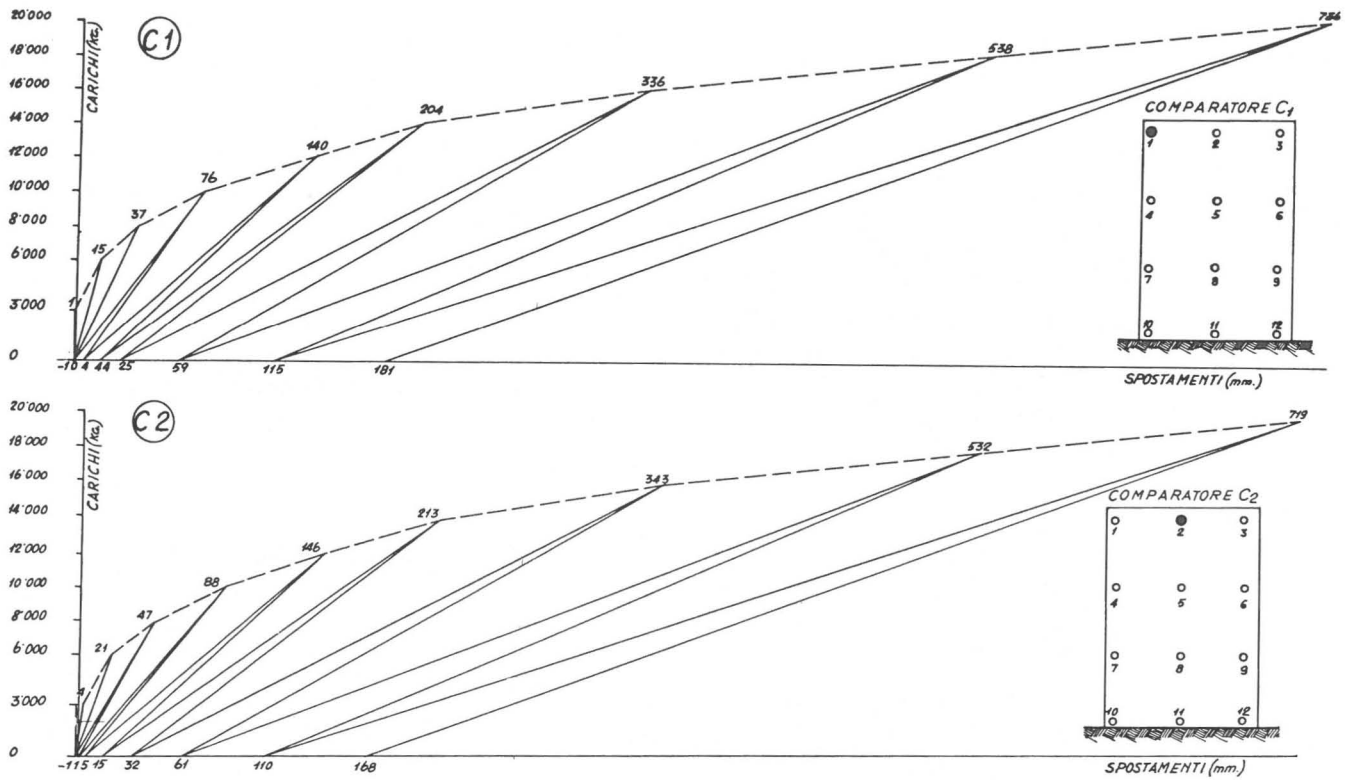


Figure 7. Part 1

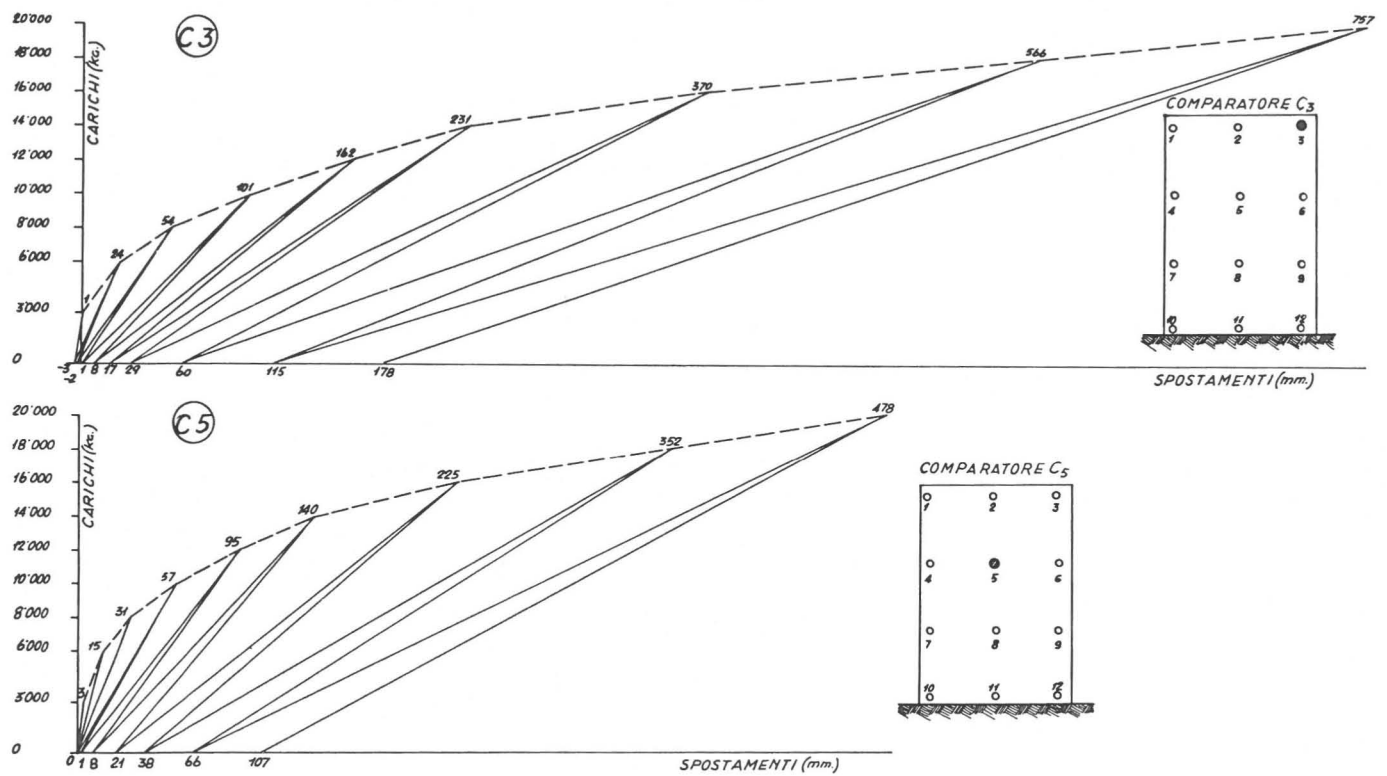


Figure 7. Part 2

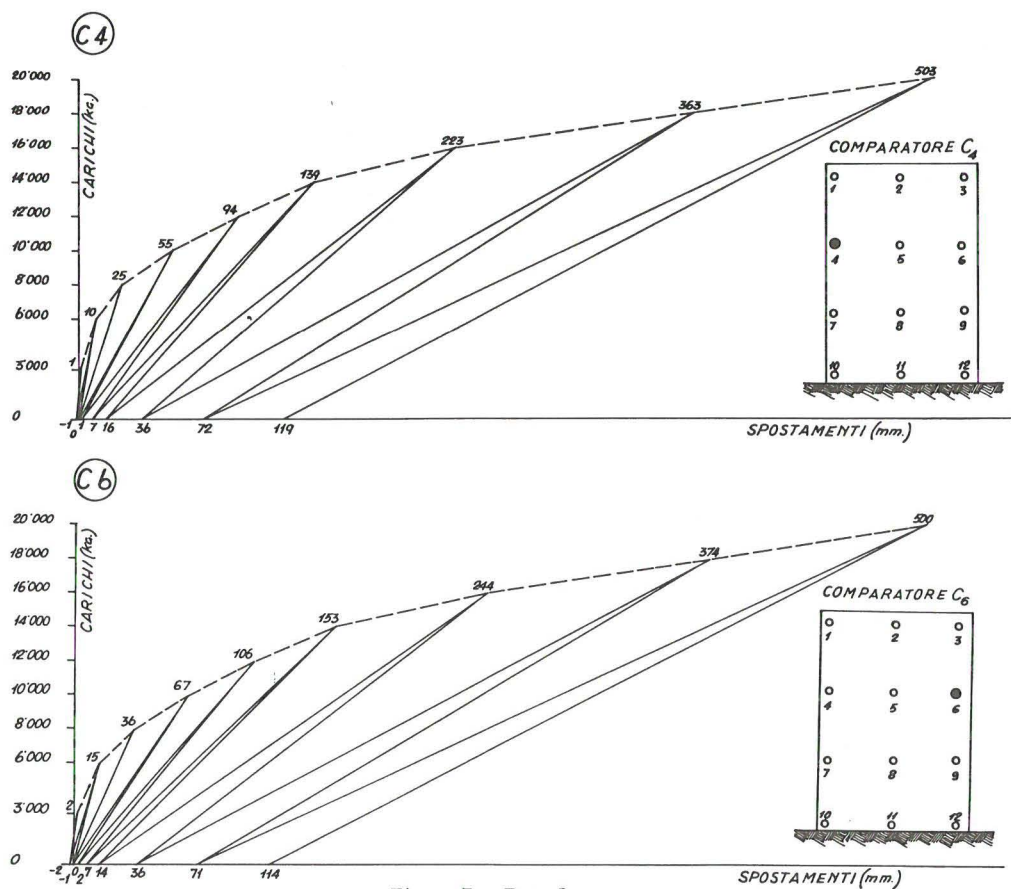
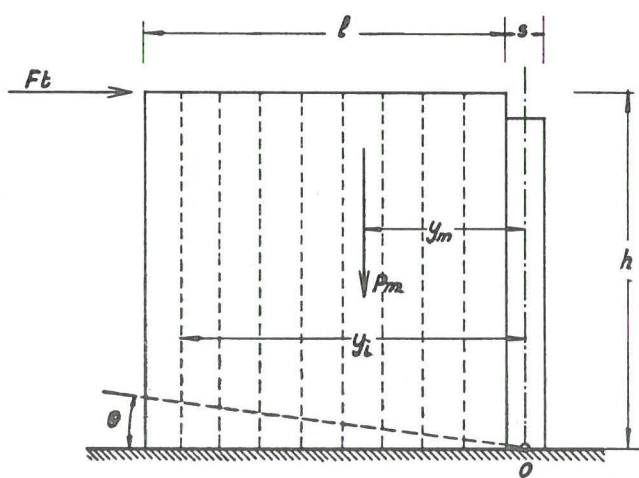


Figure 7. Part 3



A_{si} area sezione ferro verticale i -esimo
 E_s modulo elastico del ferro

Figure 10.

INTERPRETAZIONE STATICA DEL COMPORTAMENTO DEL CAMPIONE n.2

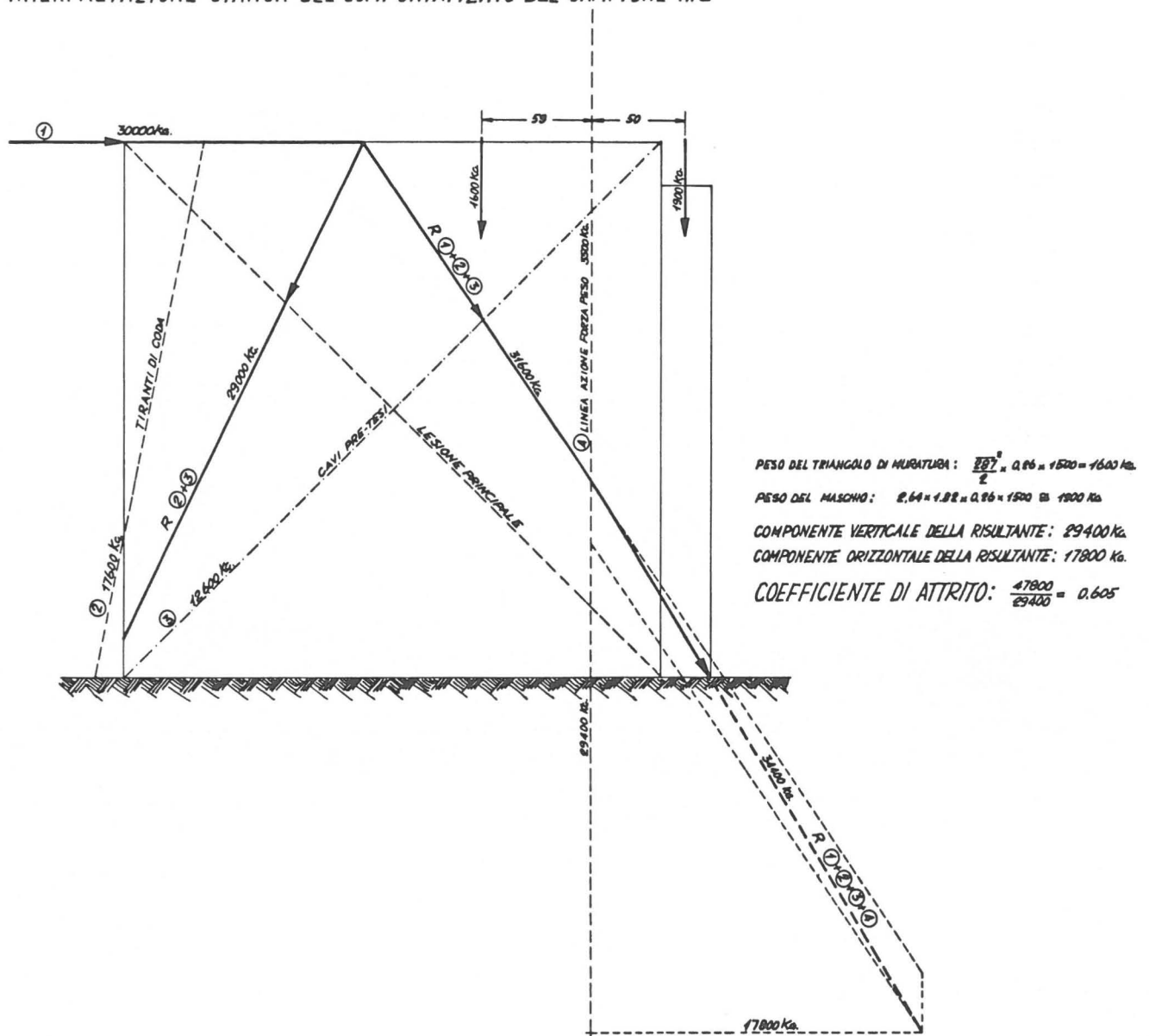


Figure 7A.

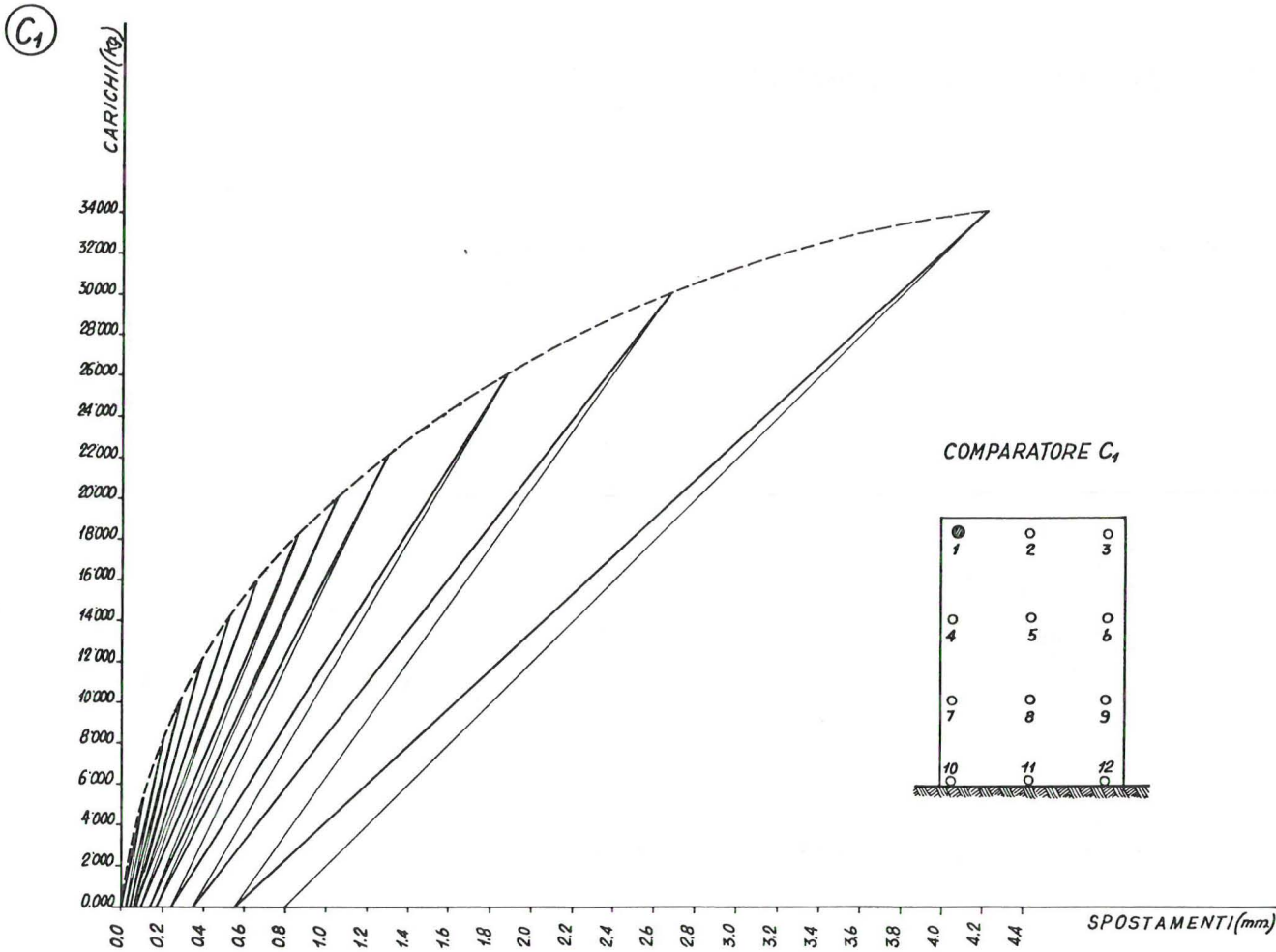


Figure 8. Part 1

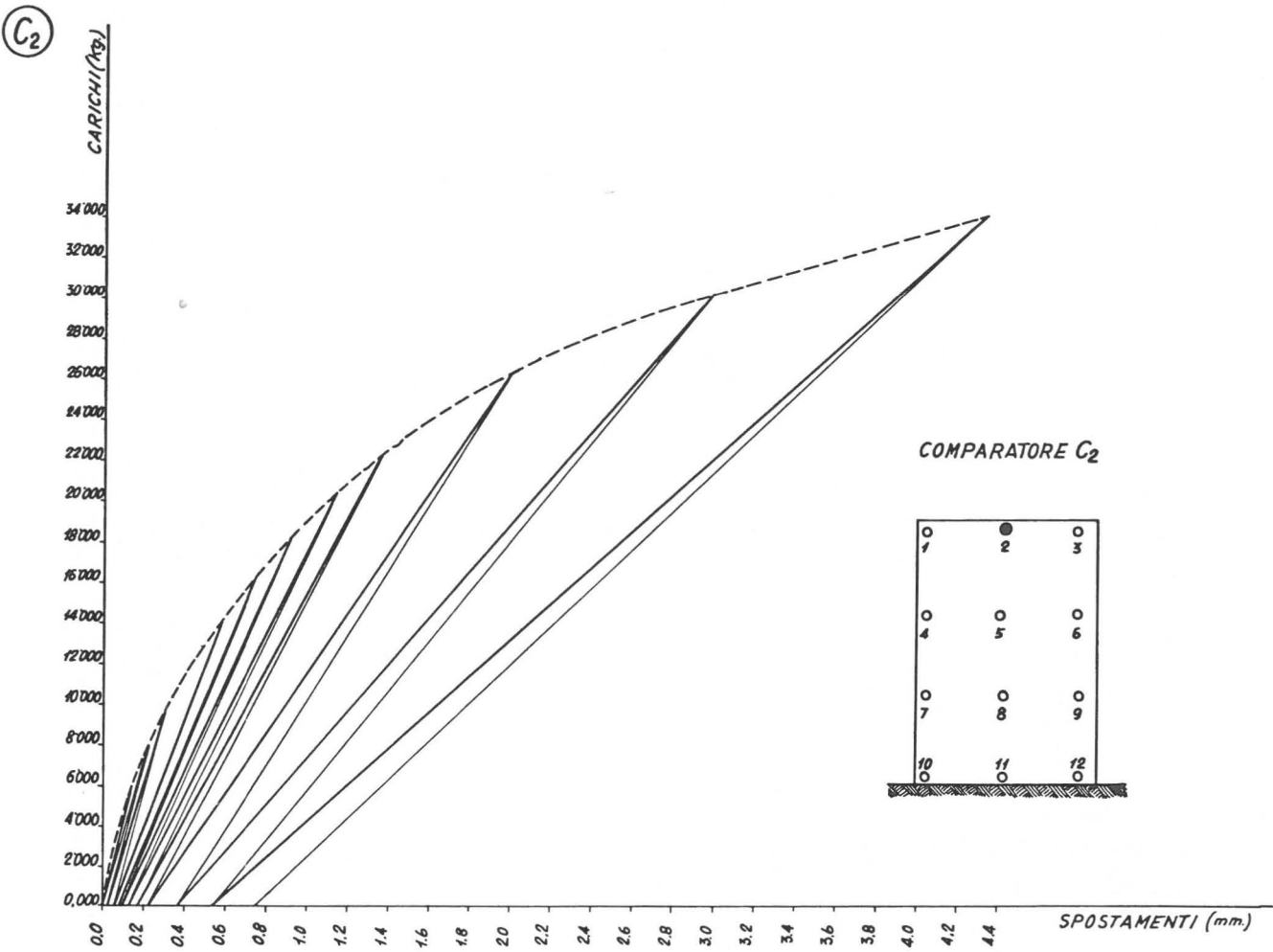


Figure 8. Part 2

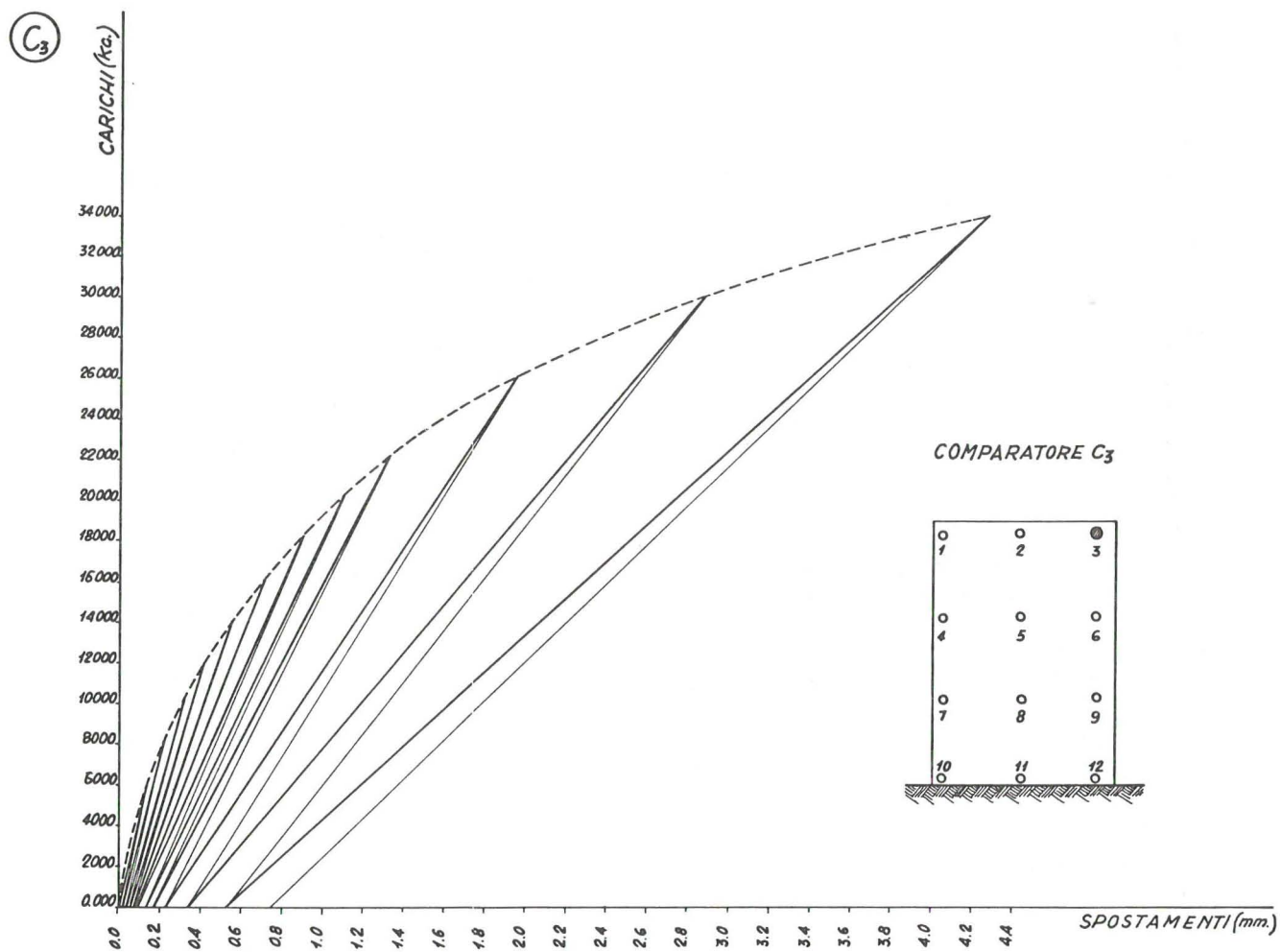


Figure 8. Part 3

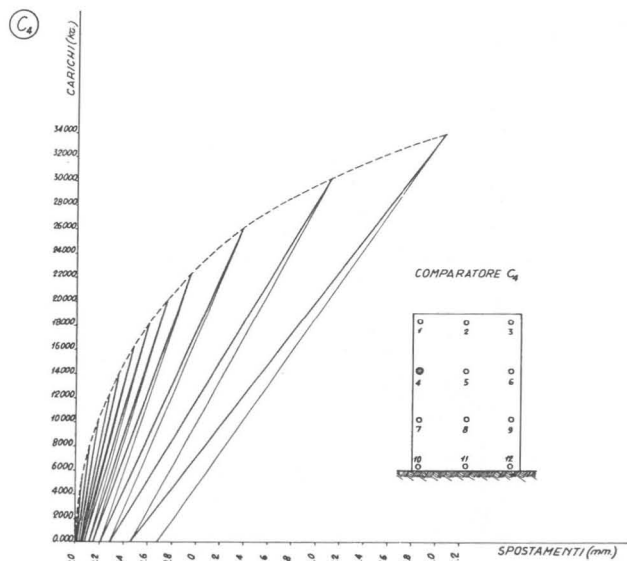


Figure 8. Part 4

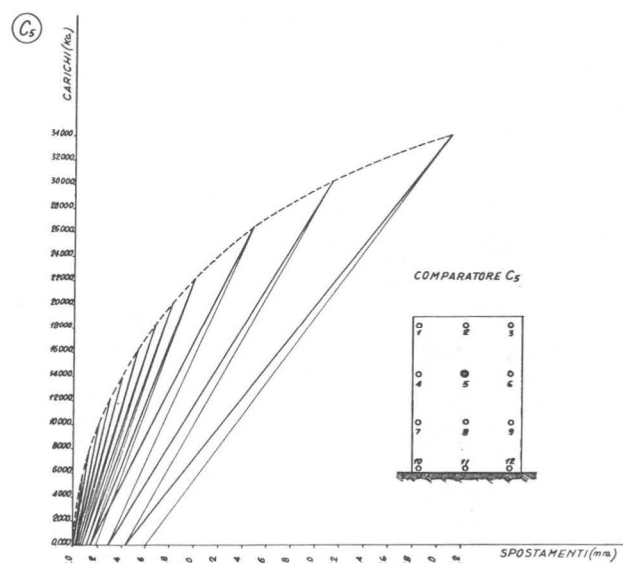


Figure 8. Part 5

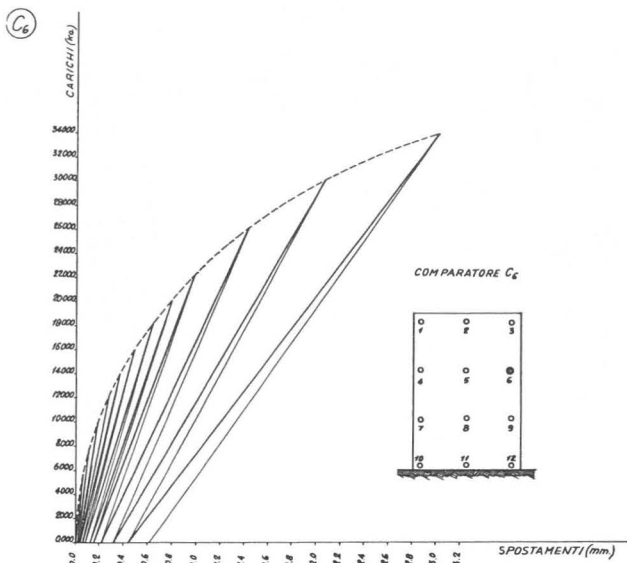


Figure 8. Part 6

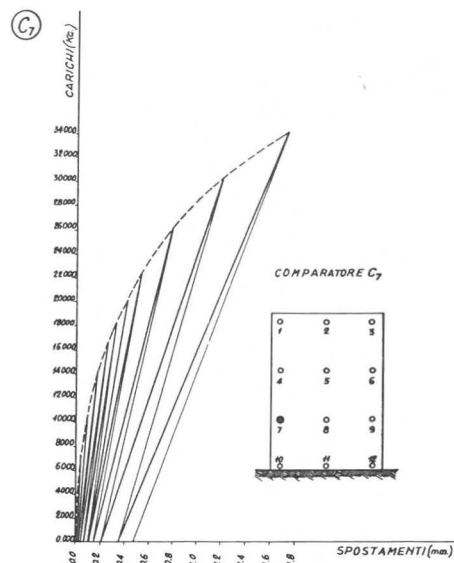


Figure 8. Part 7

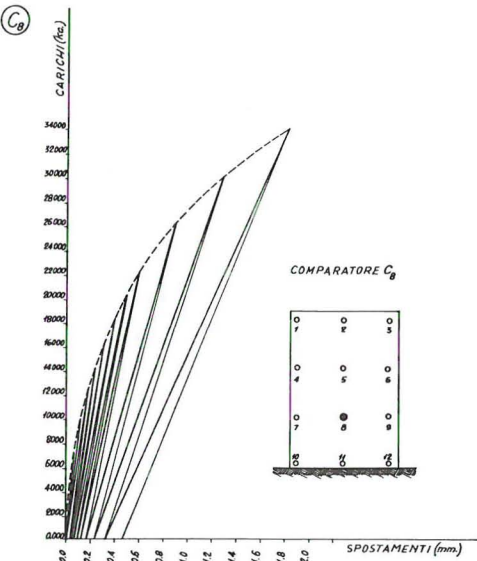


Figure 8. Part 8

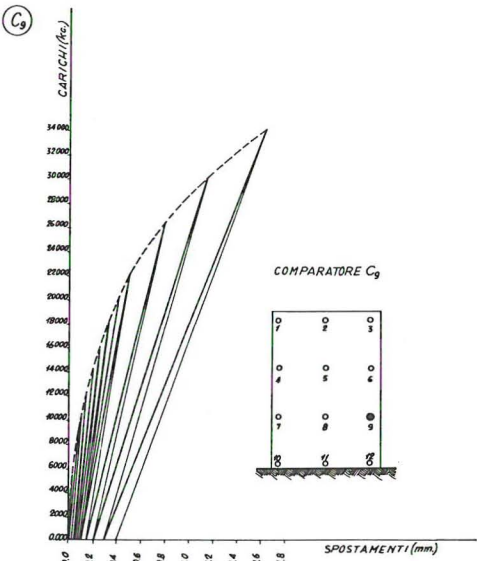


Figure 8. Part 9

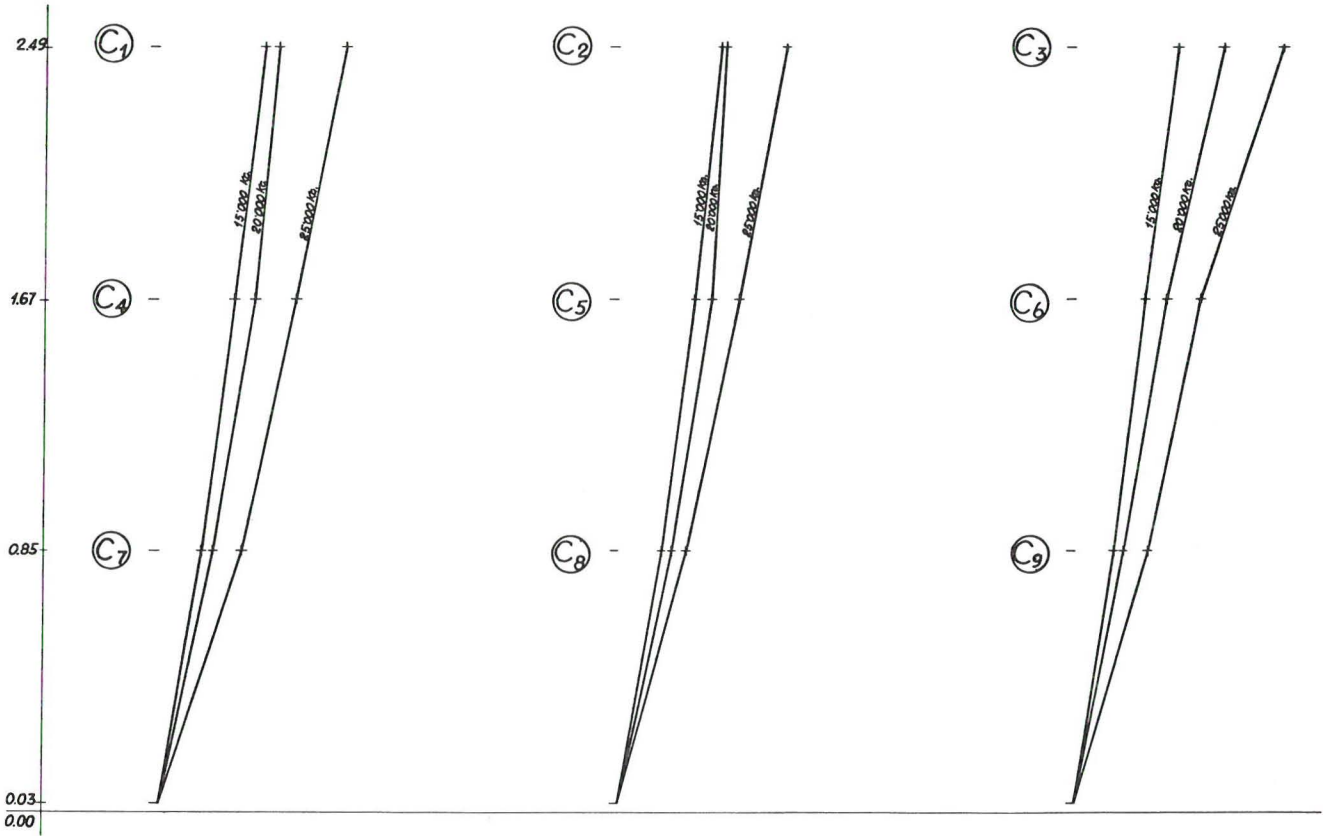


Figure 9.