



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 3° Incontro

18 maggio 2016

PROVE DI CARICO STATICHE – DINAMICHE PER IL COLLAUDO STATICO DELLE OPERE CIVILI

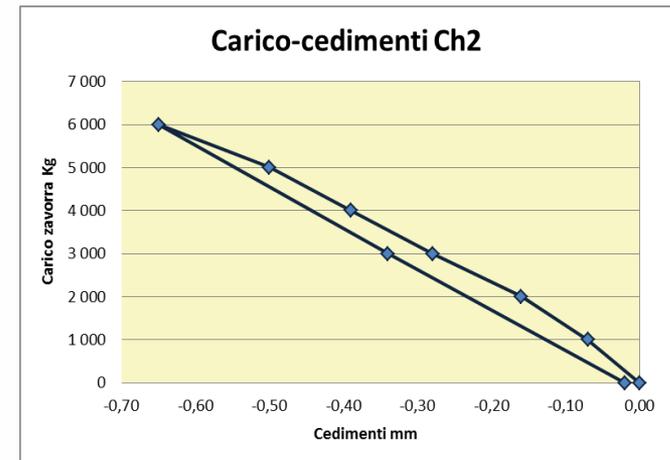
Relatore: **Ing. Santo Mineo**

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



Le prove di carico

Le prove di carico sono prove che vengono effettuate su elementi strutturali con lo scopo di verificarne sperimentalmente il loro comportamento sotto le azioni di esercizio: possono essere prove di collaudo, da effettuare prima di mettere in esercizio le strutture, al fine di verificarne la rispondenza alle previsioni progettuali, o prove di analisi, al fine di verificare il comportamento di un elemento strutturale già in opera.



Aspetti Normativi



Le prove di carico vengono richiamate al punto 9.2 – PROVE DI CARICO delle “Norme tecniche delle costruzioni” di cui al D.M. 14/01/2008.

Le prove di carico, ove ritenute necessarie dal Collaudatore, dovranno identificare la corrispondenza del comportamento teorico e quello sperimentale.

I materiali degli elementi sottoposti a collaudo devono aver raggiunto le resistenze previste per il loro funzionamento finale in esercizio.



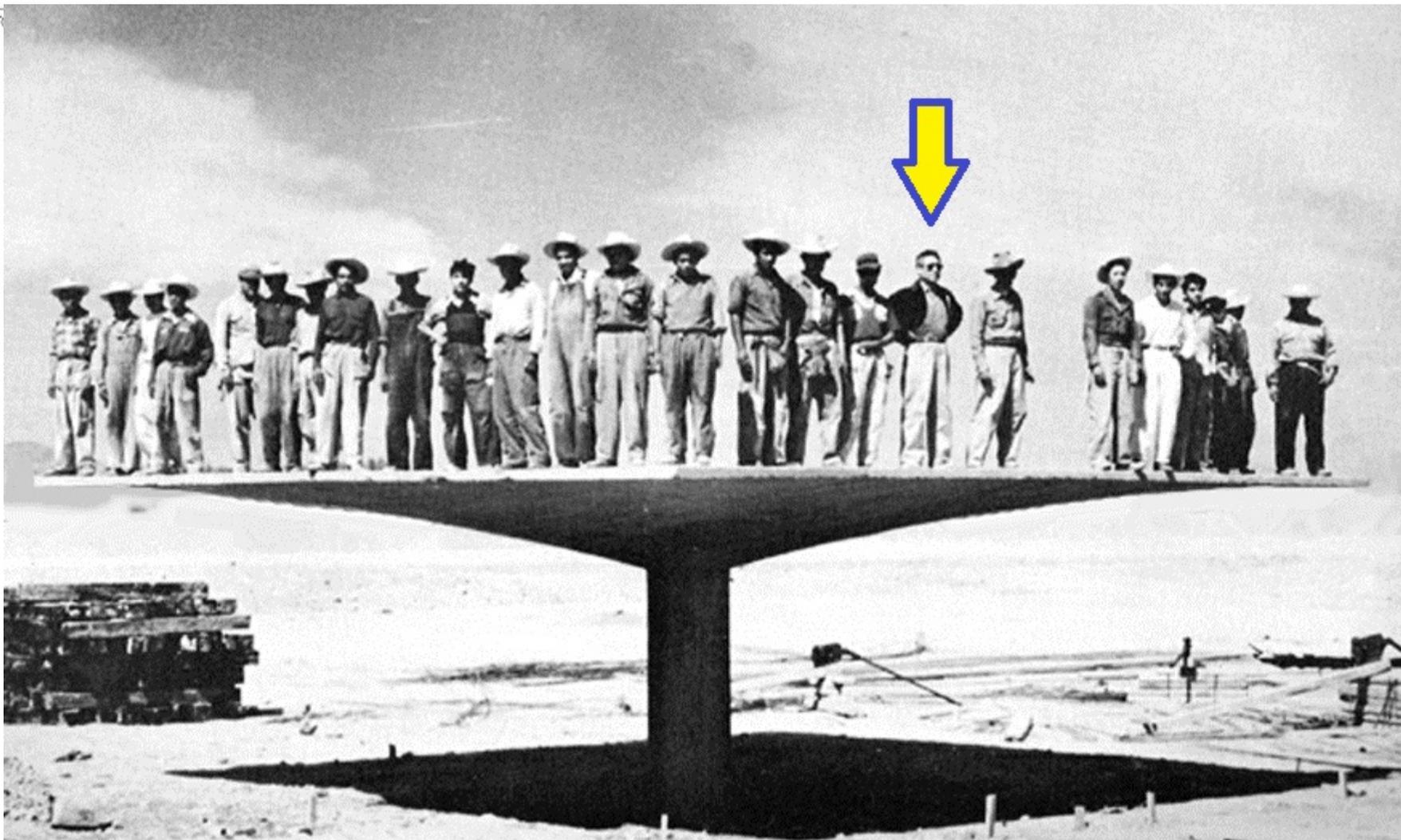
Aspetti Normativi



Il programma delle prove, stabilito dal Collaudatore, con l'indicazione delle procedure di carico e delle prestazioni attese deve essere sottoposto al Direttore dei lavori per l'attuazione e reso noto a Progettista e al Costruttore.

Le prove di carico si devono svolgere con le modalità indicate dal Collaudatore che se ne assume la piena responsabilità, mentre, per quanto riguarda la loro materiale attuazione, è responsabile il Direttore dei lavori.





Arch. Felix Candela – “PROVA DI CARICO” su un pilastro ad ombrello
(prima metà degli anni '50)

Aspetti Normativi



Le prove di carico sono prove di comportamento delle opere sotto le azioni di esercizio. Queste devono essere, in generale, tali da indurre le sollecitazioni massime di esercizio per combinazioni caratteristiche (rare).

In relazione al tipo della struttura ed alla natura dei carichi le prove possono essere convenientemente protratte nel tempo, ovvero ripetute su più cicli.



Aspetti Normativi



Il giudizio sull' esito della prova è responsabilità del Collaudatore.

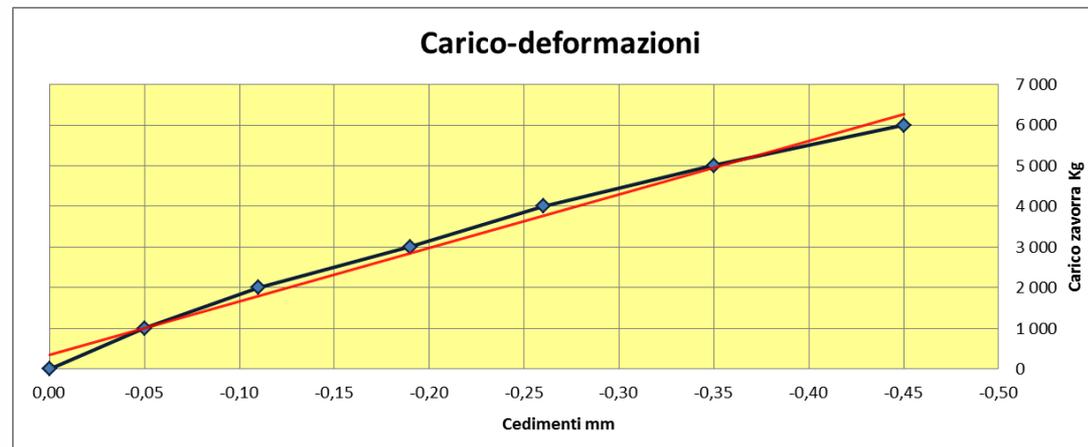


Aspetti Normativi



L'esito della prova va valutato sulla base dei seguenti elementi:

- le deformazioni si accrescano all'incirca proporzionalmente ai carichi;



Aspetti Normativi



L'esito della prova va valutato sulla base dei seguenti elementi:

- nel corso della prova non si siano prodotte fratture, fessurazioni, deformazioni o dissesti che compromettono la sicurezza o la conservazione dell'opera;



Aspetti Normativi



L' esito della prova va valutato sulla base dei seguenti elementi:

- la deformazione residua dopo la prima applicazione del carico massimo non superi una quota parte di quella totale commisurata ai prevedibili assestamenti iniziali di tipo anelastico della struttura oggetto della prova. Nel caso invece che tale limite venga superato, prove di carico successive devono indicare che la struttura tenda ad un comportamento elastico.

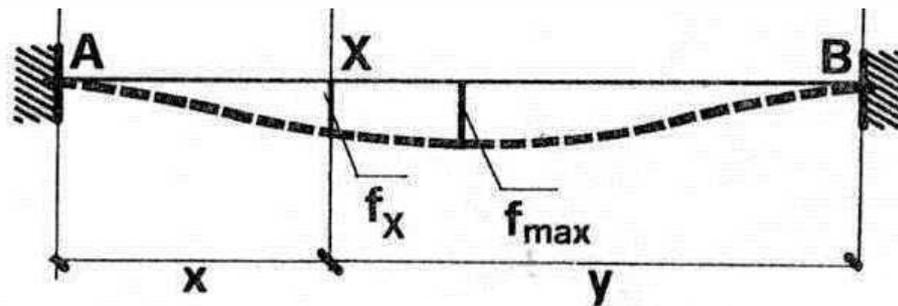


Aspetti Normativi



L'esito della prova va valutato sulla base dei seguenti elementi:

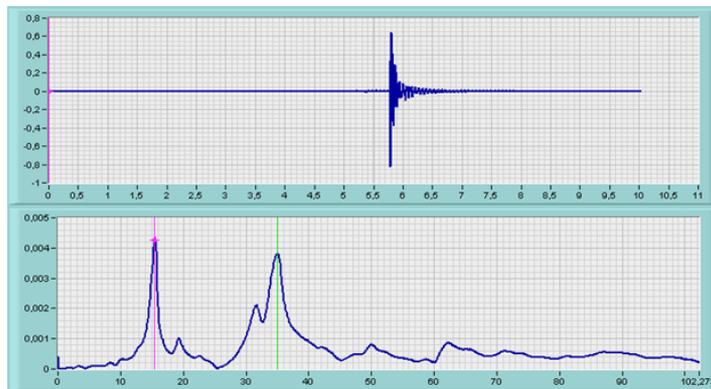
- la deformazione elastica risulti non maggiore di quella calcolata.



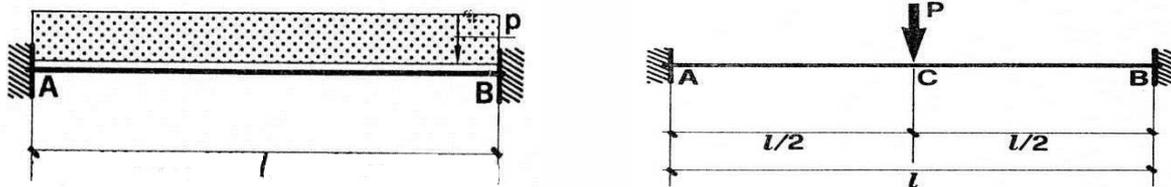
Aspetti Normativi



Le prove statiche, a giudizio del Collaudatore e in relazione all'importanza dell'opera, possono essere integrate da prove dinamiche e prove a rottura su elementi strutturali.



Carichi di prova



Per quanto riguarda i carichi d' esercizio per le diverse categorie di edifici, le “Norme tecniche per le costruzioni” forniscono i valori nominali delle intensità da assumere, distinti in:

- carichi uniformemente distribuiti q_k - (kN/m₂)
- carichi concentrati Q_k - (kN)
- carichi lineari H_k - (kN/m)

Questi vengono indicati nella tabella Tab.3.1.II

Tab.3.1.II – Valori dei carichi di esercizio per le diverse categorie di edifici

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
B	Uffici. Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	2,00 3,00	2,00 2,00	1,00 1,00
C	Ambienti suscettibili di affollamento Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune	3,00 4,00 5,00	2,00 4,00 5,00	1,00 2,00 3,00
D	Ambienti ad uso commerciale. Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie...	4,00 5,00	4,00 5,00	2,00 2,00



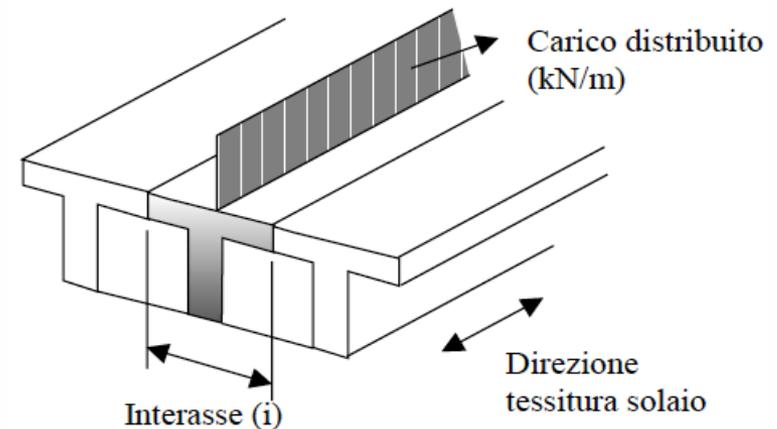
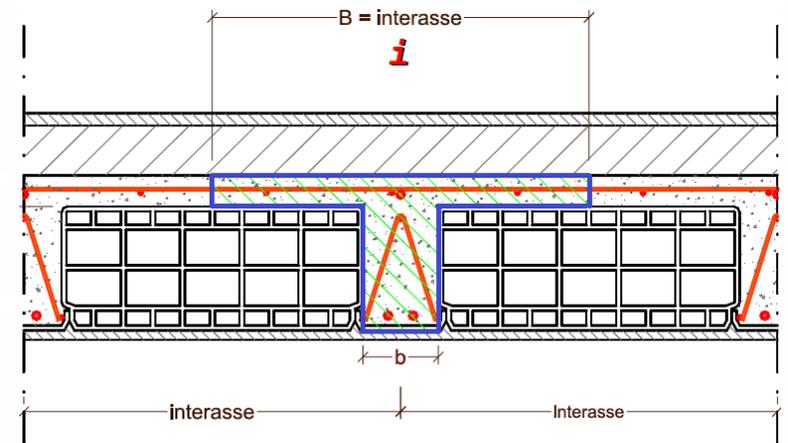
Tab.3.1.II – Valori dei carichi di esercizio per le diverse categorie di edifici

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
E	Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale.			
	Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	≥ 6,00	6,00	1,00*
	Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	—	—	—
F-G	Rimesse e parcheggi.			
	Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso	—	—	—
H	Coperture e sottotetti			
	Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione	0,50	1,20	1,00
	Cat. H2 Coperture praticabili	secondo categoria di appartenenza		
	Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	—	—	—



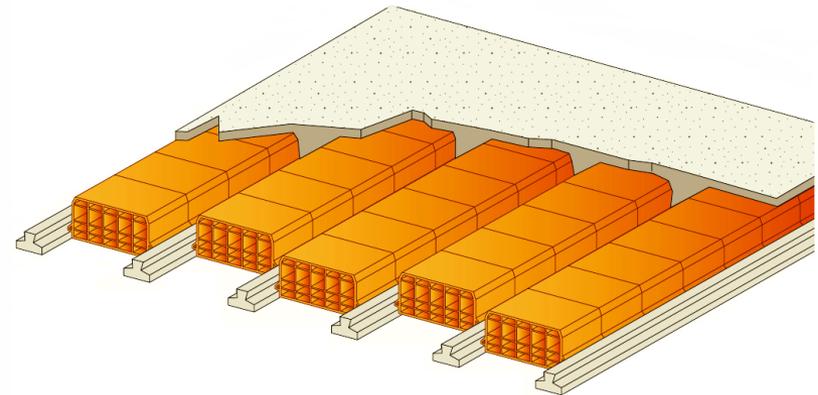
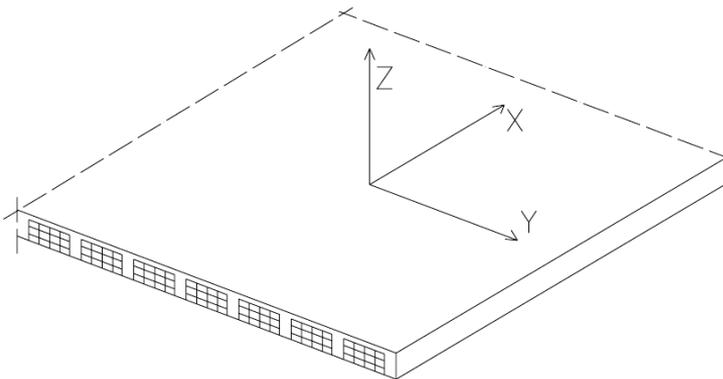
Considerazioni sul calcolo teorico dei solai in latero cemento

I travetti dei solai sono generalmente calcolati come appoggiati agli estremi, assegnando ai vincoli un certo grado d'incastro e supponendo che ogni elemento sia indipendente da quello vicino.



Considerazioni sul calcolo teorico dei solai in latero cemento

Nella realtà, invece, i solai si comportano come piastre vincolate su quattro lati, e perciò anche i travetti distanti dalla zona caricata forniscono un contributo collaborando con quello più sollecitato.



Considerazioni sul calcolo teorico dei solai in latero cemento

Pertanto, quando non è possibile caricare l'intera specchiatura di solaio compresa tra quattro pilastri, al fine di sollecitare la zona caricata così come previsto in progetto, è necessario determinare con buona approssimazione la zona di solaio collaborante e valutare di conseguenza l'entità di zavorra necessaria per la prova.



Materializzazione del carico



La zavorra occorrente per materializzare i carichi distribuiti di prova può essere costituita, in relazione alle disponibilità del cantiere e delle esigenze della stessa prova, da pallet di laterizi, da sacchi di materiale in polvere (cemento, calce, premiscelati, etc.), da bidoni, serbatoi o vasche da riempire con acqua, etc.



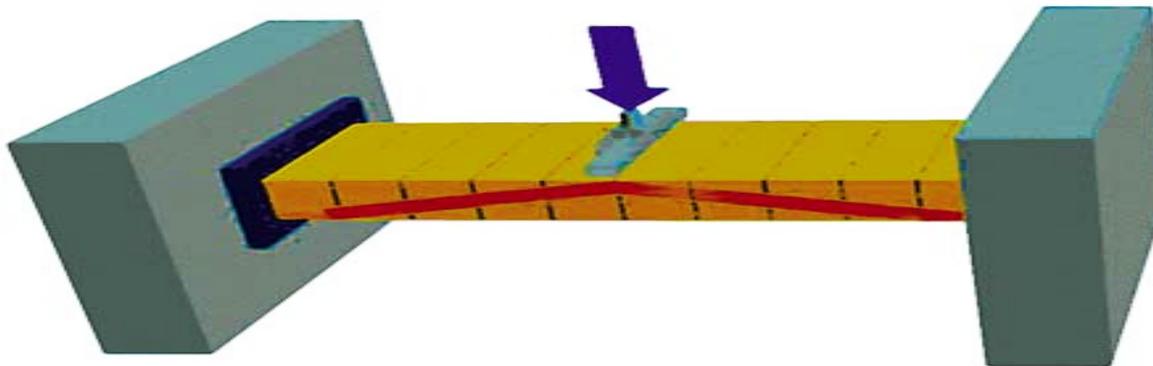
Materializzazione del carico

Quando il carico è generato con vasche o serbatoi riempiti d'acqua, questo si dispone in maniera uniforme e graduale, potendo quantificare con esattezza il carico misurando l'altezza d'acqua e/o utilizzando un contatore sia in entrata che in uscita.



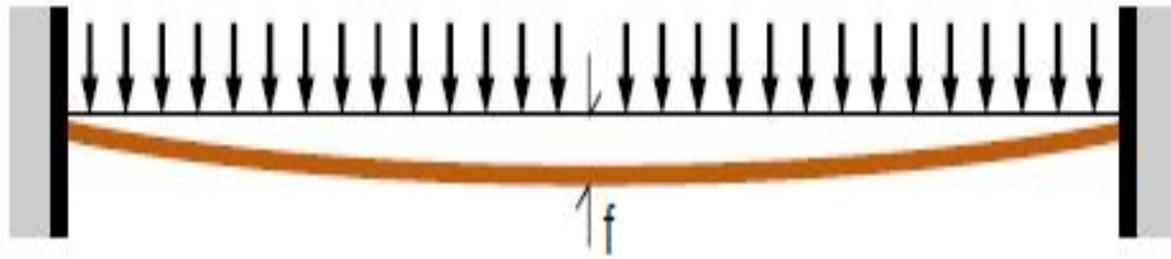
Materializzazione del carico

Se si utilizzano elementi discreti (pallet, sacchi, bidoni, ...) è opportuno procedere alla distribuzione del carico in maniera simmetrica, alternandolo per evitare la formazione di archi di scarico che trasferirebbero direttamente, in tutto o in parte, il carico agli appoggi, inficiando così i risultati e determinando ipotesi di comportamento della struttura assolutamente diverse da quelle reali.



Misura degli spostamenti

Aspetto particolarmente importante delle prove di carico è la misurazione degli spostamenti delle strutture caricate.



Misura degli spostamenti

Particolare attenzione bisogna porre nell'implementazione e installazione della catena di misura: in passato era molto diffuso l'utilizzo di comparatori analogici a diretto contatto con l'intradosso dell'elemento strutturale o con aste di metallo o fili di acciaio invar rese solidali all'elemento strutturale provato.



Misura degli spostamenti



In tal caso vi è la necessità da parte dello sperimentatore di eseguire le letture direttamente, recandosi materialmente in prossimità del comparatore e di conseguenza al di sotto dell'elemento caricato.

Misura degli spostamenti

Grazie ai progressi dell'elettronica ed alla riduzione dei relativi costi, per la misura degli spostamenti oggi vengono utilizzati trasduttori potenziometrici o induttivi i quali correlano la variazione della resistenza elettrica o del campo magnetico alla variazione della grandezza fisica.



Misura degli spostamenti



Tali dispositivi vengono collegati ad apposite centraline che acquisiscono ed elaborano il segnale in remoto, grazie a cavi o via wireless, consentendo allo sperimentatore di operare in tutta sicurezza anche a notevole distanza dalle aree caricate.

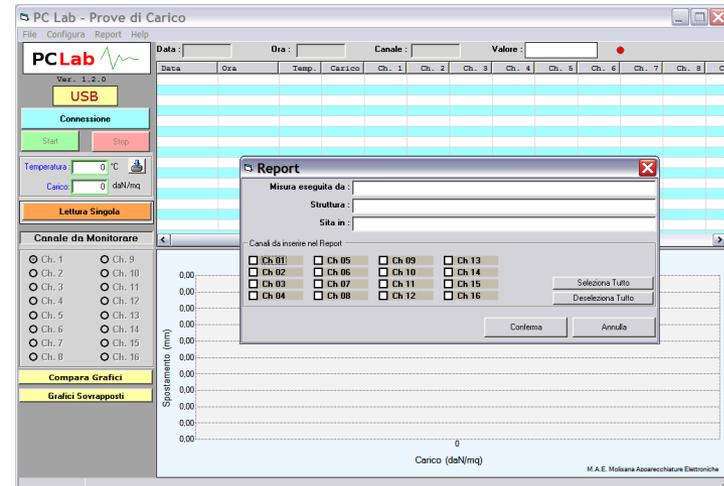
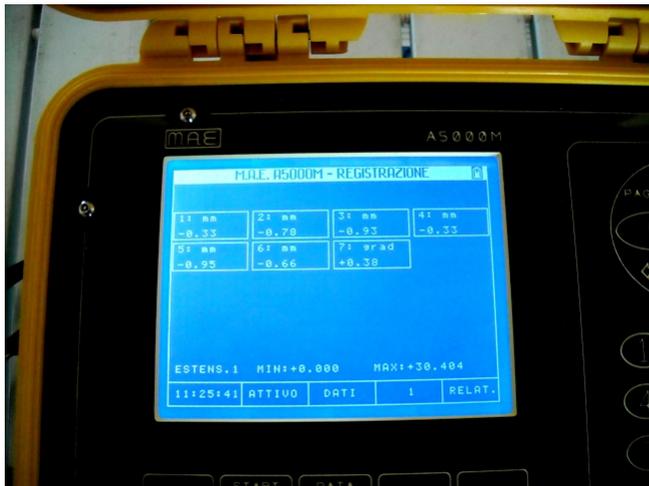
Misura degli spostamenti



Fili in acciaio inox inestensibile, piombi e comparatori digitali centesimali

Misura degli spostamenti

Tali centraline, che permettono di registrare le misure effettuate anche secondo cicli temporali programmati, sono inoltre interfacciabili a PC, consentendo in tempo reale di monitorare l'andamento carico-deformazione della struttura sottoposta a collaudo, e di conseguenza il comportamento dell'elemento strutturale.



Misura degli spostamenti



In relazione alla strumentazione scelta per la misurazione degli spostamenti, è sempre importante porre particolare attenzione all'installazione del sistema o catena di misura:

Misura degli spostamenti

è necessario valutare, e di conseguenza misurare, ogni interferenza ambientale o antropica che possa influire sulle misurazioni quali variazioni di temperatura, vibrazioni, deformazioni, al fine di poter epurare le misurazioni effettuate da tali interferenze e fornire un dato realistico delle deformazioni della sola struttura sottoposta a prova.



Misura degli spostamenti

E' inoltre importante sottoporre a verifica periodica di taratura sia i singoli trasduttori / comparatori che l'intera catena di misura.



Misura delle deformazioni

In seno ad una prova di carico vi è la possibilità di misurare le deformazioni delle barre di armatura tese, al fine di risalire al livello tensionale dell'acciaio all'incastro e/o in mezzeria.

E' sufficiente:

- mettere a nudo il tratto di barra di armatura interessato
- strumentare opportunamente la barra per leggere le deformazioni con deformometro removibile millesimale o strain gauge
- effettuare le letture per ogni gradino di carico
- applicare la legge di Hooke: $\sigma = E \cdot \varepsilon$



Misura delle deformazioni



Misura della deformazione della barra di armatura superiore all'incastro durante la prova di carico

Misura delle deformazioni



Misura della deformazione della barra di armatura superiore all'incastro durante la prova di carico

Misura delle deformazioni



Barre di armatura da c.a. strumentate con Strain Gauge per la misura delle deformazioni

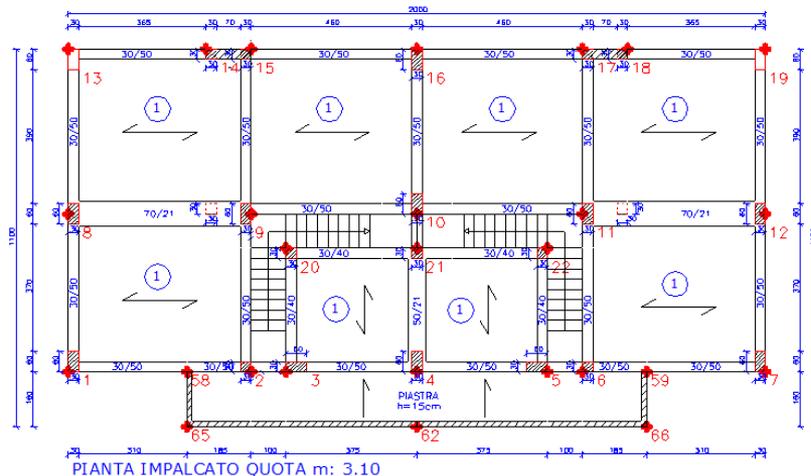
Misura delle deformazioni



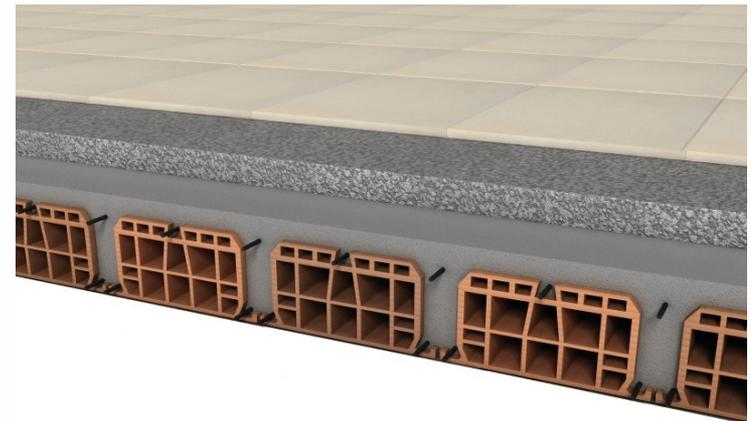
Strain gauge installato all'intradosso di un tegolo in c.a.p. per la misura della deformazione all'intradosso durante una prova di carico

Determinazione del carico di prova

Per la determinazione del carico di prova si inizia col valutare l'entità del carico accidentale uniformemente distribuito previsto in progetto, aggiungendo eventualmente il carico delle finiture non ancora in opera sulla struttura.

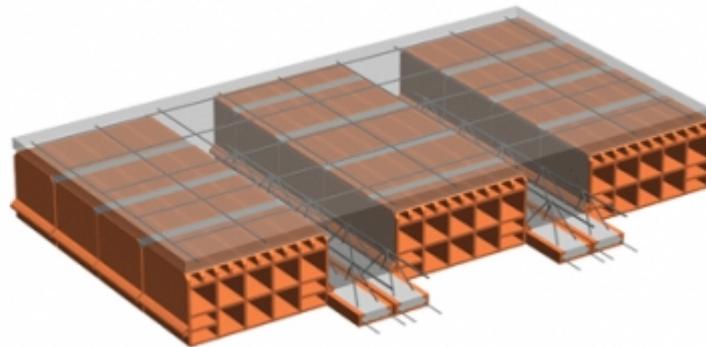


- ① Solai in latero cemento con travetti prefabbricati
 $H=16+5$ cm
 Sovraccarico permanente = 150 Kg/mq
 Sovraccarico accidentale = 200 Kg/mq



Determinazione del carico di prova

Quando non è possibile caricare interamente la specchiatura di solaio, è possibile ricorrere a strisce di carico aventi larghezza **b** inferiore alla larghezza del campo di solaio, facendo tuttavia le dovute correzioni di carico per tenere conto della collaborazione delle fasce laterali di solaio non direttamente caricate ma collaboranti, grazie alla presenza della caldana armata con i ferri di ripartizione, con i travetti direttamente caricati.



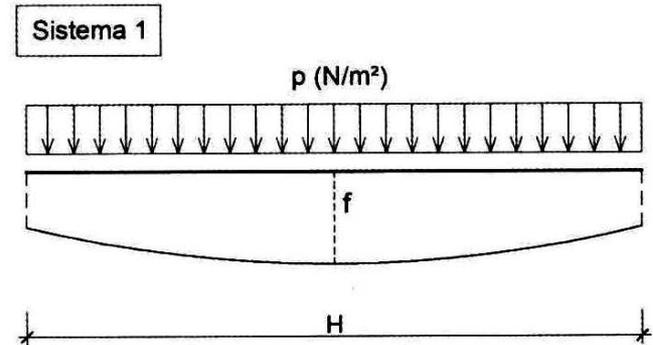
Determinazione del carico di prova

In pratica si valuta, teoricamente e/o sperimentalmente, la larghezza **B** di tale fascia collaborante ed in relazione al rapporto

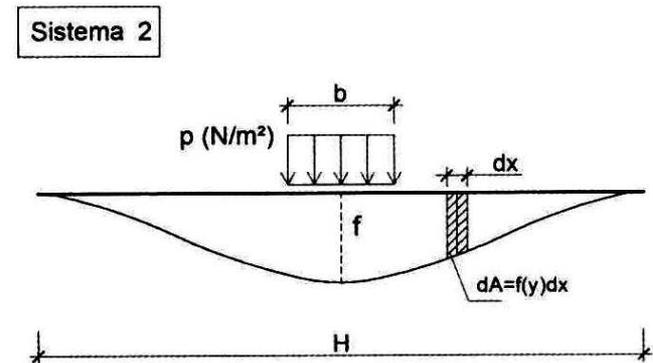
$$k = B / b$$

si incrementa il carico di collaudo sino a far lavorare i travetti direttamente caricati come se fosse tutto il solaio ad essere caricato.

$$p_{coll} = k * q$$



a) Linea elastica dovuta al carico teorico distribuito di progetto



b) Linea elastica sperimentale dovuta al carico distribuito di prova agente su striscia parallela all'orditura

Determinazione del carico di prova

Il carico di prova sulla striscia di larghezza **b** di solito viene stimato, in prima approssimazione, teoricamente mediante il **metodo di Guidi**, al fine di avere un primo ordine di grandezza della zavorra da materializzare.

$$p_1 = \frac{p}{(2\lambda - \lambda^2)} \quad \text{con} \quad \lambda = \frac{b}{L}$$

p_1 = carico di prova

p = carico di progetto

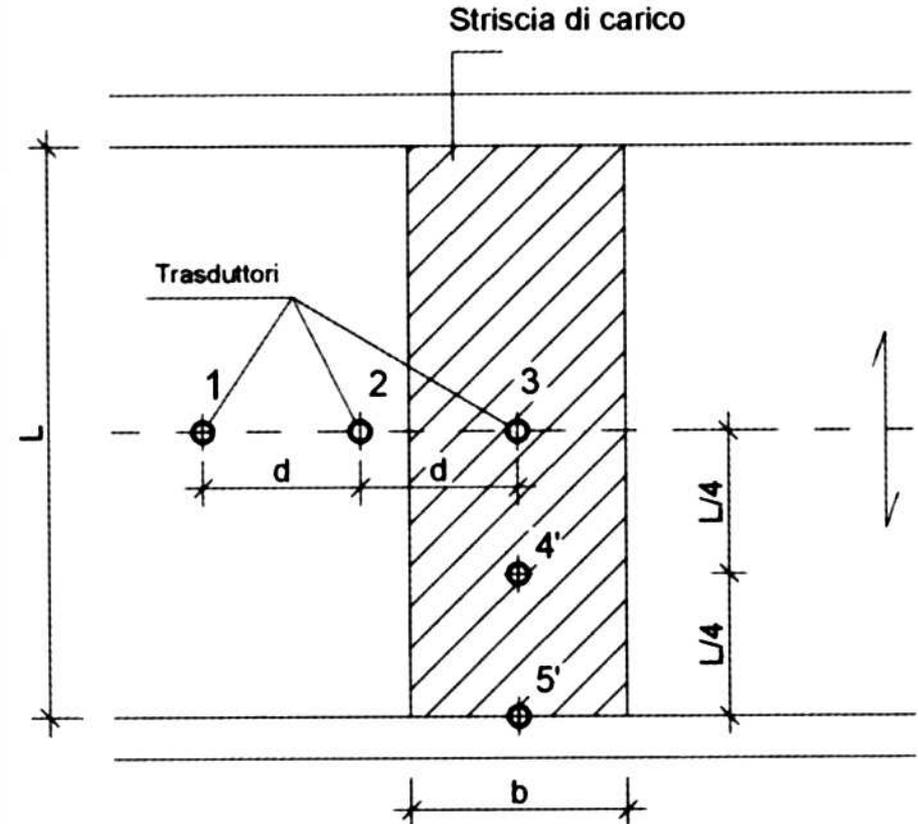
b = larghezza della fascia di carico

L = luce del solaio



Determinazione del carico di prova

Durante l'esecuzione della prova la larghezza **B** della fascia collaborante viene sperimentalmente determinata misurando la deformazione trasversale del solaio caricato grazie a dei trasduttori di spostamento disposti in mezzzeria e trasversalmente all'orditura dei travetti.



Determinazione del carico di prova

L'ampiezza **B** della fascia collaborante viene valutata come quella del solaio immaginario infinitamente rigido che si deforma della stessa ampiezza massima, racchiudendo la stessa area della deformata trasversale reale.

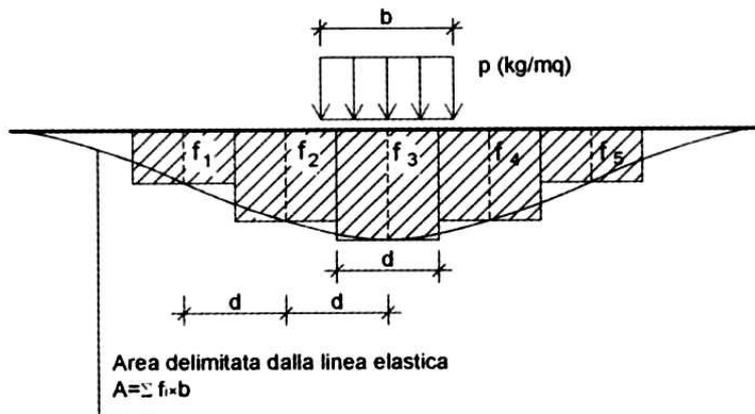


Figura E.3. Calcolo dell'area sottesa dalla linea di inflessione trasversale mediante somma dei rettangoli di compenso

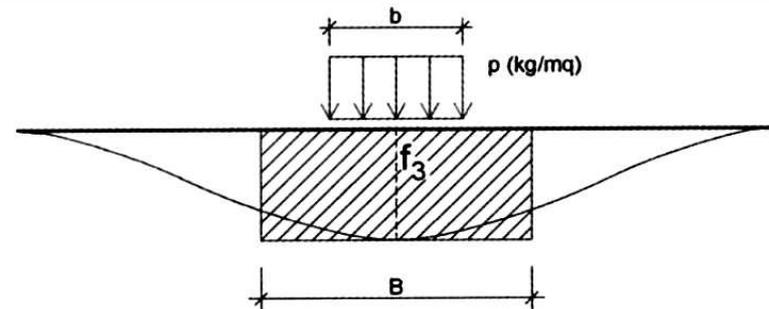


Figura E.4. Deformata trasversale



Determinazione del carico di prova

$$p_{\text{collaudo}} = k * q_{\text{calcolo}}$$

$$k = \frac{B}{b} = \frac{(f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5) \cdot d}{b \cdot f_3}$$

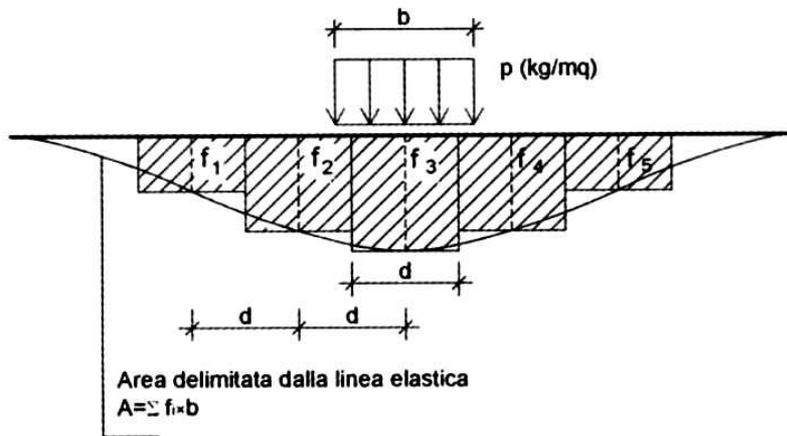


Figura E.3. Calcolo dell'area sottesa dalla linea di inflessione trasversale mediante somma dei rettangoli di compenso

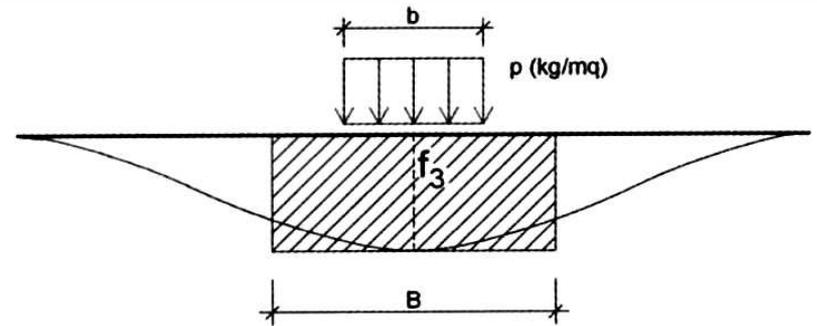
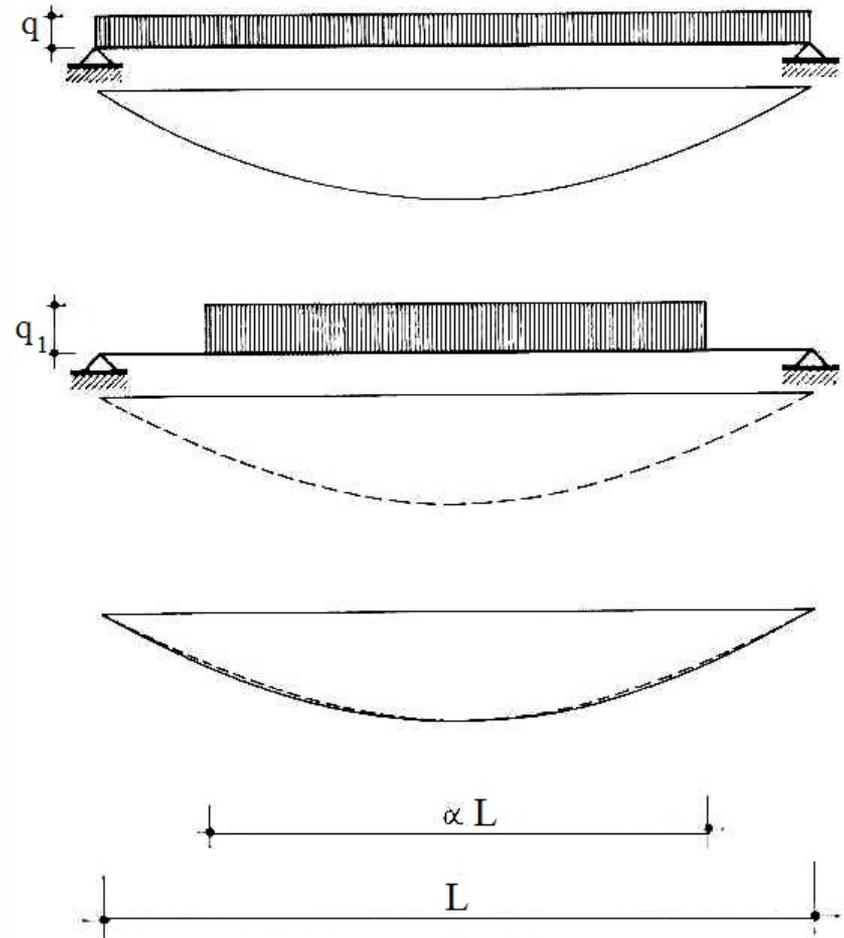


Figura E.4. Deformata trasversale

Determinazione del carico di prova

E' possibile, inoltre, utilizzare una fascia di carico avente una lunghezza l inferiore alla luce L del solaio oggetto di collaudo: anche in questo caso bisognerà incrementare il carico di collaudo al fine di equiparare i momenti della configurazione di luce parzialmente caricata con quella di luce interamente caricata.



Prove a carichi concentrati equivalenti

Di recente si è diffuso il ricorso alle prove di carico cosiddette a **CARICHI CONCENTRATI EQUIVALENTI**.

In base alla tipologia di applicazione del carico si distinguono in:

PROVA A SPINTA

PROVA A TIRO



Prove a carichi concentrati equivalenti

PROVA A SPINTA

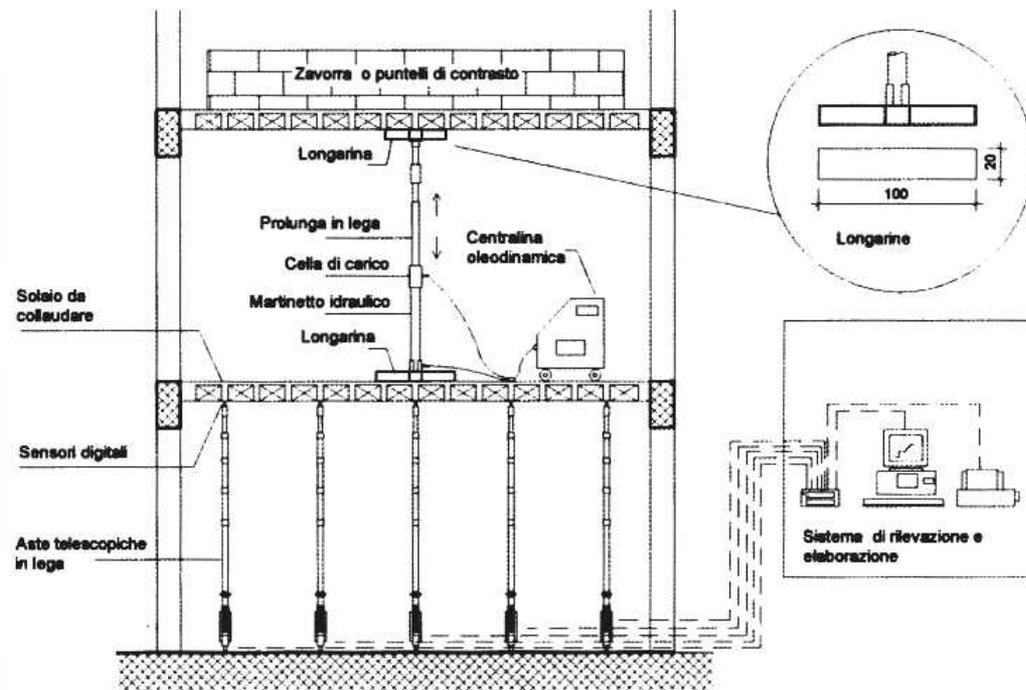
Viene eseguita mediante l'applicazione di un carico concentrato applicato a mezzo di un sistema a spinta costituito da traverse nervate e da un martinetto idraulico, oltre ad un sistema di prolunghe ad innesti rapidi.



Prove a carichi concentrati equivalenti

PROVA A SPINTA

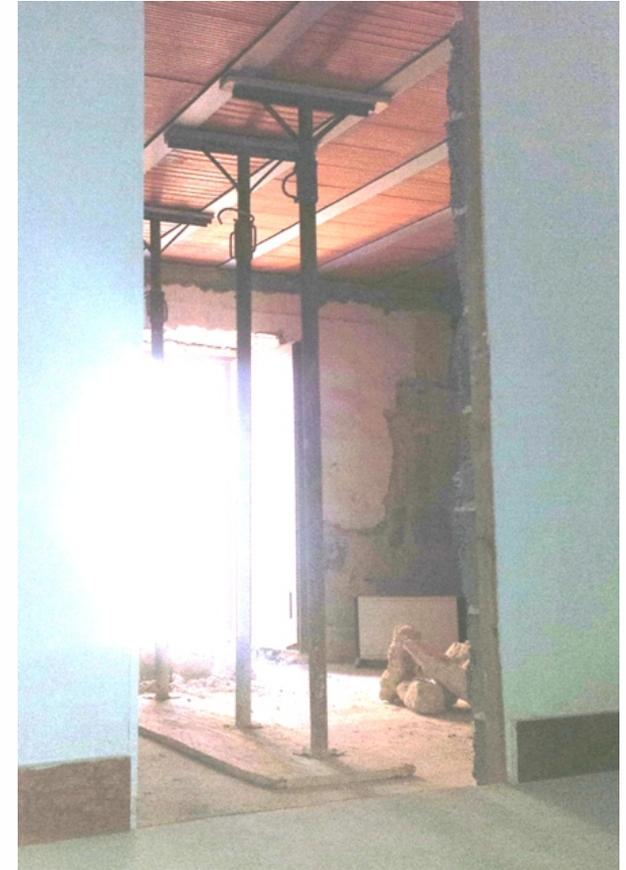
Mediante tale tipologia di prova sul solaio da caricare viene applicato un carico concentrato grazie al contrasto esercitato dal solaio superiore.



Prove a carichi concentrati equivalenti

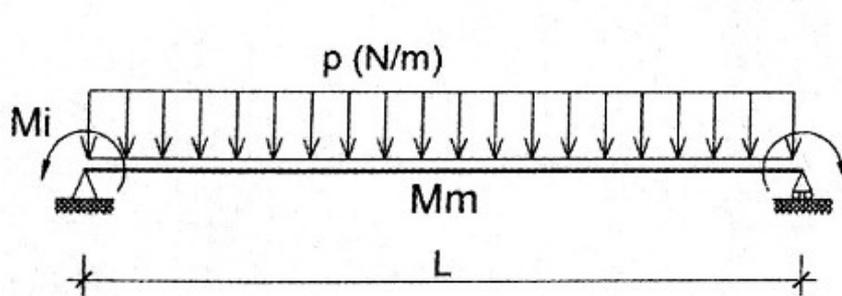
PROVA A SPINTA

E' possibile utilizzare questa tipologia di carico sino a quando il solaio superiore, per effetto della spinta dal basso del martinetto, viene semplicemente scaricato dal momento positivo dovuto al peso proprio. In caso contrario, quando è possibile si può zavorrare o ulteriormente contrastare il solaio superiore, ovvero valutare la possibilità di ricorrere al metodo a tiro.

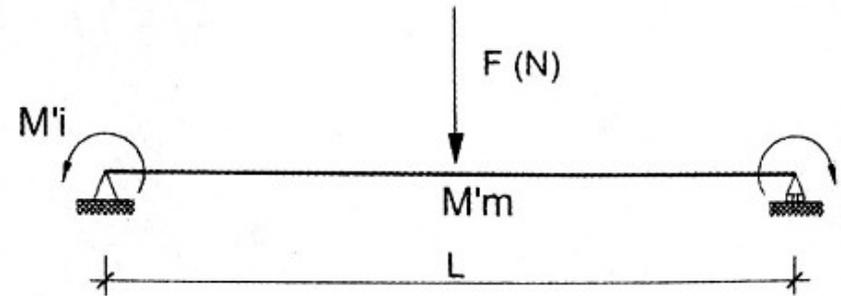


Prove a carichi concentrati equivalenti

PROVA A SPINTA



a) Condizione di progetto



b) Condizione di prova

La forza “equivalente” da applicare F_{eq} è quella forza applicata in corrispondenza della mezzeria del solaio trasversalmente alle nervature e capace di indurre lo stesso momento massimo prodotto dal carico uniformemente distribuito di progetto q .

Prove a carichi concentrati equivalenti

PROVA A SPINTA

$$F_{eq} = K_1 \cdot K_2 \cdot q \cdot L$$

K₁ = coefficiente che tiene conto della collaborazione delle zone di solaio adiacenti (valgono gli stessi ragionamenti fatti per le fasce di carico)

K₂ = coefficiente di equivalenza tra i momenti flettenti generati in mezzeria dal carico concentrato e dal carico uniformemente distribuito (funzione dei vincoli di estremità)

q = carico uniformemente distribuito di progetto

L = luce del solaio



Prove a carichi concentrati equivalenti

PROVA A SPINTA

Peculiarità del metodo

- ✓ carico applicabile con qualunque velocità o gradualità e possibilità di rimozione istantanea dello stesso
- ✓ installazione del sistema di carico semplice e veloce
- ✓ possibilità di effettuare più cicli di carico al fine di una valutazione più accurata della linearità e della ripetibilità
- ✓ possibilità di analizzare istantaneamente l'evolversi delle deformazioni al variare del carico.



Prove a carichi concentrati equivalenti

PROVA A SPINTA

ATTENZIONE

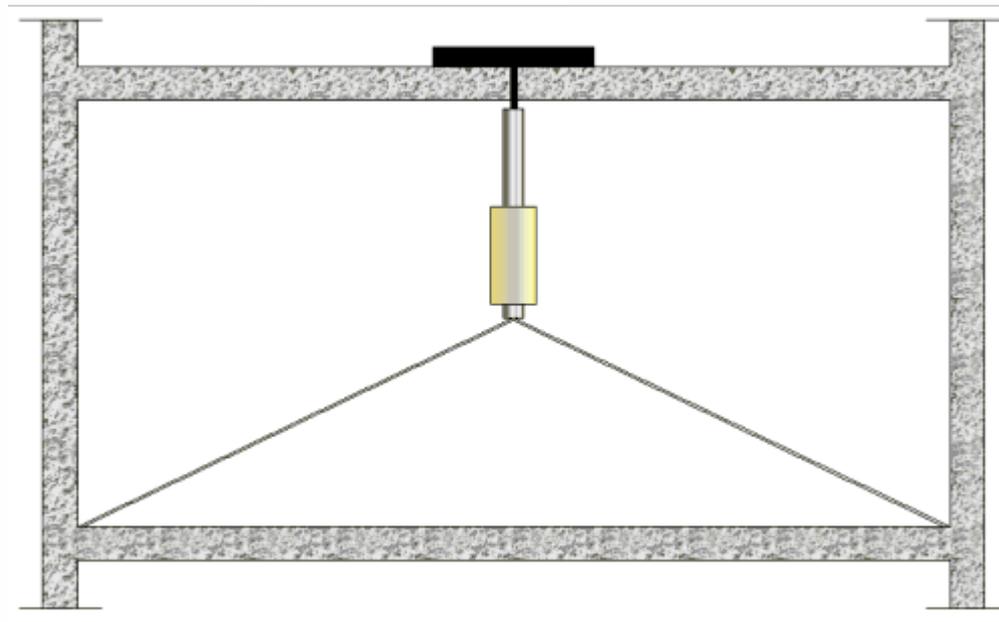
A causa della particolarità della prova e delle azioni della stessa anche sugli elementi non oggetto di indagine, è bene che questo tipo di prova venga eseguita esclusivamente da personale qualificato e con esperienza e sotto la supervisione del collaudatore: **così come è facile applicare il carico è altrettanto facile danneggiare le strutture.**



Prove a carichi concentrati equivalenti

PROVA A TIRO

Quando non è possibile contrastare il sistema di spinta, per l'applicazione del carico concentrato si può ricorrere alla prova a tiro.



Prove a carichi concentrati equivalenti

PROVA A TIRO

Valgono le stesse considerazioni teoriche esposte per le prove a spinta: l'unica differenza sta nel fatto che il carico viene generato dal tiro della struttura provocato dall'accorciamento di uno o più martinetti ancorati alla struttura inferiore o a normali pesi.



Prove a carichi concentrati equivalenti

PROVA A TIRO



Prove a carichi concentrati equivalenti PROVA A TIRO



Prova a tiro su solaio di autorimessa attaccato da incendio



Prove a carichi concentrati equivalenti PROVA A TIRO



Prova a tiro su solaio di autorimessa attaccato da incendio

Prove a carichi concentrati equivalenti PROVA A TIRO

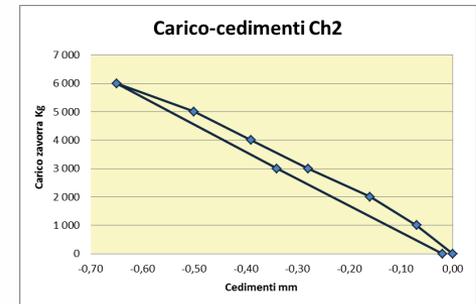


Prova a tiro su solaio di autorimessa attaccato da incendio

Fasi esecutive della prova



La fasi esecutive di una prova di carico, con zavorra costituita da acqua in serbatoi e misurazioni degli abbassamenti effettuate con trasduttori di spostamento e centralina di acquisizione, possono pertanto così riassumersi:



Fasi esecutive della prova

- acquisizione del programma di prova redatto dal collaudatore, comunicato al direttore dei lavori, approvato dal progettista ed accettato dal costruttore
- effettuazione di sopralluogo preliminare al fine di prendere diretta visione della struttura da collaudare ed eseguire i rilievi necessari: altezza libera all'intradosso del solaio, tipologia di solaio, grado di finitura, presenza o meno dei carichi permanenti, etc.
- verifica dell'approvvigionamento dell'acqua di zavorra: serbatoi in cantiere, autobotti, etc.



Fasi esecutive della prova

- individuazione all'estradosso del solaio della zona di carico: intera specchiatura di solaio o fascia di carico;
- esatto posizionamento del serbatoio sull'area individuata quale striscia di carico
- individuazione all'intradosso del solaio dei punti (sui travetti) a contatto dei quali mettere a contrasto i trasduttori di spostamento
- installazione in opera dei trasduttori a mezzo di stativi o fili invar tesati da pesi



Fasi esecutive della prova

- collegamento dei trasduttori alla centralina e verifica del corretto funzionamento della catena di misura
- posizionamento di sensore di temperatura in prossimità degli stativi al fine di misurare, durante l'esecuzione della prova, la variazione della temperatura ambientale, al fine di poter effettuare eventuali correzioni alle misure rilevate ai trasduttori (per esempio per variazione di lunghezza degli stativi)



Fasi esecutive della prova

- effettuazione della prova caricando per step il serbatoio, misurando sia i litri immessi, a mezzo di contatore d'acqua, sia l'altezza d'acqua raggiunta: per ciascuno step il carico dovrà essere mantenuto sino allo stabilizzarsi dei cedimenti della struttura
- misurazione degli abbassamenti nei singoli punti monitorati e determinazione in tempo reale dell'andamento carichi cedimenti
- esecuzione del rilievo fotografico di tutte le fasi della prova di carico



Report della prova

Della prova di carico lo sperimentatore dovrà redigere un report; in questo dovrà riportare almeno i seguenti dati:

- ✓ gli estremi dell'incarico
- ✓ le istruzioni impartite dal collaudatore
- ✓ i disegni dell'area di prova con il posizionamento della zavorra e dei punti monitorati
- ✓ la tabella dei dati della prova: step di carico, ora, temperatura, carico, misure ai trasduttori



Report della prova

Della prova di carico lo sperimentatore dovrà redigere un report; in questo dovrà riportare almeno i seguenti dati:

✓ grafici della prova

- andamento carico- tempo
- andamento carico-cedimenti della mezzeria del travetto monitorato e ad $\frac{1}{4}$ della luce
- linea elastica del travetto centrale e della linea trasversale di mezzeria del solaio



L'interpretazione dei risultati della prova di carico

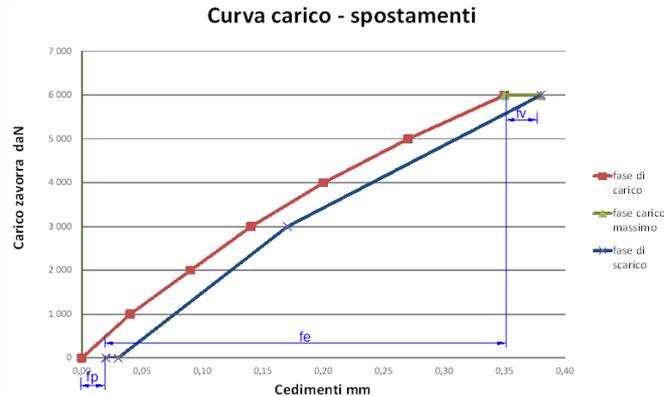
Le norme tecniche per le costruzioni stabiliscono che il giudizio sull'esito della prova di carico è di esclusiva competenza nonché responsabilità del collaudatore statico.

Ciò tuttavia non esclude che il Direttore dei Lavori possa in autonomia far eseguire delle prove di carico, al fine di verificare la corrispondenza della struttura alle previsioni di progetto: in tal caso il collaudatore può accettare le prove fatte eseguire dal Direttore dei Lavori, conservando comunque la facoltà di ripetere quelle già eseguite o di farne eseguire di nuove.



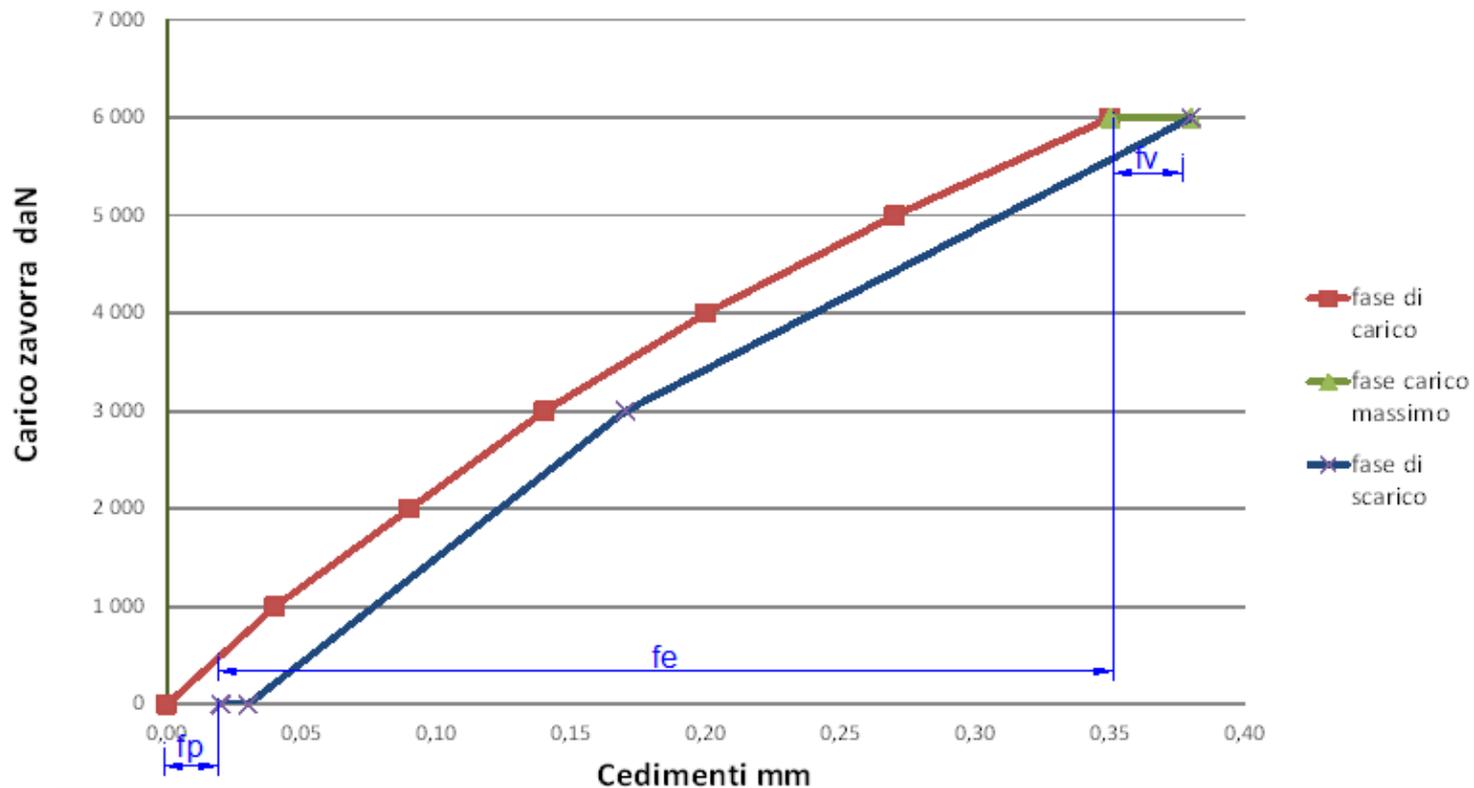
L'interpretazione dei risultati della prova di carico

In una struttura a comportamento perfettamente elastico, la curva carico-spostamenti ha forma di una retta: nelle strutture reali, nelle quali inevitabilmente si presentano delle deformazioni permanenti, dovuti ad assestamenti anelastici degli elementi strutturali e delle componenti di finitura, la curva ha la forma di una spezzata.



L'interpretazione dei risultati della prova di carico

Curva carico - spostamenti



L'interpretazione dei risultati della prova di carico

In tale curva pertanto si possono individuare tratti di deformazione:

ft: deformazione massima

fp: deformazione plastica

fv: deformazione viscosa

A partire da queste tre deformazioni sarà pertanto possibile ricavare il valore della freccia elastica come:

$$f_e = f_t - (f_p + f_v)$$



L'interpretazione dei risultati della prova di carico

Per quanto riguarda le deformazioni residue, con riferimento al punto c) del paragrafo 7.3.2 del DM 9 gennaio 1996, queste non devono superare un terzo di quelle totali commisurate ai prevedibili assestamenti iniziali di tipo anelastico.



L'interpretazione dei risultati della prova di carico

Al punto d) dello stesso paragrafo, lo stesso DM del '96 prescriveva che le frecce istantanee e a lungo termine non dovevano superare i seguenti limiti:

- freccia istantanea dovuta alle azioni permanenti e a tutte quelle variabili:

$$f_{\text{ist}} \leq L / 1000$$

- freccia a tempo infinito dovuta alle azioni permanenti e a 1/3 tutte quelle variabili:

$$f_{\infty} \leq L / 500$$

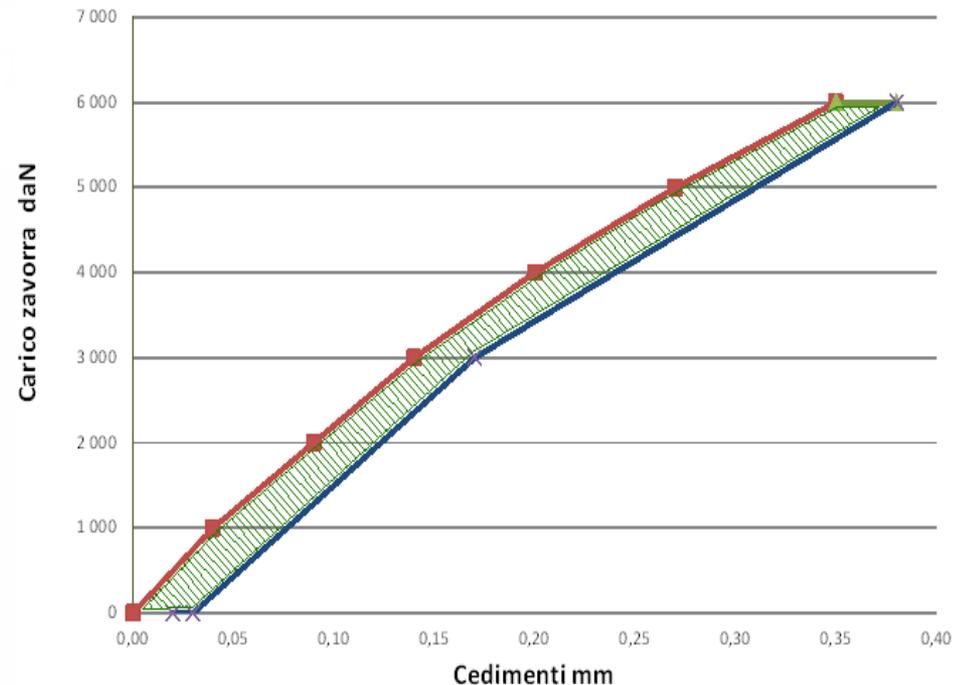


L'interpretazione dei risultati della prova di carico

CURVA DI ISTERESI

Altro parametro importante per l'interpretazione della prova di carico è l'area racchiusa dalla curva di isteresi del diagramma carico-spostamenti.

Curva carico - spostamenti

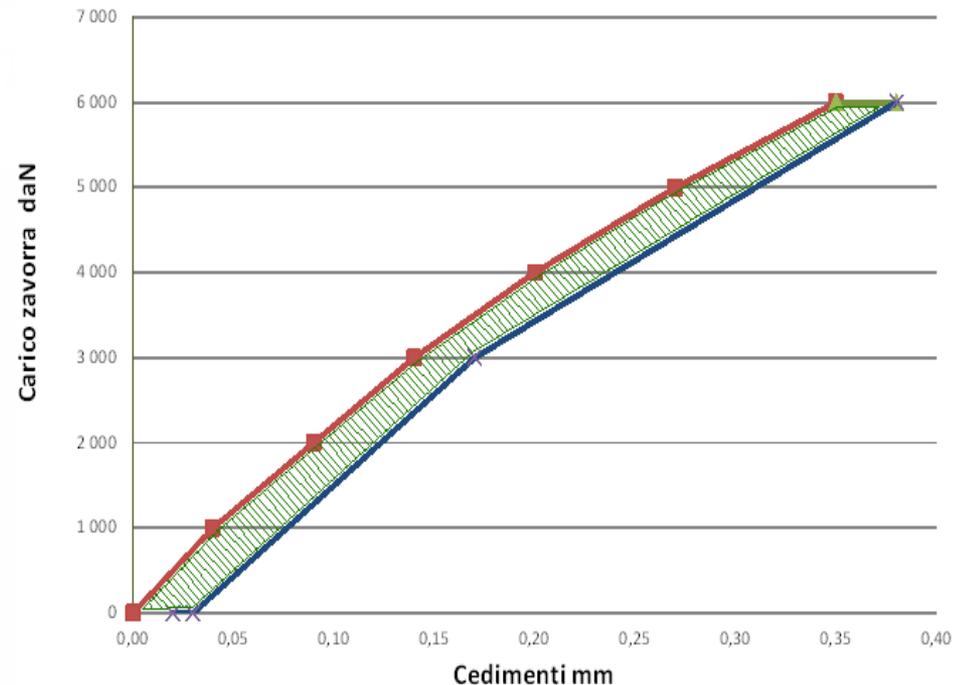


L'interpretazione dei risultati della prova di carico

CURVA DI ISTERESI

Questa, calcolata in percentuale all'area di carico, ossia all'area sottesa dal tratto della fase di carico della curva carico-spostamenti, consente di valutare l'energia dissipata durante il processo di carico-scarico dell'elemento strutturale; maggiore è il valore di quest'area e maggiore sarà l'energia dissipata.

Curva carico - spostamenti

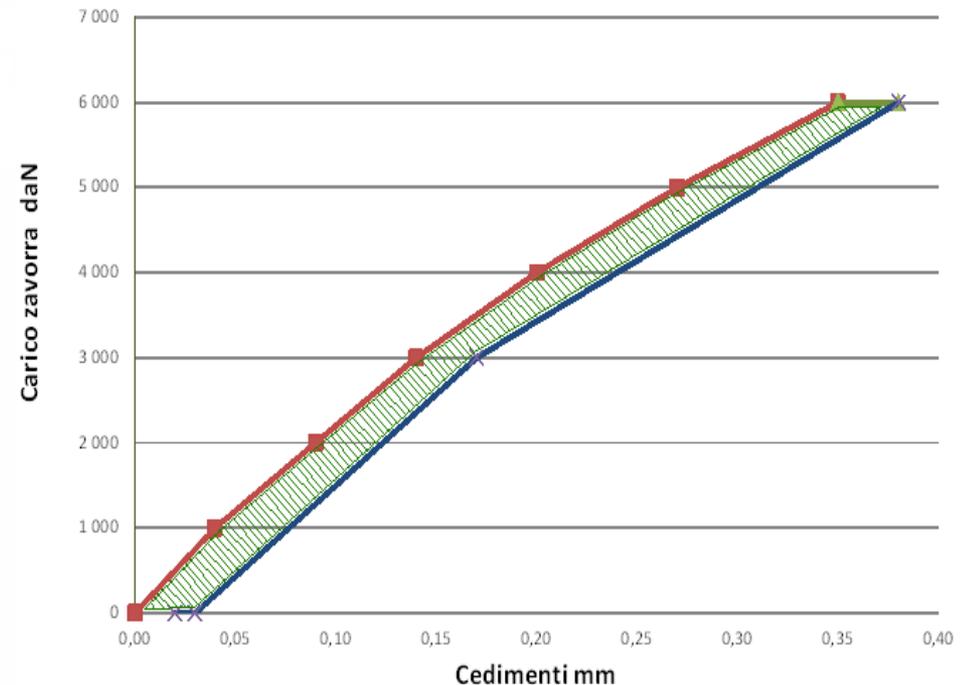


L'interpretazione dei risultati della prova di carico

CURVA DI ISTERESI

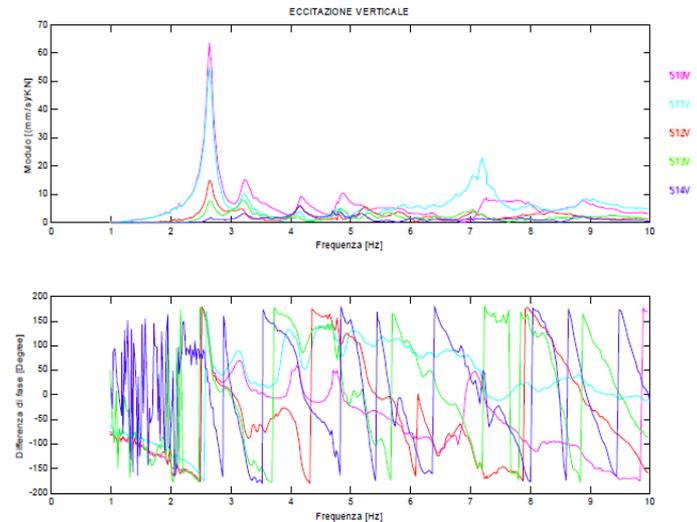
Superato un valore percentuale limite, assunto tra l'8% ed il 16%, la struttura passa da un comportamento elastico ad un comportamento plastico

Curva carico - spostamenti



Prove di carico dinamiche

Le **prove statiche**, a giudizio del Collaudatore e in relazione all'importanza dell'opera, possono essere integrate da **prove dinamiche** e **prove a rottura** su elementi strutturali.



Prove dinamiche su copertura in legno lamellare (fonte: <http://www.pepconsultingengineers.it/>)



Prove di carico dinamiche

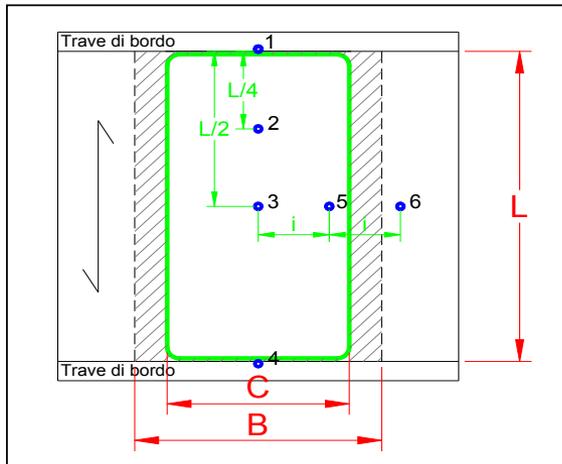


Prova sismica condotta sull'edificio del Liceo Socio-psico-pedagogico "Benedetto Croce di Avezzano" per il collaudo di un sistema di torri dissipative brevettate dall'Ing. Alessandro Balducci

Esempio di prova di carico su solaio in c.a.

PROVA DI CARICO SOLAIO CON LUCE INTERAMENTE CARICATA

Ubicazione cantiere:	Solaio carrabile Via xxxxxxxx - Bagheria (PA)
Identificazione solaio:	Solaio a destra del primo scivolo di accesso
Data della prova:	19/10/2011



ISTRUZIONI OPERATIVE

Luca del solaio	$L =$	<input type="text" value="6,08"/>	m
Distanza trasd. trasv.	$i =$	<input type="text" value="1,00"/>	m
Carico di progetto	$q_{prog} =$	<input type="text" value="400"/>	Kg/mq

C = Larghezza del serbatoio

B = Larghezza fascia collaborante di solaio

Altezza d'acqua carico di progetto

$h_{H2O} =$ 0,4 m

Altezza d'acqua ipotizzata carico di collaudo

$h_{H2O} =$ m

Quantitativo H₂O complessivo stimato a metà carico

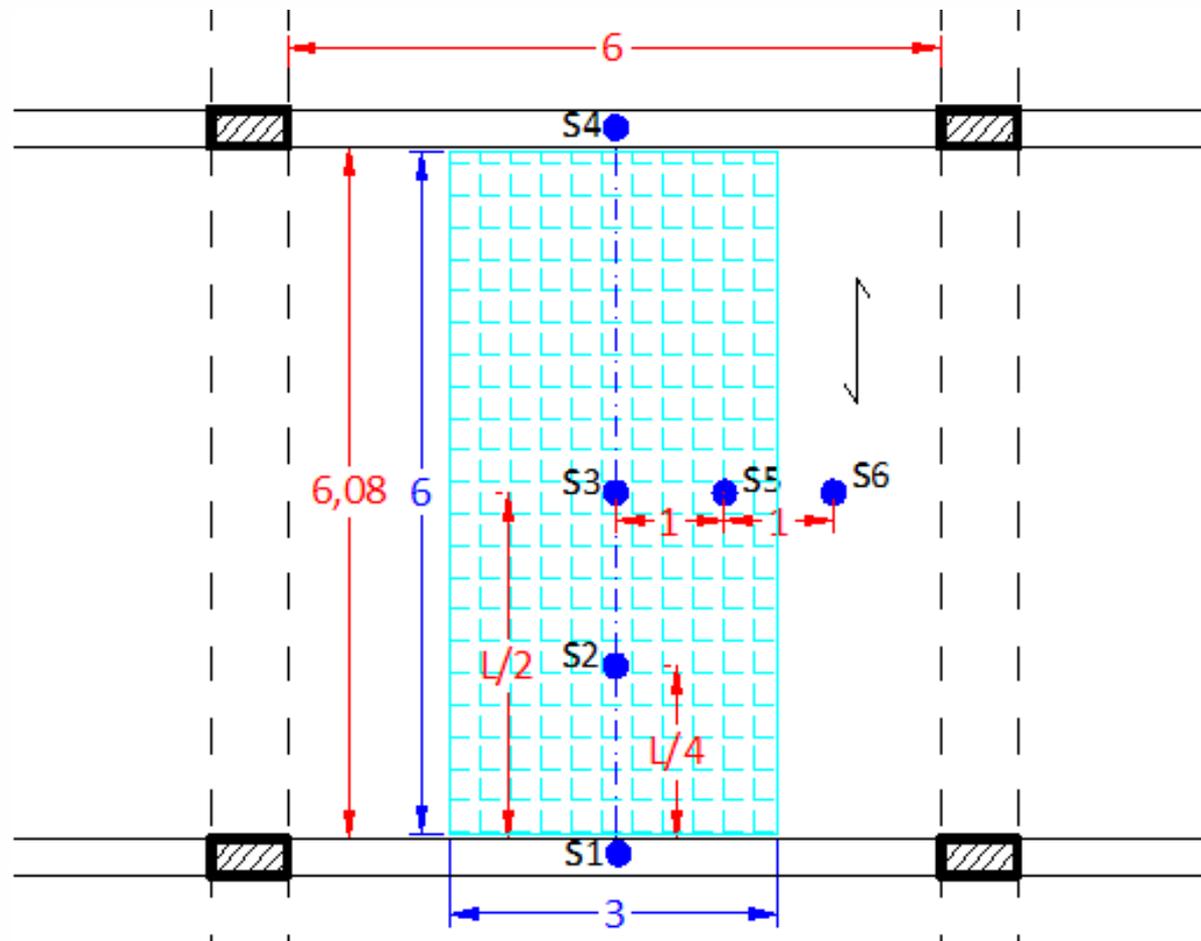
$Q =$ 8.220 litri

Quantitativo H₂O totale da inserire

$Q_{tot} =$ 9.000 litri

SCHEDA DI PROVA

Esempio di prova di carico su solaio in c.a.



SCHEMA UBICAZIONE CARICO E SENSORI DI SPOSTAMENTO

Esempio di prova di carico su solaio in c.a.



TRASDUTTORI DI SPOSTAMENTO ALL' INTRADOSSO DEL SOLAIO

Esempio di prova di carico su solaio in c.a.



SERBATOIO SCARICO

Esempio di prova di carico su solaio in c.a.

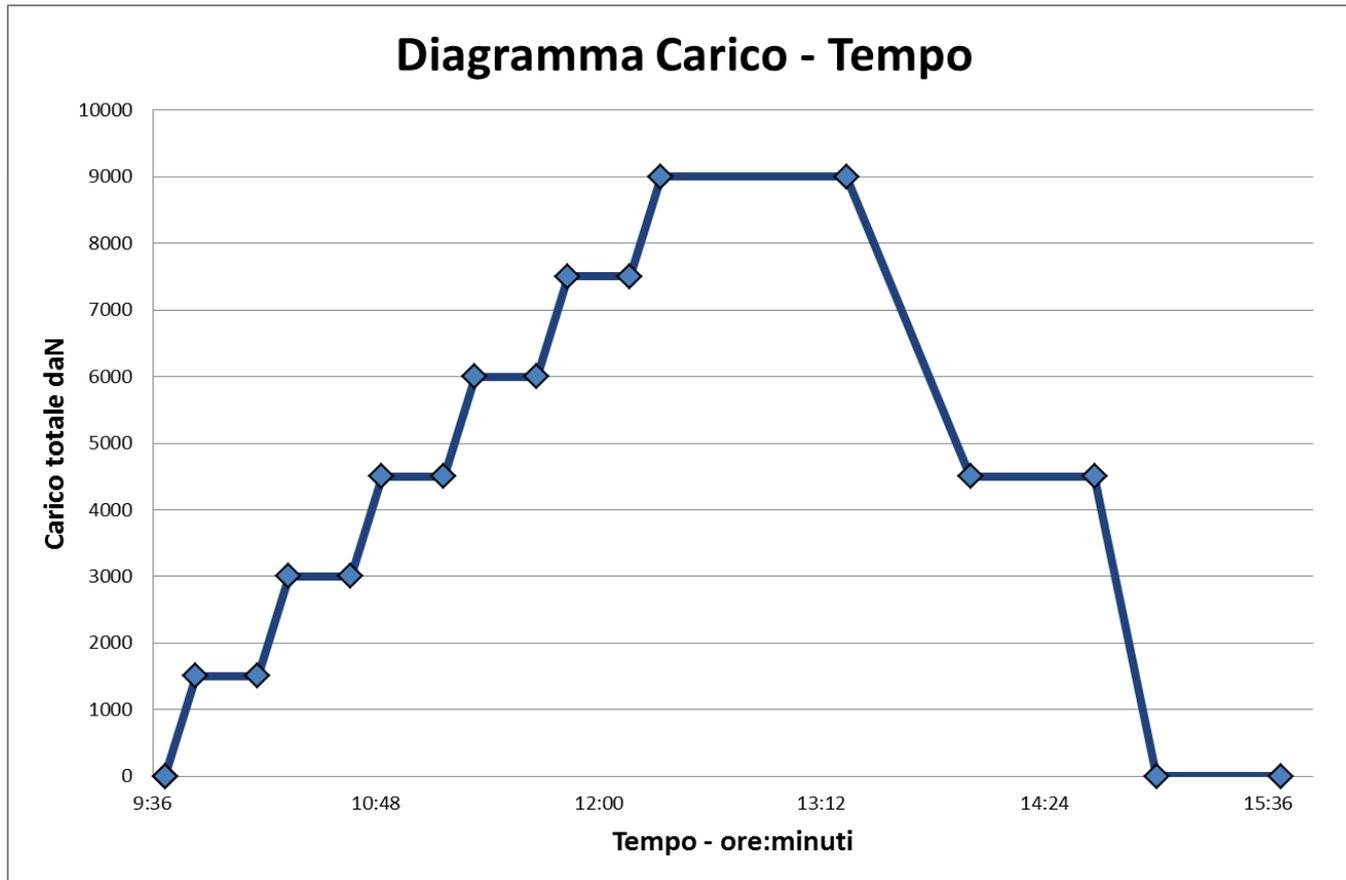


DIAGRAMMA CARICO-TEMPO



Esempio di prova di carico su solaio in c.a.



SERBATOIO A PIENO CARICO

Esempio di prova di carico su solaio in c.a.



ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI IN TEMPO REALE

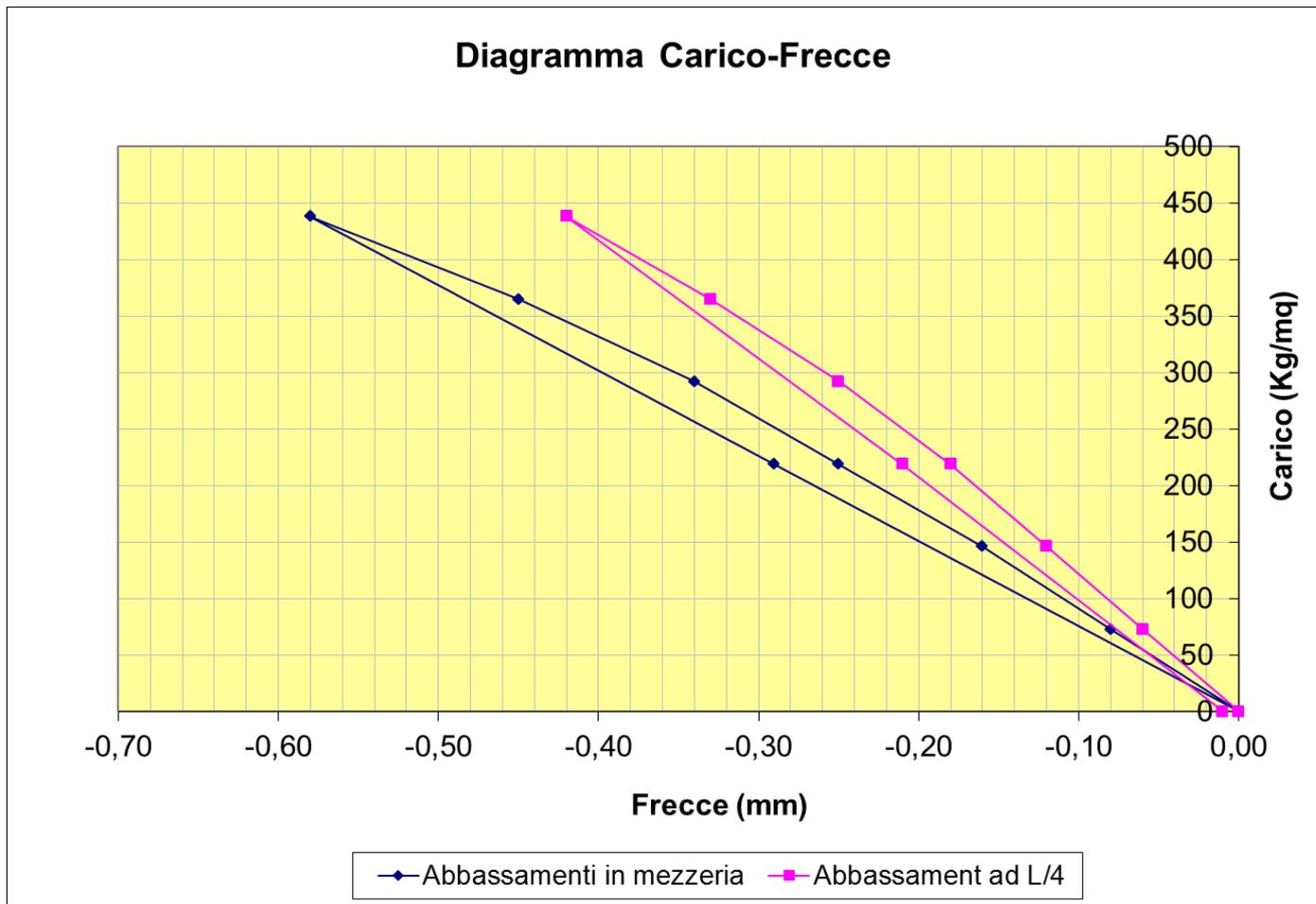
Esempio di prova di carico su solaio in c.a.

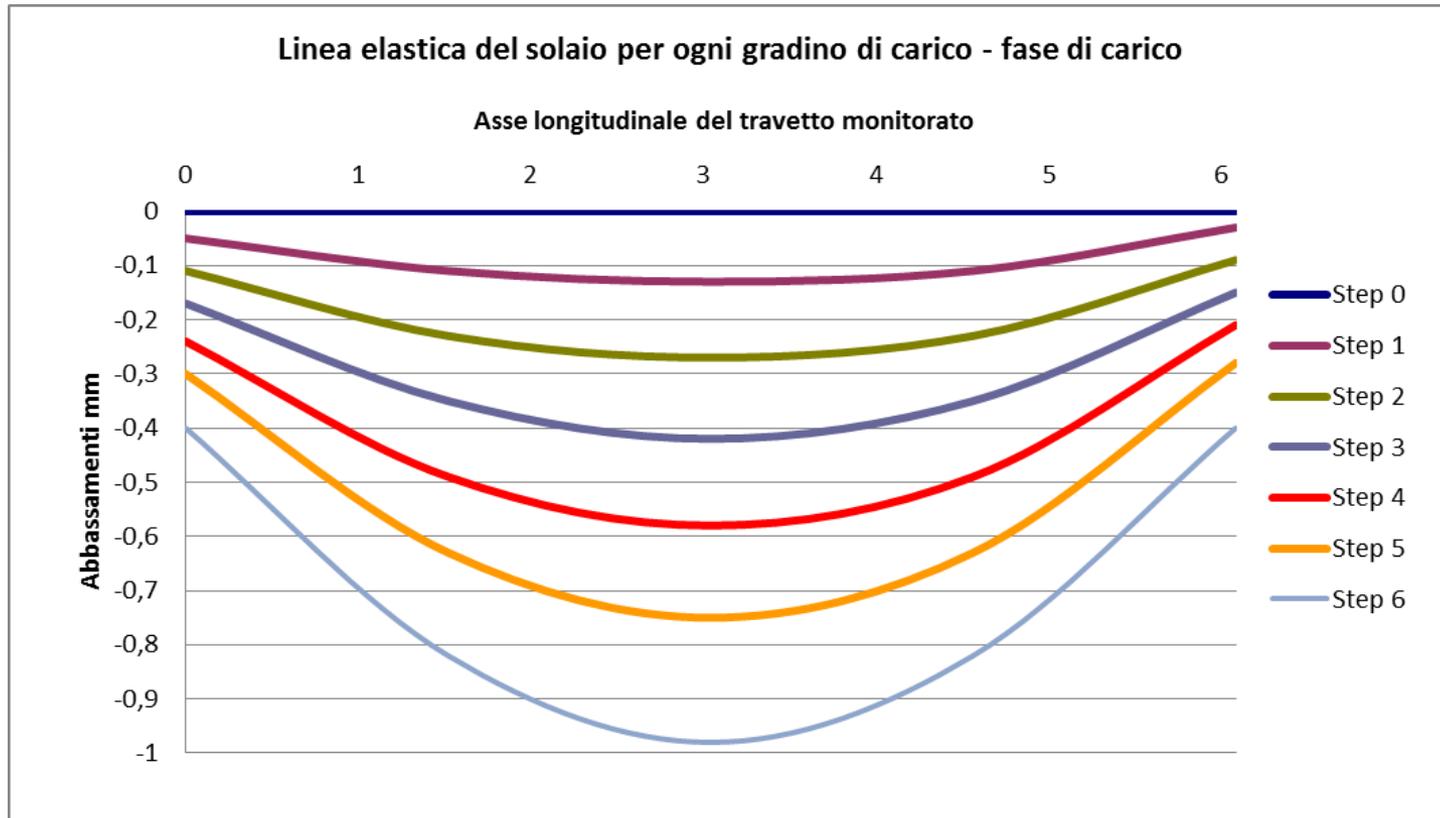
Step	Q _{step} (litri)	Frecche misurate ai trasduttori (mm)						Frecche epurate dell'abbass. della trave (mm)				B _{step} (m)	q _{step} (Kg/mq)
		f1	f2	f3	f4	f5	f6	fa	fb	fc	fd		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,38	0,00
1	1.500	-0,05	-0,11	-0,13	-0,03	-0,08	-0,08	-0,08	-0,03	-0,03	-0,06	3,38	72,99
2	3.000	-0,11	-0,23	-0,27	-0,09	-0,22	-0,18	-0,16	-0,11	-0,07	-0,12	3,38	145,98
3	4.500	-0,17	-0,35	-0,42	-0,15	-0,35	-0,27	-0,25	-0,18	-0,1	-0,18	3,38	218,97
4	6.000	-0,24	-0,49	-0,58	-0,21	-0,48	-0,36	-0,34	-0,24	-0,12	-0,25	3,38	291,97
5	7.500	-0,3	-0,63	-0,75	-0,28	-0,63	-0,48	-0,45	-0,33	-0,18	-0,33	3,38	364,96
6	9.000	-0,4	-0,82	-0,98	-0,4	-0,87	-0,62	-0,58	-0,47	-0,22	-0,42	3,38	438,04
7	4.500	-0,26	-0,47	-0,55	-0,25	-0,49	-0,37	-0,29	-0,23	-0,11	-0,21	3,38	218,97
8	0	-0,11	-0,12	-0,11	-0,12	-0,12	-0,11	0	-0,01	0	-0,01	3,38	0,00

TABELLA DEI DATI ACQUISITI DURANTE LA PROVA



Esempio di prova di carico su solaio in c.a.

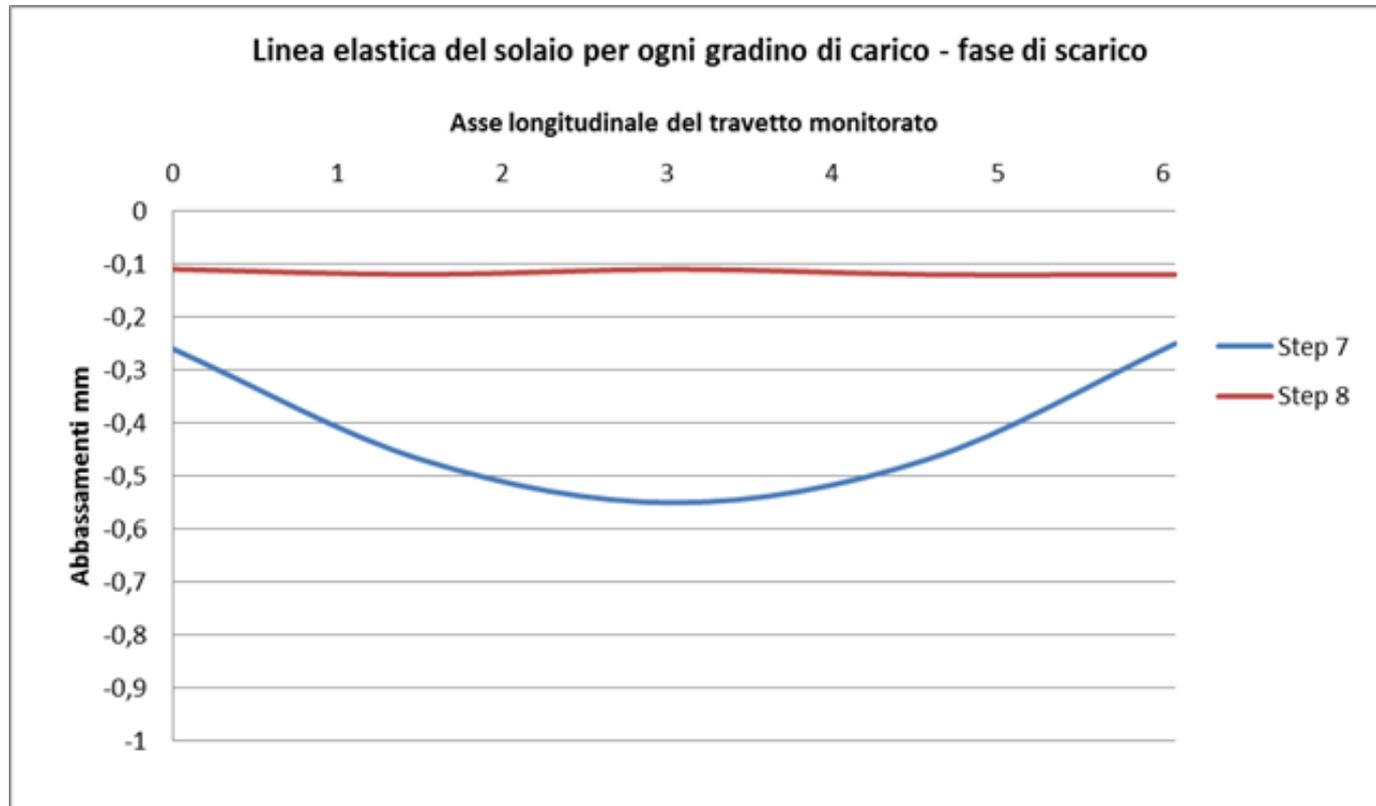




LINEA ELASTICA ASSE LONGITUDINALE DEL TRAVETTO MONITORATO



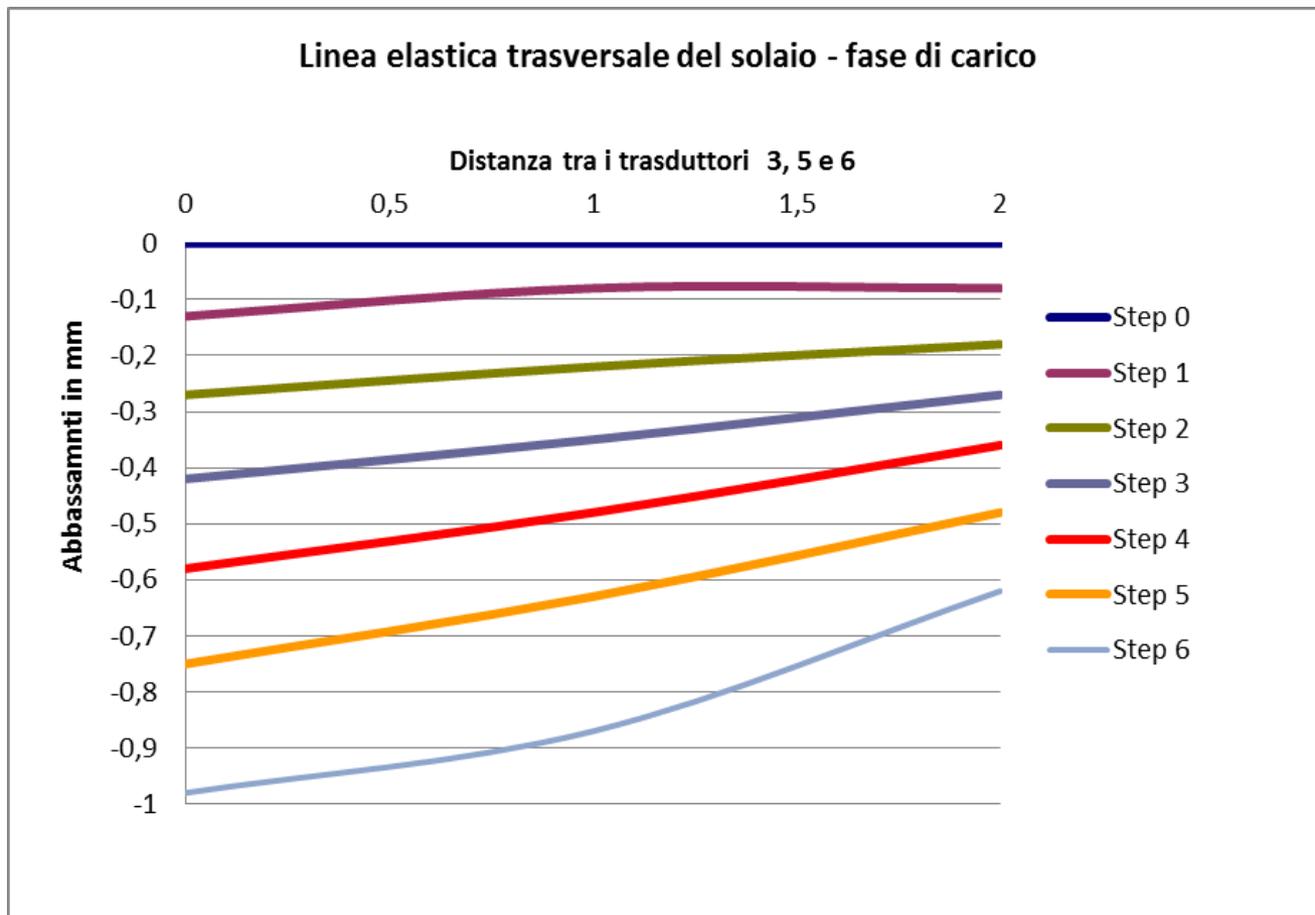
Esempio di prova di carico su solaio in c.a.



LINEA ELASTICA ASSE LONGITUDINALE DEL TRAVETTO MONITORATO



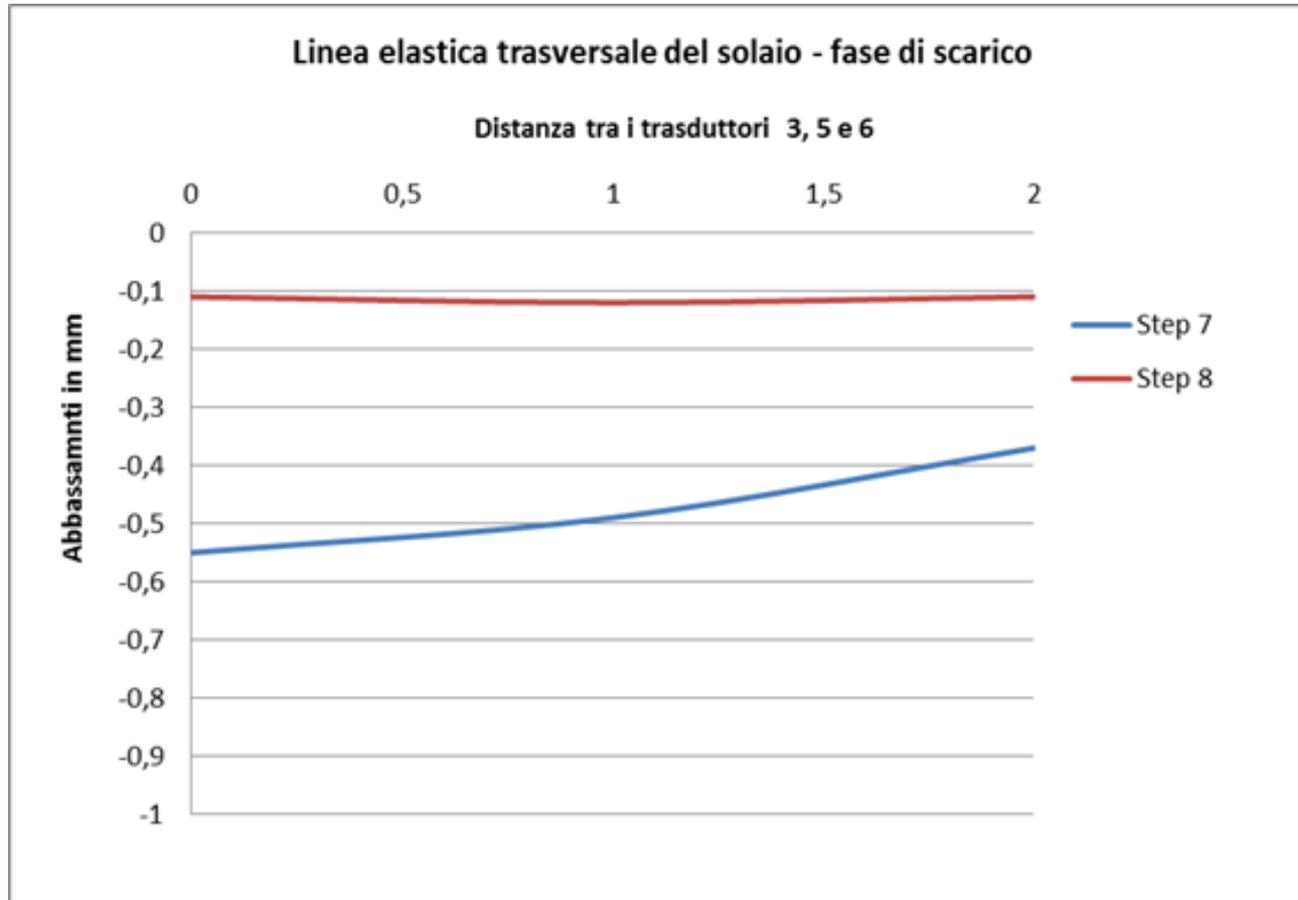
Esempio di prova di carico su solaio in c.a.



LINEA ELASTICA TRASVERSALE DEL SOLAIO



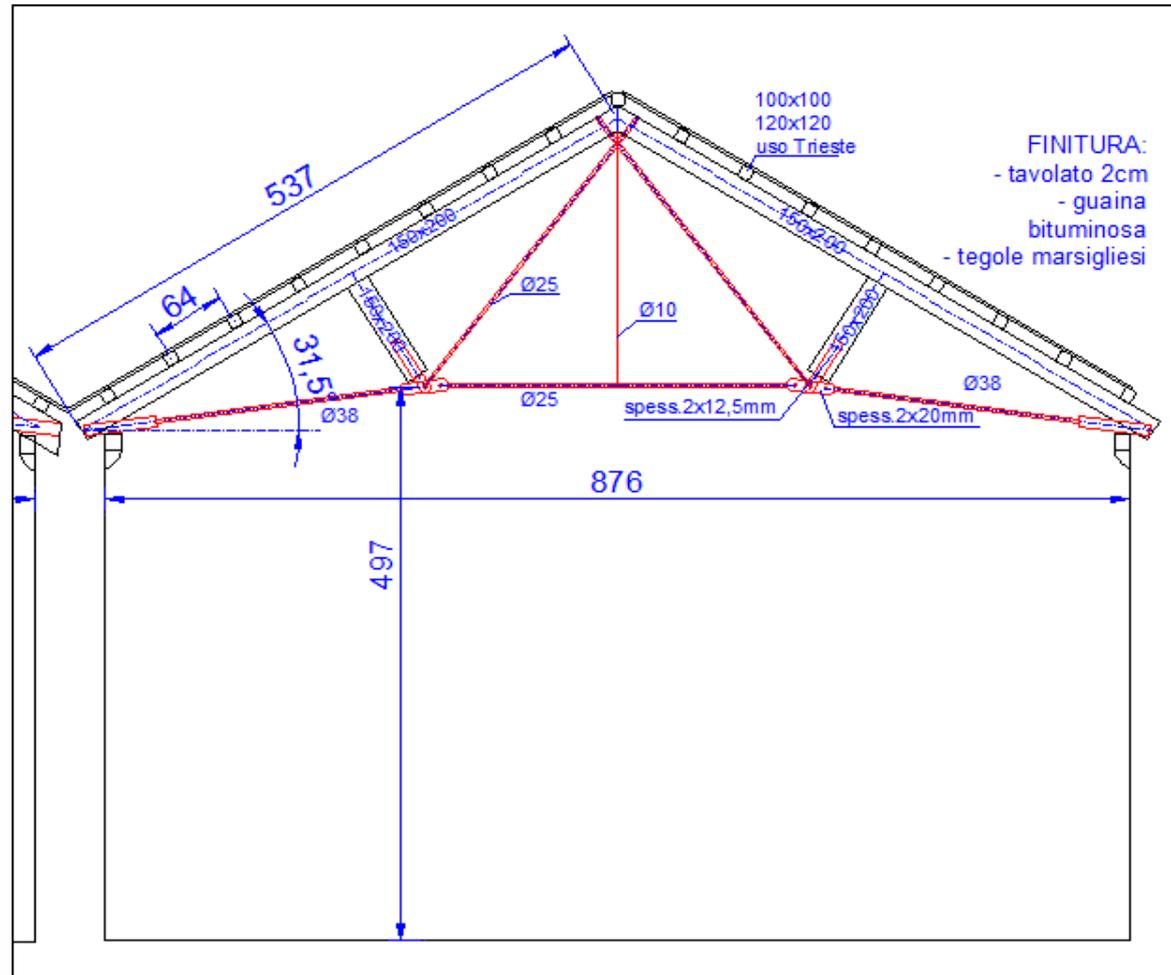
Esempio di prova di carico su solaio in c.a.



LINEA ELASTICA TRASVERSALE DEL SOLAIO

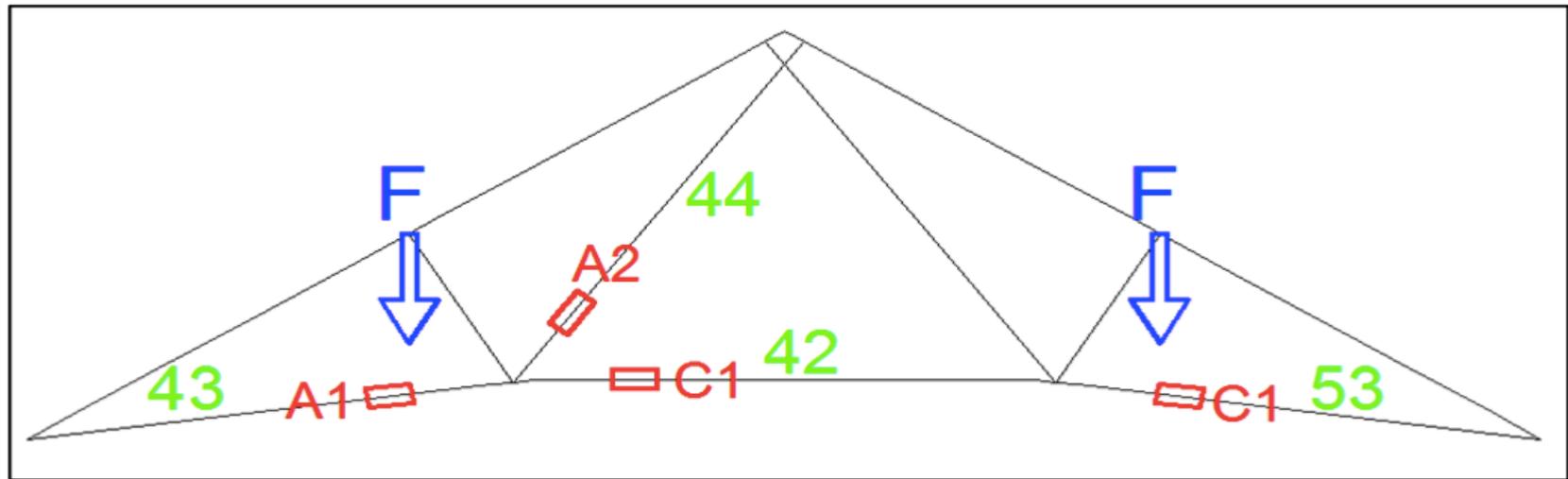


Esempio di prova di carico su capriata tipo Polonceau



Rilievo geometrico della struttura

Esempio di prova di carico su capriata tipo Polonceau



Posizione degli strain gauges installati e schema di applicazione del carico

Esempio di prova di carico su capriata tipo Polonceau



Strain gauge installato su tirante

Esempio di prova di carico su capriata tipo Polonceau



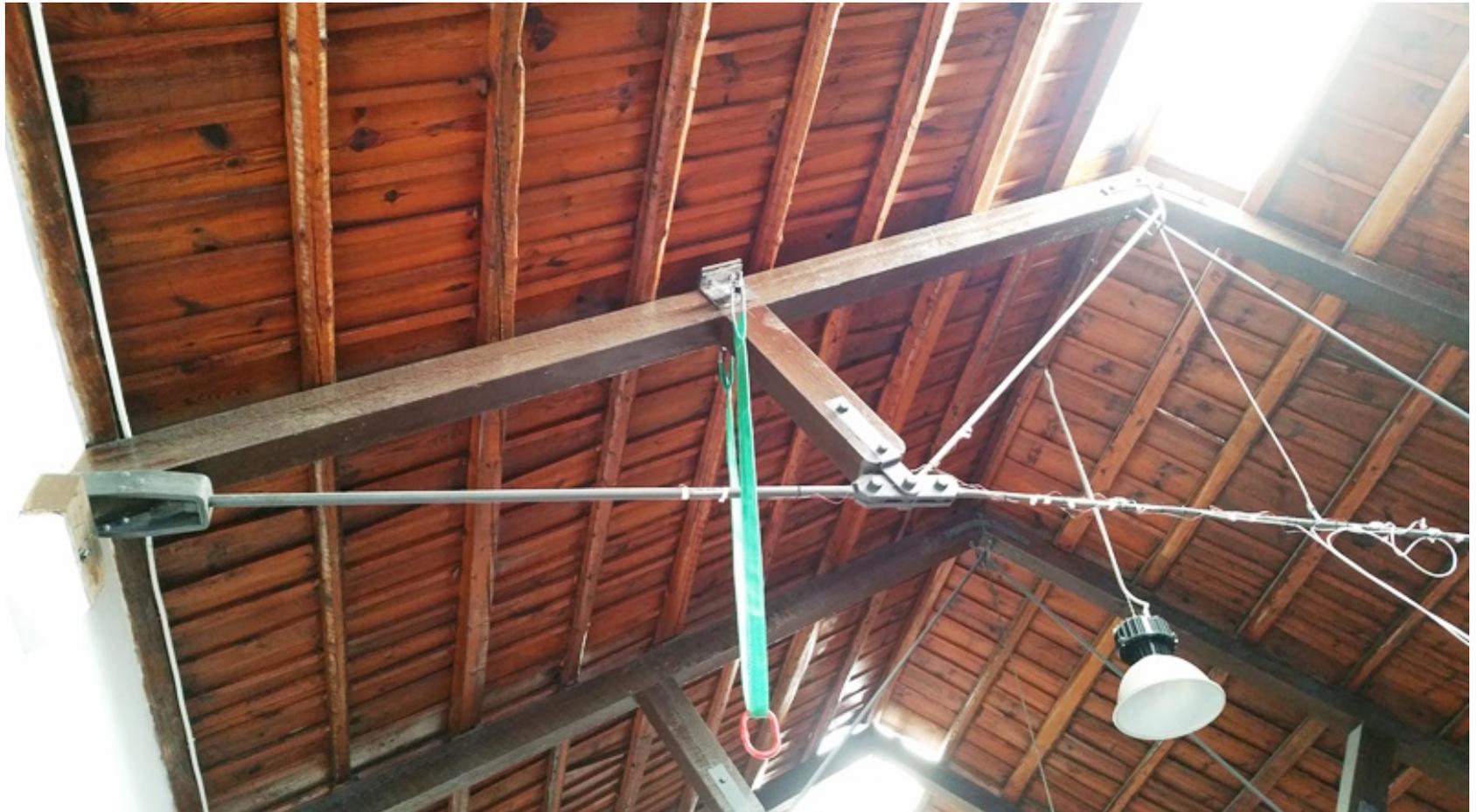
Strain gauge installato su tirante

Esempio di prova di carico su capriata tipo Polonceau



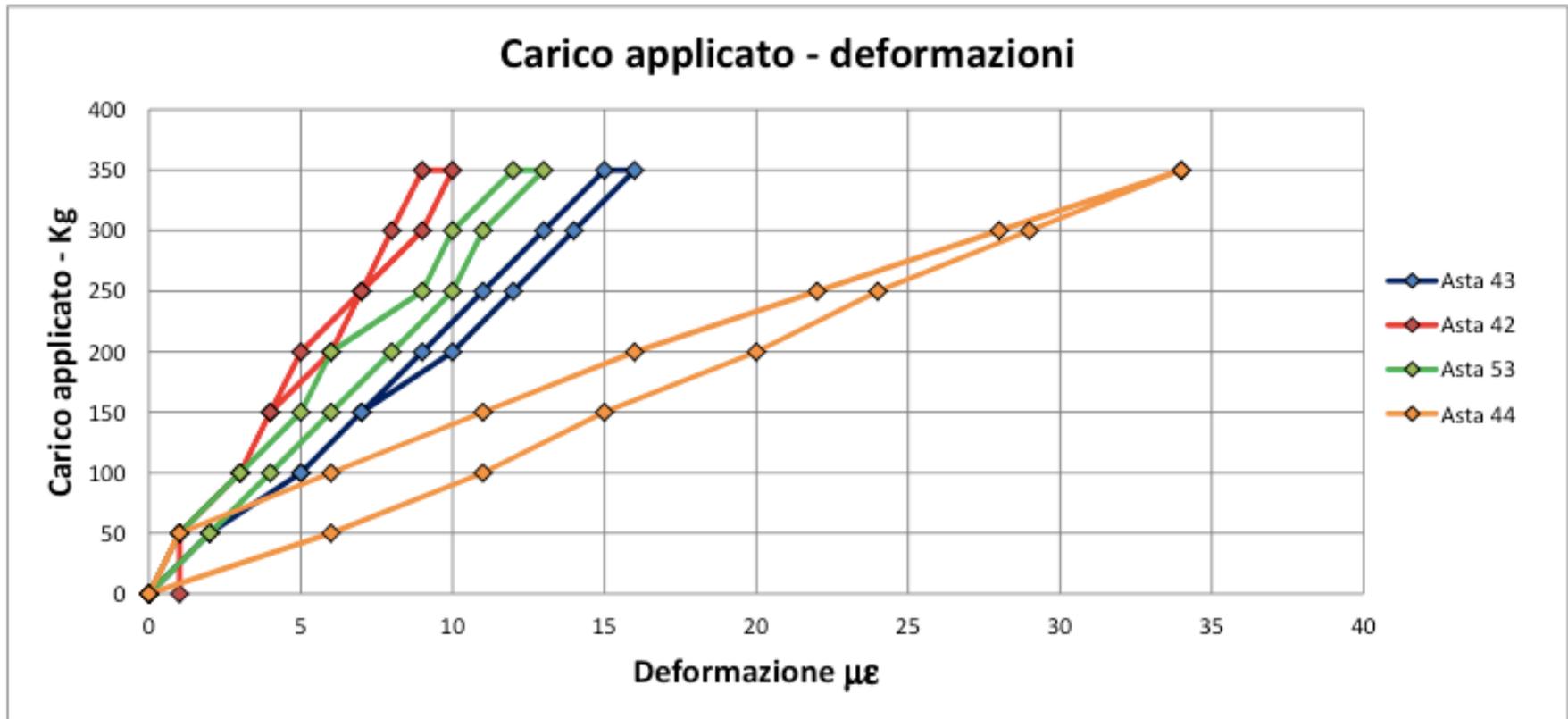
Esecuzione della prova

Esempio di prova di carico su capriata tipo Polonceau



Modalità di applicazione del carico

Esempio di prova di carico su capriata tipo Polonceau



Diagrammi carico - deformazioni



Bibliografia

D.M. 14 gennaio 2008 – **Norme tecniche per le costruzioni**

S. Lombardo, G. Mirabella – **Collaudo tecnico amministrativo** – Dario Flaccovio Editore

S. Lombardo, V. Venturi – **Collaudo statico delle strutture** – Dario Flaccovio Editore

S. Martinello – Prove in sito – Pubblicato da 4Emme Service S.p.a.

B. Barbarito – Verifica sperimentale delle strutture – UTET

A. Zizzi, S. Mineo, S. Bufarini, V.D' Aria – **Controlli e verifiche delle strutture di calcestruzzo armato in fase di esecuzione** – EPC Editore

Per la documentazione fotografica si ringraziano:

- la **CIMENTO S.r.l. – Laboratorio di diagnostica strutturale**
- l' **Ing. Domenico Alfonso Squillacioti**

