

INDAGINI DIAGNOSTICHE DEI SOLAI DEGLI EDIFICI SCOLASTICI



Indice

| | |
|---|----|
| 1. Premessa..... | 2 |
| 1.1 Descrizione della struttura e strumentazione impiegata..... | 3 |
| 2. Determinazione deformate sperimentali (prova di carico con gommone riempito di acqua) .. | 6 |
| 2.1 Descrizione della prova 1..... | 6 |
| 2.2 Descrizione della prova 2..... | 7 |
| 2.3 Descrizione della prova 3..... | 8 |
| 2.4 Risultati della prova 1..... | 10 |
| 2.5 Risultati della prova 2..... | 14 |
| 2.6 Risultati della prova 3..... | 18 |
| 3. Determinazione deformate teoriche..... | 22 |
| 4. Confronto tra deformate teoriche e sperimentali..... | 24 |
| 5. Carico limite e grado di sicurezza della struttura..... | 25 |
| 5.1 Prova 1..... | 25 |
| 5.2 Prova 2..... | 27 |
| 5.3 Prova 3..... | 28 |
| 6. Consigli riguardanti le strutture e la sicurezza statica..... | 28 |

ALLEGATI (digitali):

Allegato1 – Filmati endoscopie eseguite

Allegato2 – Riprese fotografiche

1. Premessa

Nella presente relazione si riportano l'esito delle analisi numeriche e delle prove sperimentali (cd. "prove di carico") effettuate in alcuni locali della scuola "Rossini" situata in via Rossini 25 nel comune di Firenze.

Sull'edificio sono state eseguite n.3 prove di carico, in data 05/09/2016, nei locali meglio indicati nelle planimetrie di seguito riportate.

Le prove di carico sono state eseguite nei tempi e nelle modalità concordate con l'ufficio tecnico del Comune di Firenze (Direzione Servizi Tecnici Servizio Gestione e Manutenzione P.O. immobili scolastici) secondo la disponibilità degli ambienti (solaio di prova ed ambiente inferiore); attraverso i risultati ottenuti è stato quindi possibile verificare la capacità portante dei solai confrontando le frecce ottenute sperimentalmente (prova di carico) con quelle derivanti dal calcolo (simulazione numerica); vengono inoltre qui presentati gli ulteriori risultati (a seguito di analisi numeriche) effettuati sul solaio indagato e più precisamente (anche in conformità a quanto indicato nel "Capitolato Tecnico" relativo al "Bando MIUR" per indagini diagnostiche su edifici scolastici di cui al decreto del Ministro dell'istruzione, dell'università e della ricerca del 7 agosto 2015 n. 594) verranno condotte le seguenti verifiche:

- *determinazione delle deformazioni sperimentali (cap.2);*
- *determinazione delle deformate teoriche degli elementi costruttivi più significativi (cap.3);*
- *confronto tra le deformate teoriche e quelle sperimentali (cap.4);*
- *determinazione del carico limite sopportabile in condizioni di sicurezza (cap.5);*
- *presentazione della correlazione tra carico limite e carichi di normativa (cap.5);*
- *valutazione del grado di sicurezza (cap.5);*
- *presentazione di eventuali consigli riguardanti le strutture e la sicurezza statica (cap.6).*

1.1 Descrizione della struttura e strumentazione impiegata

Le deformazioni sperimentali sono state rilevate impiegando la seguente strumentazione:

- software per l'acquisizione dei dati: iNOVA Data manager con acquisizione dati ogni 60 sec;
- n.5 sensori potenziometrici di spostamento collegati alla stazione manager via wireless e corredati a loro volta di ulteriore sensore di temperatura ed umidità con capacità di memorizzazione offline fino ad 80.000 letture, risoluzione fino 0,002, corsa da 50 mm;
- n.5 aste stative di supporto dei sensori;
- carico di prova simulato tramite impiego di gommone (dim. 3,00x5,50 m con capienza massima fino a 10.000 litri, equivalente ad un carico distribuito massimo di 606 kg/m²).

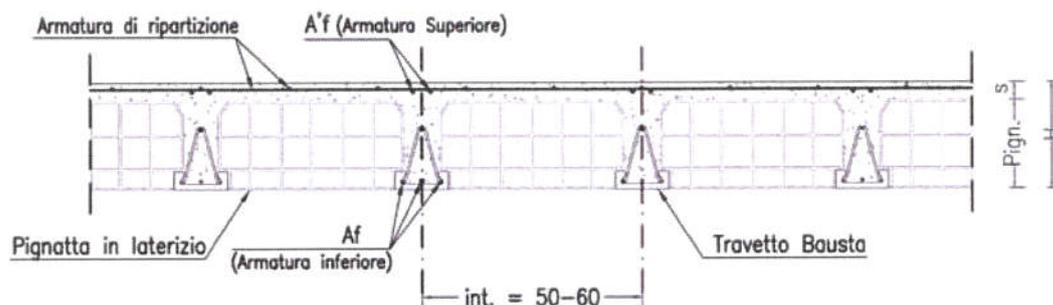
I trasduttori potenziometrici sono stati posti direttamente a contatto con l'intradosso del solaio attraverso apposite aste telescopiche (stativi).

Descrizione delle strutture oggetto di prova.

Prova di carico n.1 e 2

La struttura oggetto di prova è costituita da solaio in laterocemento, tipo "Bausta" o similare, costituito da pignatte e travetti prefabbricati, aventi interasse di 50cm spessore di 8 cm e altezza di 16cm; sono presenti inoltre una soletta di 4cm, uno strato di massetto e allettamento di 11cm ed un pavimento di 2cm; l'intradosso risulta intonacato con uno spessore di circa 1,5-2,0cm.

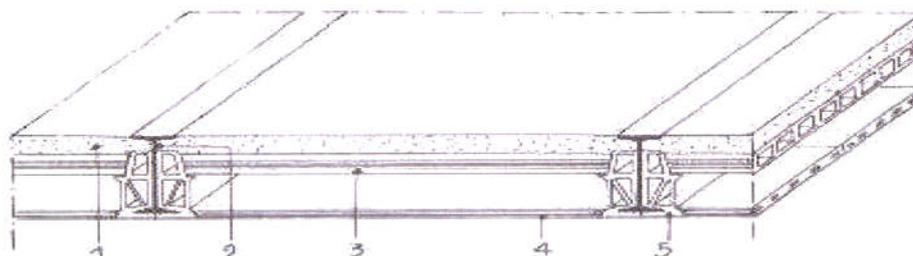
La sezione trasversale della solaio è schematicamente riportata di seguito:



Prova di carico n.3

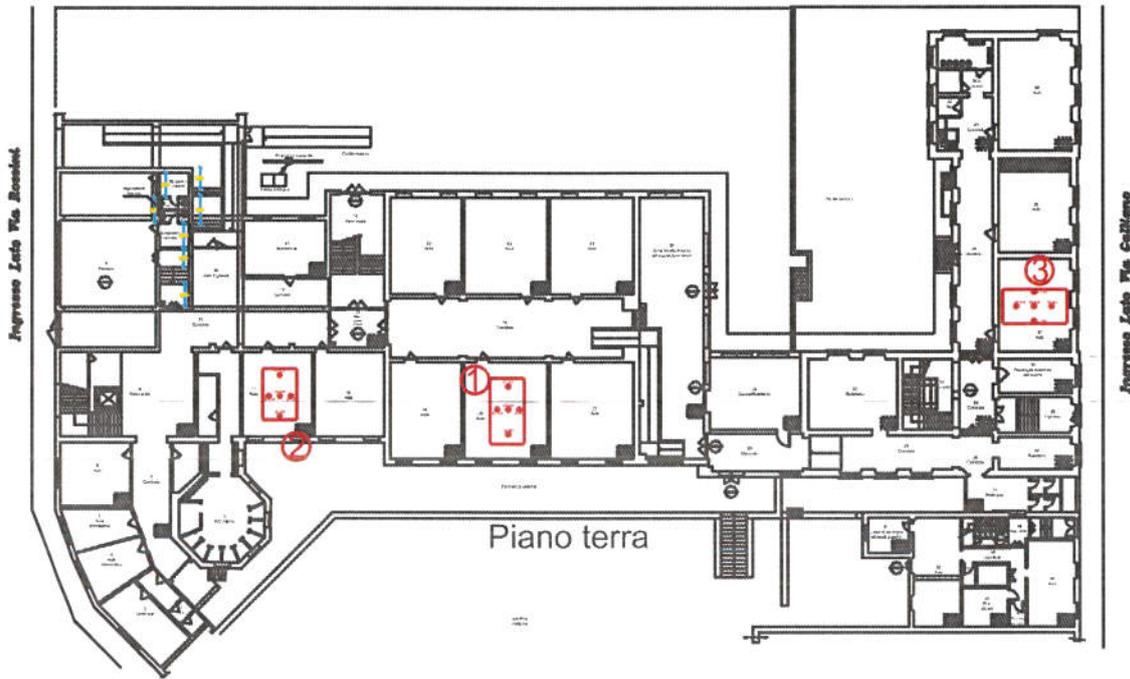
La struttura oggetto di prova è costituita da solaio misto acciaio-laterizio, costituito da profilati in ferro NP 180, aventi interasse di 100cm e tavelloni in laterizio inferiori di 4cm, camera d'aria sovrastante e tavelloni superiori di 6cm; inoltre uno strato di massetto di 9cm e un pavimento di 2cm;

La sezione trasversale della solaio è schematicamente riportata di seguito:

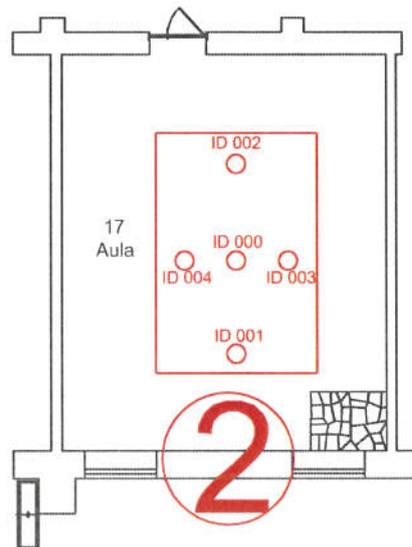
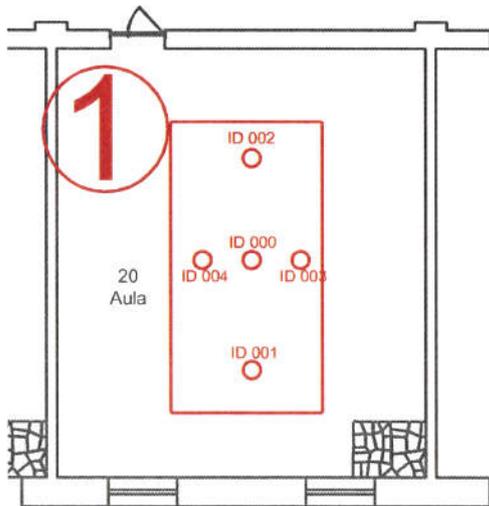


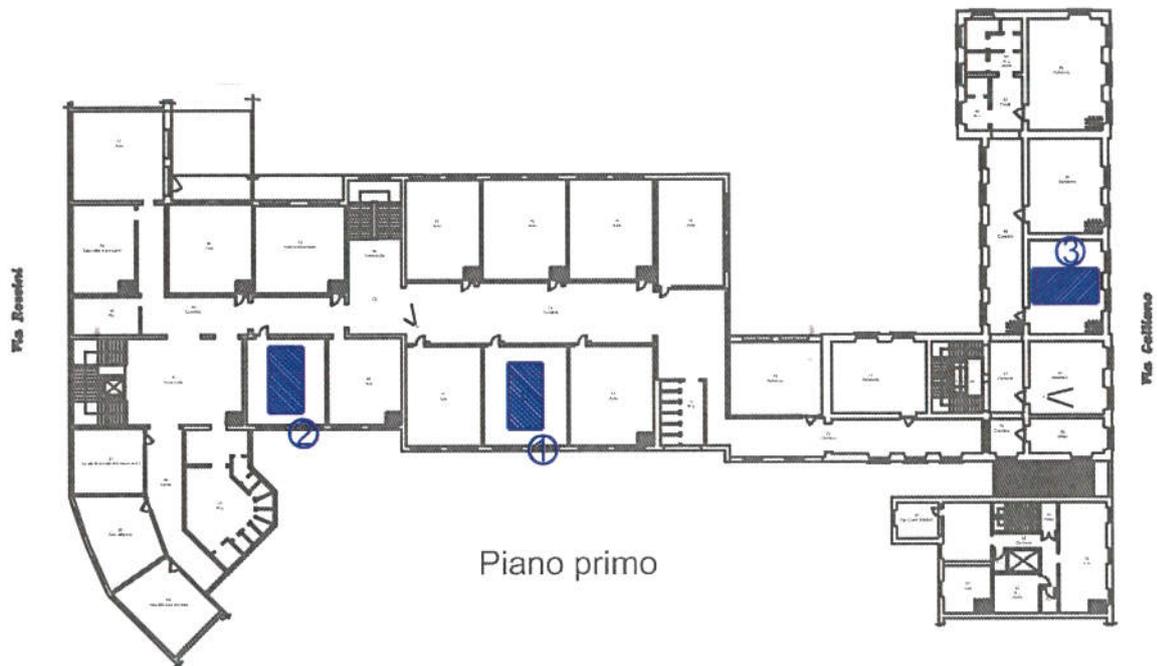
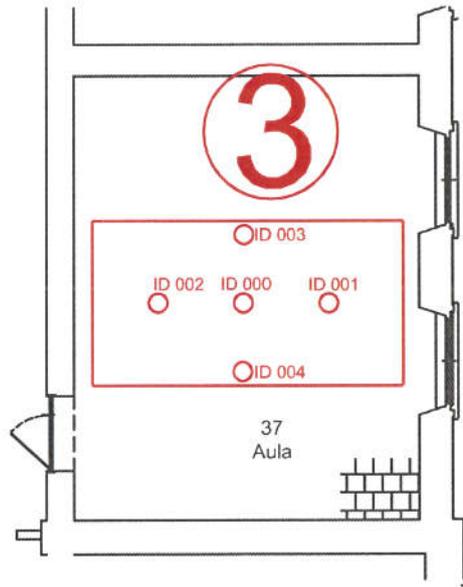
Di seguito viene fornita la localizzazione delle prove eseguite sulle planimetrie dell'edificio; le prove sono indicate con questa simbologia:

- ambiente in cui sono collocati i sensori
- ambiente in cui è posizionato il carico di prova



Posizionamento dei sensori Piano Terra





Posizionamento dei sensori e dei gommoni di carico Piano Primo

2. Determinazione deformate sperimentali (prova di carico con gommone riempito di acqua)

Nello svolgimento di ogni singola prova sono stati valutati, in tempo reale: l'effetto di bordo della sezione indagata e le corrispondenti condizioni di carico longitudinale e trasversale.

Nello specifico sono riportate di seguito le condizioni di carico che si sono rese necessarie per simulare il carico richiesto dall'ufficio tecnico del Comune e quindi per un valore pari a: $3,50 \text{ kN/m}^2$ ($\sim 350 \text{ kg/m}^2$) che fa riferimento al Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975 "Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica" (paragrafo 5.4 "Condizioni di sicurezza"); la prova si è svolta con effettuazione di un ciclo di carico ed un ciclo di scarico, e più precisamente misurando in continuo durante le fasi di carico e scarico e poi lasciando stabilizzare il carico in corrispondenza degli step stabiliti.

Nelle prove n.1, 2, 3 è stato previsto un ciclo di carico, formato da tre step: 0-150 kg/mq; 150-250 kg/mq; 250-350 kg/mq, ed un conseguente ciclo di scarico formato da due step: 350-150 kg/mq, 150-0 kg/mq;

2.1 Descrizione della prova 1

La presente prova è stata eseguita il giorno 05 settembre 2016 ed è stata effettuata sul solaio, in laterocemento, attualmente adibito ad aula, come meglio indicato nelle precedenti planimetrie.



Nel corso della prova è stato determinato in tempo reale il grado di vincolo del solaio, con i valori in litri sotto riportati.

carico:

- step 1: 3.121 litri
- step 2: 5.042 litri
- step 3: 6.949 litri

scarico:

- *step 1:* 3.121 litri
- *step 2:* fino a svuotamento completo del serbatoio.

2.2 Descrizione della prova 2

La presente prova è stata eseguita il giorno 05 settembre 2016 ed è stata effettuata sul solaio, in laterocemento, attualmente adibito ad aula, come meglio indicato nelle precedenti planimetrie.



Nel corso della prova è stato determinato in tempo reale il grado di vincolo del solaio, con i valori in litri sotto riportati.

carico:

- step 1: 2.409 litri
- step 2: 3.844 litri
- step 3: 5.144 litri

scarico:

- step 1: 2.409 litri
- step 2: fino a svuotamento completo del serbatoio.

2.3 Descrizione della prova 3

La presente prova è stata eseguita il giorno 05 settembre 2016 ed è stata effettuata sul solaio, in laterocemento, attualmente adibito ad aula, come meglio indicato nelle precedenti planimetrie.



Nel corso della prova è stato determinato in tempo reale il grado di vincolo del solaio, con i valori in litri sotto riportati.

carico:

- step 1: 2.250 litri
- step 2: 3.626 litri
- step 3: 5.029 litri

scarico:

- step 1: 2.250 litri
- step 2: fino a svuotamento completo del serbatoio.

Ai fini della determinazione del carico a cui sottoporre la struttura indagata si deve tener conto che adottando un carico di prova uguale al sovraccarico previsto non si determinano nel solaio le massime sollecitazioni progettuali, a causa della compartecipazione offerta dalle zone contigue a quella caricata; il "carico di prova" quindi deve essere maggiore del "carico di progetto".

Se si pone:

$q =$ carico di progetto (kg/mq)

$p = K_1 \times q =$ carico di prova (kg/mq)

il valore di K_1 dipende da due fattori:

- efficacia della connessione trasversale del solaio (condizione trasversale)
- valore del rapporto tra la larghezza della striscia caricata e luce del solaio (condizione longitudinale).

K_1 è determinabile, durante l'evolversi della prova, in funzione dell'impronta di carico e delle deformazioni rilevate dai deformometri.

Nel progettare le prove di carico si è tenuto conto che il carico effettivamente agente dovrà essere in grado di creare uno stato di sollecitazione ("carico massimo in relazione al momento") e/o deformazione ("carico massimo in relazione alla freccia") equivalente a quello che si avrebbe col carico teorico (nominale) richiesto; ciò dipende sia dalle condizioni di vincolo della struttura sia dagli effetti sopra richiamati; le norme tecniche per le costruzioni (D.M. 2008) parlano di "sollecitazioni massime di esercizio". Nella pratica, spesso si considera il carico equivalente dal punto di vista delle frecce e non delle sollecitazioni. Questo aspetto è legato al fatto che gli spostamenti sono direttamente misurabili durante la prova di carico a differenza delle caratteristiche di sollecitazione.

2.4 Risultati della prova 1

Report prova di carico

Prova eseguita presso: Scuola Rossini - prova n. 1

CURVA DI CARICO

| Sequenza step | Tempo | Var. massima |
|-------------------------|-------|--------------|
| Inizio carico (STEP 1) | 00.00 | 0 |
| Fine STEP 1 | 00.03 | 3,11 |
| Inizio STEP 2 | 00.27 | 3121 |
| Fine STEP 2 | 00.37 | 1271 |
| Inizio STEP 3 | 00.40 | 5042 |
| Fine carico (STEP 3) | 01.00 | 6949 |
| Inizio scarico (STEP 4) | 01.03 | 6749 |
| Fine STEP 4 | 02.08 | 3121 |
| Inizio STEP 5 | 02.16 | 3121 |
| Fine scarico (STEP 5) | 02.51 | 0 |
| Fine prova | 02.57 | 0 |

deformazione massima = 3,164 mm
 deformazione residua = 0,269 mm
 percentuale deformazione residua su massima = 8,45%
 grado di vincolo allungato per il scalo =

ES001

| Sequenza step | Tempo | spostamento |
|---------------|----------|-------------|
| 00.00 | 00.00.00 | 0,000 |
| 00.03 | 00.03.00 | 0,000 |
| 00.27 | 00.27.14 | 0,543 |
| 00.40 | 00.40.22 | 1,276 |
| 00.48 | 00.48.26 | 1,207 |
| 01.00 | 01.00.32 | 1,688 |
| 01.03 | 01.03.32 | 1,688 |
| 02.08 | 02.08.06 | 0,824 |
| 02.16 | 02.16.43 | 0,223 |
| 02.51 | 02.51.31 | 0,156 |
| 02.57 | 02.57.04 | 0,151 |

2,181 mm
 0,179 mm
 8,17%
FINE STEP 1
 lato B = incasso
FINE STEP 2
 lato B = incasso
FINE STEP 3
 lato B = incasso
FINE STEP 4
 lato B = incasso
FINE STEP 5
 lato B = incasso
FINE SCARICO (FINE STEP 5)
 lato B = incasso
FINE PROVA

ES002

| Sequenza step | Tempo | spostamento |
|---------------|----------|-------------|
| 00.00 | 00.00.00 | 0,000 |
| 00.03 | 00.03.00 | 0,000 |
| 00.27 | 00.27.14 | 0,852 |
| 00.40 | 00.40.21 | 1,444 |
| 00.48 | 00.48.26 | 1,470 |
| 01.00 | 01.00.32 | 2,097 |
| 01.03 | 01.03.32 | 2,097 |
| 02.08 | 02.08.10 | 1,310 |
| 02.16 | 02.16.44 | 0,843 |
| 02.51 | 02.51.33 | 0,186 |
| 02.57 | 02.57.05 | 0,179 |

2,655 mm
 0,252 mm
 9,46%
FINE STEP 1
 lato B = incasso
FINE STEP 2
 lato B = incasso
FINE STEP 3
 lato B = incasso
FINE STEP 4
 lato B = incasso
FINE STEP 5
 lato B = incasso
FINE SCARICO (FINE STEP 5)
 lato B = incasso
FINE PROVA

ES004

| Sequenza step | Tempo | spostamento |
|---------------|----------|-------------|
| 00.00 | 00.00.00 | 0,000 |
| 00.03 | 00.03.00 | 0,000 |
| 00.27 | 00.27.15 | 0,913 |
| 00.40 | 00.40.22 | 1,604 |
| 00.48 | 00.48.26 | 1,634 |
| 01.00 | 01.00.32 | 2,318 |
| 01.03 | 01.03.32 | 2,318 |
| 02.08 | 02.08.09 | 1,157 |
| 02.16 | 02.16.13 | 0,716 |
| 02.51 | 02.51.31 | 0,176 |
| 02.57 | 02.57.04 | 0,175 |

2,308 mm
 0,175 mm
 7,3%
FINE STEP 1
 lato B = incasso
FINE STEP 2
 lato B = incasso
FINE STEP 3
 lato B = incasso
FINE STEP 4
 lato B = incasso
FINE STEP 5
 lato B = incasso
FINE SCARICO (FINE STEP 5)
 lato B = incasso
FINE PROVA

Località: Comune di Firenze



Lunghezza scalo (m) = 8,11
 Inclinazione scalo (gradi) = 13,17
 Fine prova (HH:MM) = 16,15
 Data (GG/MM/AA) = 09/09/14

grafico spostamenti sensori

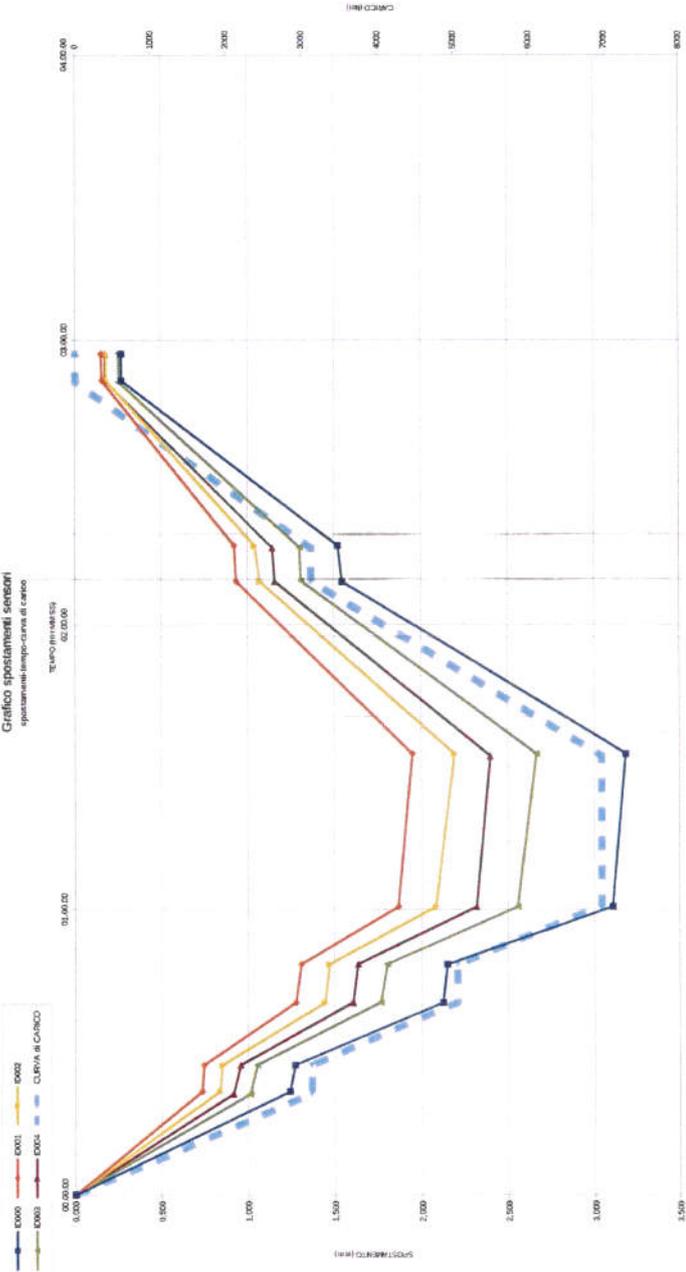
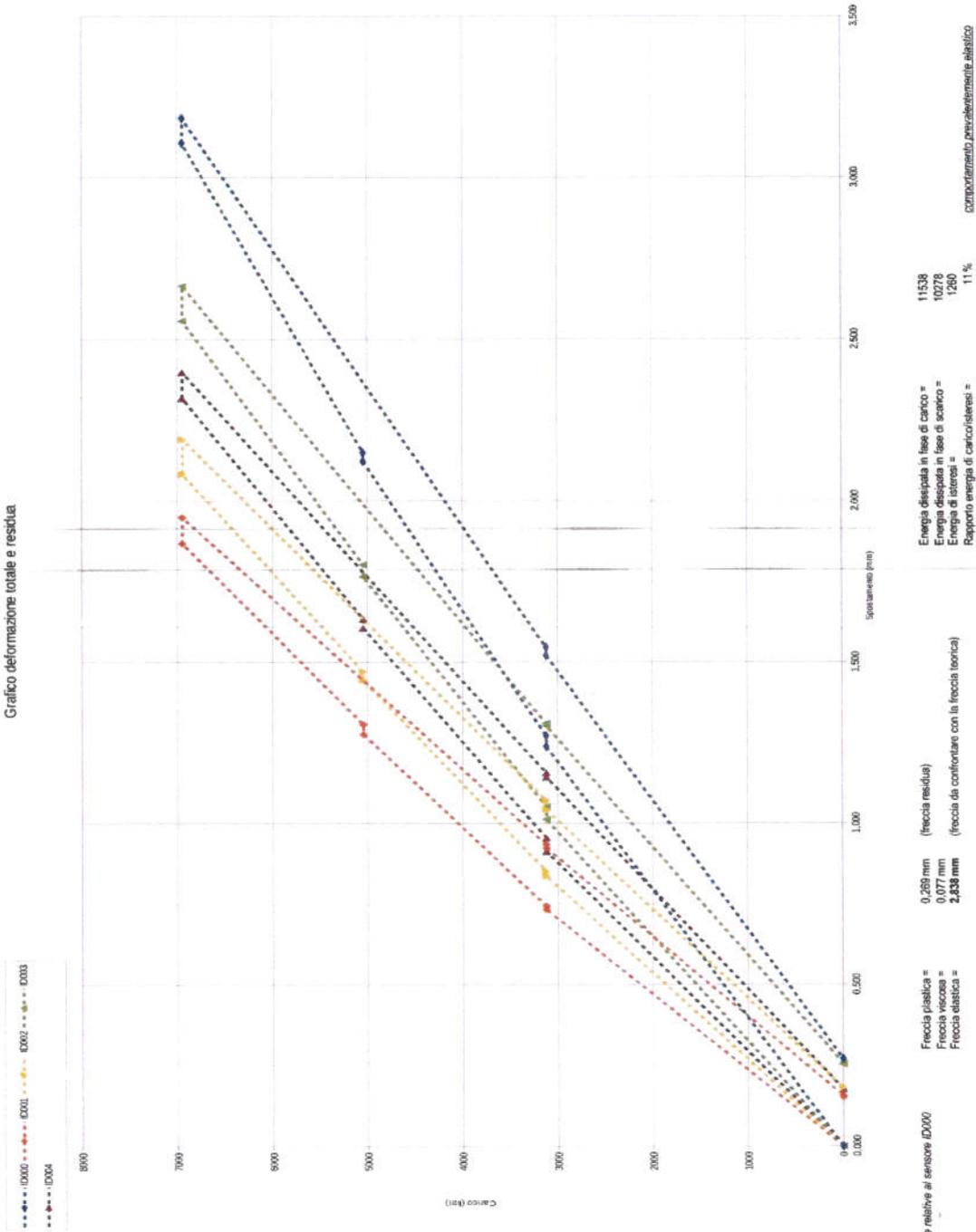


Grafico deformazione totale e residua



Freccia relativa al sensore D000

Freccia plastica =
Freccia viscosa =
Freccia elastica =

0,260 mm (freccia residua)
0,077 mm
2,030 mm (freccia da confrontare con la freccia teorica)

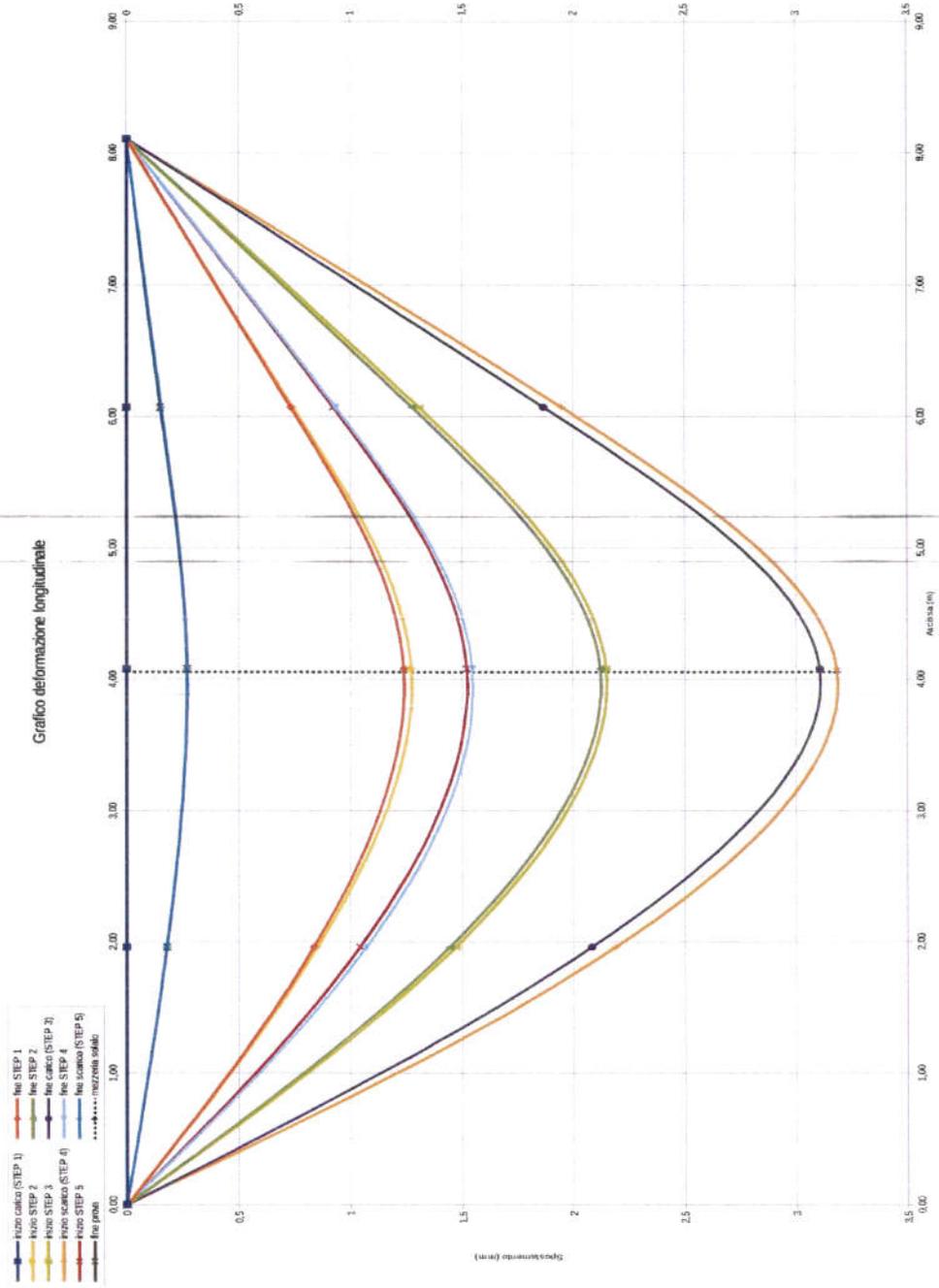
Energia dissipata in fase di carico =
Energia dissipata in fase di scarico =
Energia di isteresi =
Rapporto energia di carico/isteresi =

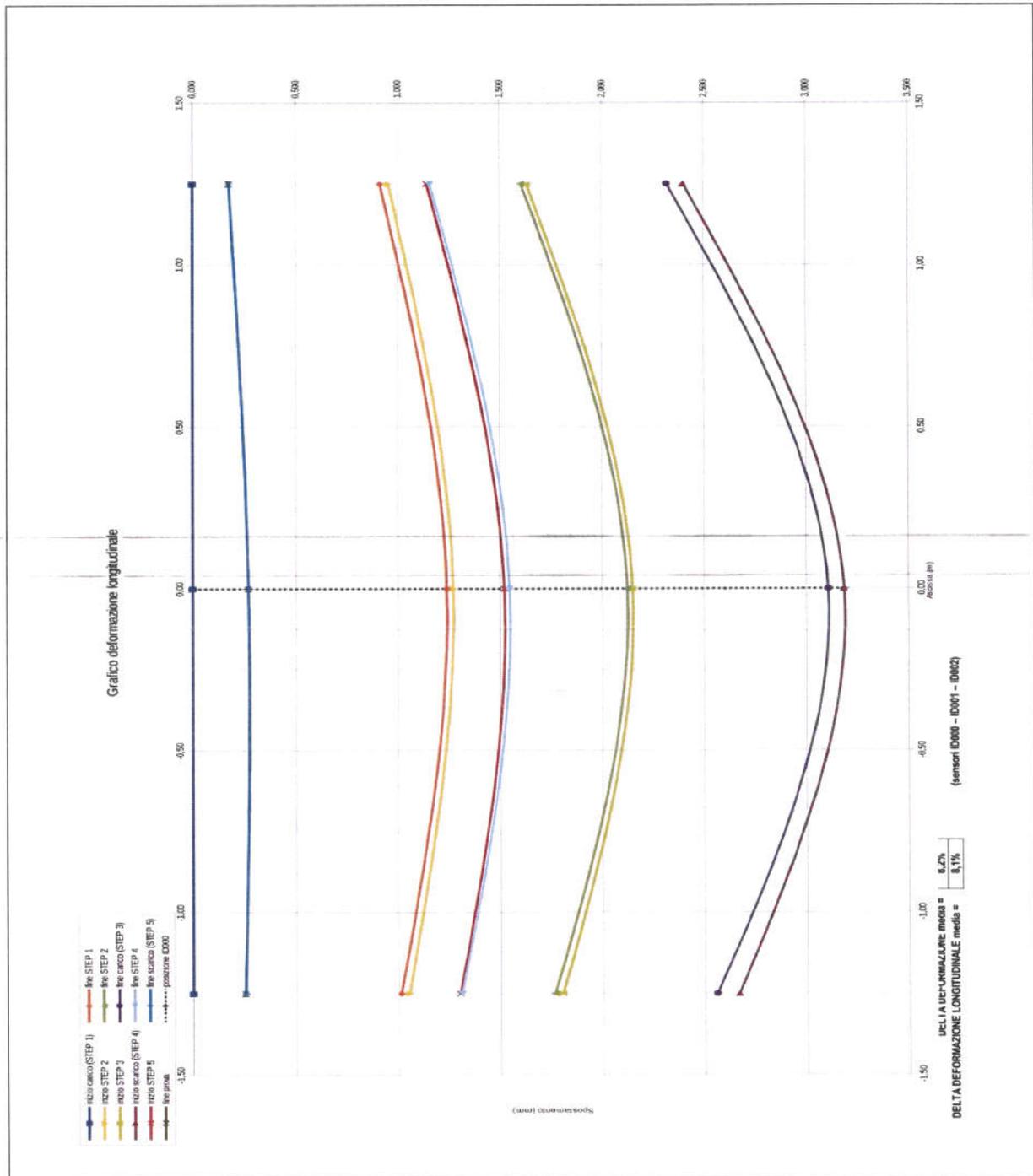
11538
10278
1260
11%

comportamento prevalentemente elastico

Report prova di carico

Grafico deformazione longitudinale





OSSERVAZIONI:

il solaio denota un comportamento prevalentemente elastico, ma con freccia residua comunque limitata e valutabile entro l'ordinario comportamento atteso; si osserva la linearità di comportamento tra carico applicato e deformazioni; i vincoli del solaio appaiono tendenti all'incastro su entrambi i lati (verso il sensore ID001 e ID002).

2.5 Risultati della prova 2

Report prova di carico

Prova eseguita presso: Scuola Rossetti - prova n.2

| CURVA DI CARICO | |
|-----------------|----------|
| tempo | in kN/mm |
| 00:00 | 0 |
| 00:15 | 2400 |
| 00:30 | 2400 |
| 00:39 | 3844 |
| 00:48 | 3844 |
| 00:52 | 5144 |
| 01:03 | 5144 |
| 01:25 | 2400 |
| 01:39 | 2400 |
| 02:00 | 0 |
| 02:15 | 0 |

deformazione massima = 1,958 mm
 deformazione residua = -0,023 mm
 percentuale deformazione residua su massima = 1,26 %
 grado di irrigidimento per il pedale =

| S001 | |
|------------|-------------|
| LATO A (m) | 3,40 |
| tempo | spostamento |
| 00:00:00 | 0,000 |
| 00:15:39 | 0,716 |
| 00:30:17 | 0,721 |
| 00:39:52 | 1,170 |
| 00:48:31 | 1,748 |
| 00:52:59 | 1,928 |
| 01:03:34 | 1,668 |
| 01:25:16 | 0,847 |
| 01:39:53 | 0,493 |
| 02:00:19 | -0,021 |
| 02:15:19 | -0,023 |

1,958 mm
 -0,023 mm
 1,26 %
 lato B = incastro
 lato A = incastro
 lato A = appoggio
 lato A = appoggio

| S002 | |
|------------|-------------|
| LATO A (m) | 5,13 |
| tempo | spostamento |
| 00:00:00 | 0,000 |
| 00:16:39 | 0,487 |
| 00:30:16 | 0,481 |
| 00:39:51 | 0,748 |
| 00:48:31 | 1,095 |
| 00:52:57 | 1,024 |
| 01:03:34 | 1,044 |
| 01:25:17 | 0,505 |
| 01:39:53 | 0,493 |
| 02:00:19 | -0,023 |
| 02:15:19 | -0,023 |

1,044 mm
 -0,023 mm
 0,06 %
 lato B = incastro
 lato B = incastro
 lato B = incastro
 lato B = appoggio
 lato B = appoggio

| S003 | |
|------------|-------------|
| LATO A (m) | 1,73 |
| tempo | spostamento |
| 00:00:00 | 0,000 |
| 00:16:39 | 0,485 |
| 00:30:16 | 0,444 |
| 00:39:51 | 0,757 |
| 00:48:31 | 0,888 |
| 00:52:57 | 1,213 |
| 01:03:34 | 1,060 |
| 01:25:17 | 0,510 |
| 01:39:53 | 0,493 |
| 02:00:19 | -0,111 |
| 02:15:19 | -0,111 |

1,060 mm
 -0,111 mm
 0,38 %
 lato B = incastro
 lato B = incastro
 lato B = incastro
 lato B = appoggio
 lato B = appoggio

| S004 | |
|------------|-------------|
| LATO A (m) | 0,83 |
| tempo | spostamento |
| 00:00:00 | 0,000 |
| 00:17:09 | 0,545 |
| 00:30:45 | 0,545 |
| 00:39:52 | 0,888 |
| 00:48:31 | 1,095 |
| 00:52:59 | 1,532 |
| 01:03:34 | 1,559 |
| 01:25:17 | 0,811 |
| 01:39:54 | 0,775 |
| 02:00:19 | -0,077 |
| 02:15:19 | -0,077 |

1,559 mm
 -0,079 mm
 0,34 %

Località: Comune di Firenze



7,08
 Lunghezza scalo (m) =
 Inizio prova (H:MM) = 17:19
 Fine prova (H:MM) = 18:32
 Data (GG/MM/AA) = 08/09/18

Gráfico spostamenti sensori spostamenti tempo curva di Carico

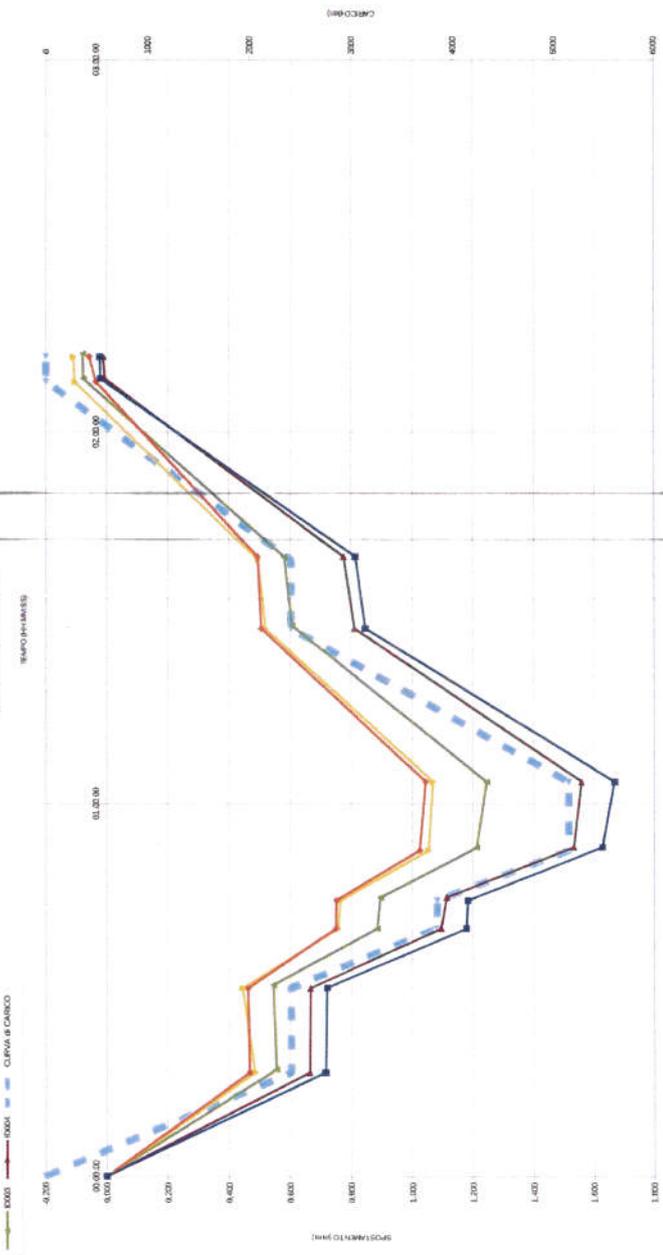
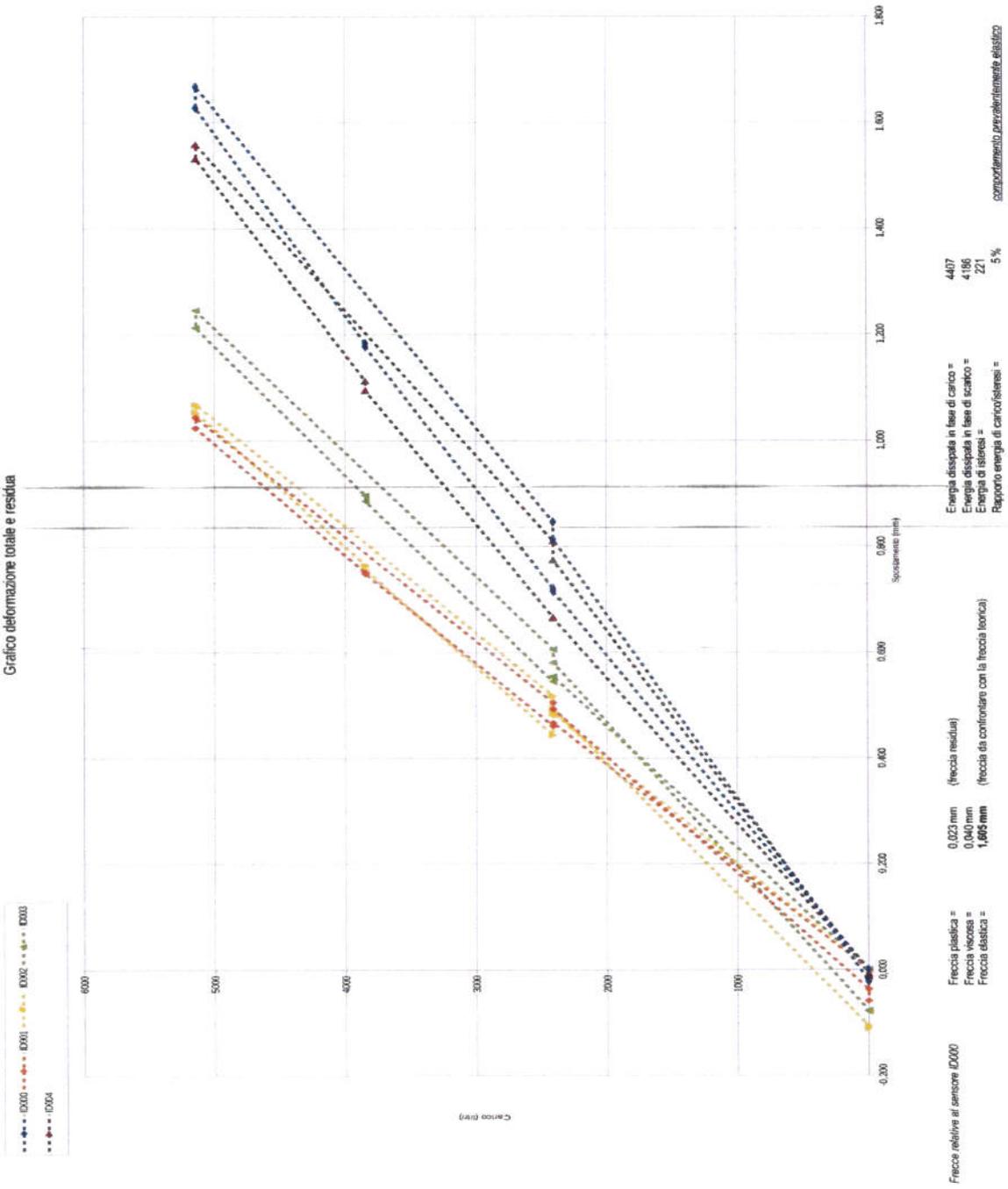
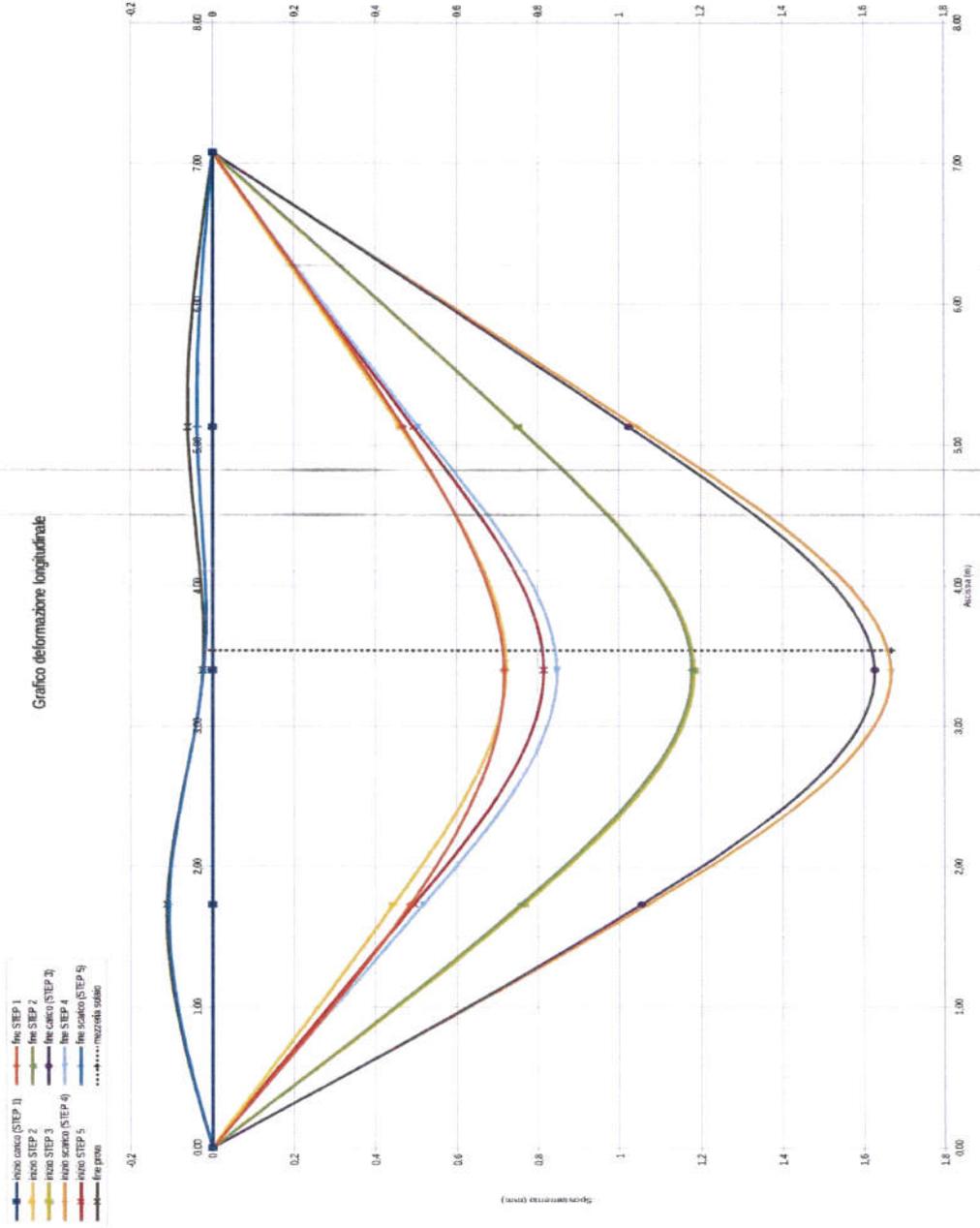


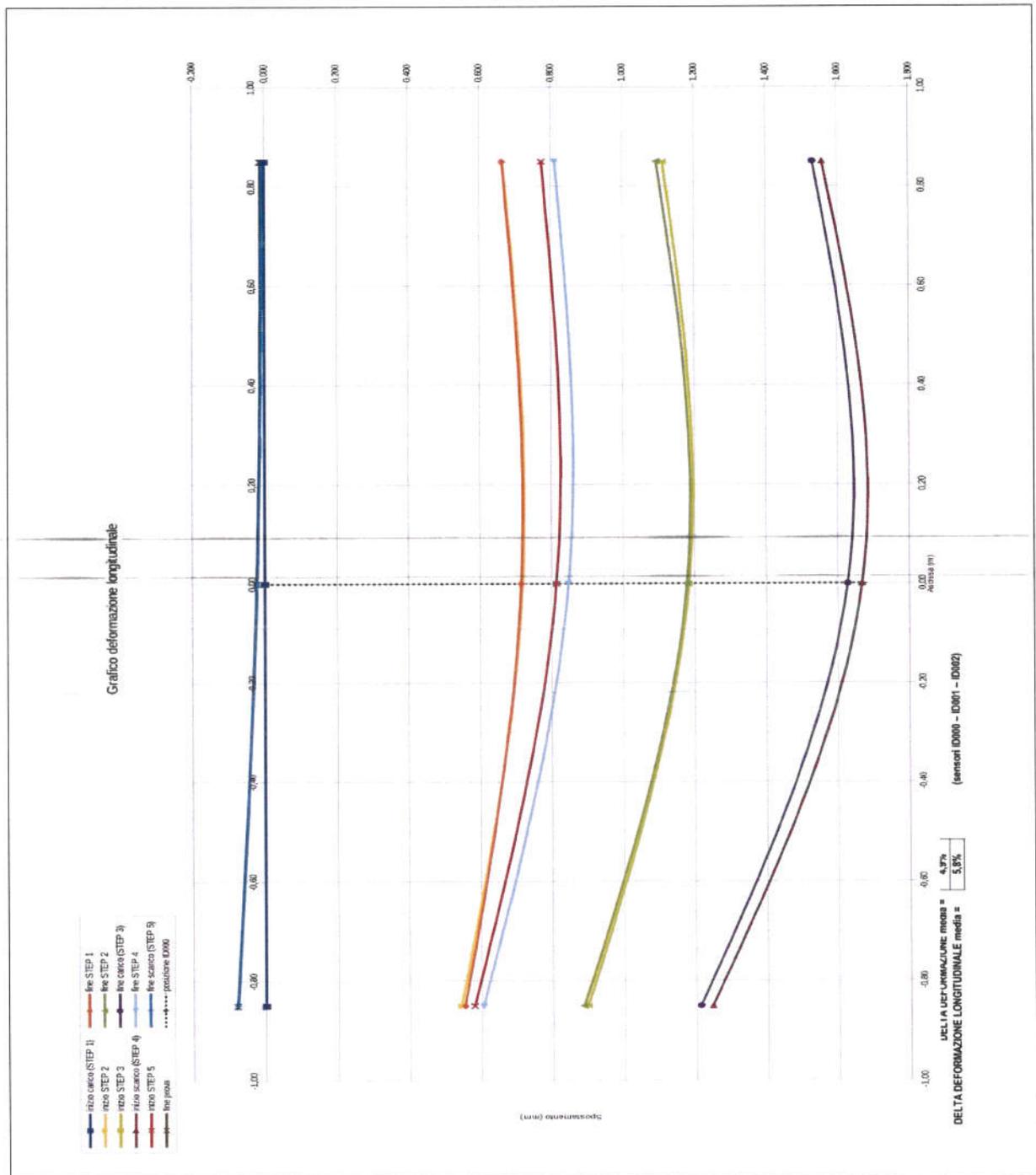
Grafico deformazione totale e residua



Report prova di carico

Grafico deformazione longitudinale





OSSERVAZIONI:

il solaio denota un comportamento prevalentemente elastico, ma con freccia residua comunque limitata e valutabile entro l'ordinario comportamento atteso; si osserva la linearità di comportamento tra carico applicato e deformazioni; i vincoli del solaio appaiono tendenti all'incastro su entrambi i lati (verso il sensore ID001 e ID002).

2.6 Risultati della prova 3

Report prova di carico

Prova eseguita presso: Scuola Rossini - prova n.3

Località: Comune di Firenze

| CURVA DI CARICO | |
|-----------------|------------|
| tempo | forza (kN) |
| 00:00 | 0 |
| 00:16 | 2250 |
| 00:21 | 2250 |
| 00:31 | 3429 |
| 00:48 | 5629 |
| 01:01 | 5629 |
| 01:23 | 2250 |
| 01:27 | 2250 |
| 01:51 | 0 |
| 01:56 | 0 |

deformazione massima = 2,056 mm
 deformazione residua = 0,147 mm
 percentuale deformazione residua su resistenza = 0,15 %
 grado di incricio assunto per il calcolo =

| LATO A (m) | |
|------------|------------------|
| tempo | spostamento (mm) |
| 00:00:00 | 0,000 |
| 00:16:09 | 0,961 |
| 00:21:42 | 0,985 |
| 00:31:38 | 1,419 |
| 00:48:29 | 2,053 |
| 01:01:44 | 2,056 |
| 01:23:25 | 1,092 |
| 01:27:27 | 1,079 |
| 01:51:19 | 0,115 |
| 01:56:43 | 0,147 |

LATO A (m) = 4,51
 spostamento medio = 1,433 mm
 spostamento max = 0,136 mm
 spostamento min = 0,147 mm
 LATO B = incastro
 LATO C = incastro
 LATO D = incastro
 LATO E = appoggio
 LATO F = appoggio

| LATO A (m) | |
|------------|------------------|
| tempo | spostamento (mm) |
| 00:00:00 | 0,000 |
| 00:16:08 | 0,545 |
| 00:21:42 | 0,558 |
| 00:31:47 | 0,908 |
| 00:48:29 | 1,368 |
| 01:01:32 | 1,332 |
| 01:23:14 | 0,724 |
| 01:27:18 | 0,711 |
| 01:51:11 | 0,115 |
| 01:56:42 | 0,121 |

LATO A (m) = 1,50
 spostamento medio = 1,332 mm
 spostamento max = 0,121 mm
 spostamento min = 0,115 mm
 LATO B = incastro
 LATO C = incastro
 LATO D = incastro
 LATO E = appoggio
 LATO F = appoggio

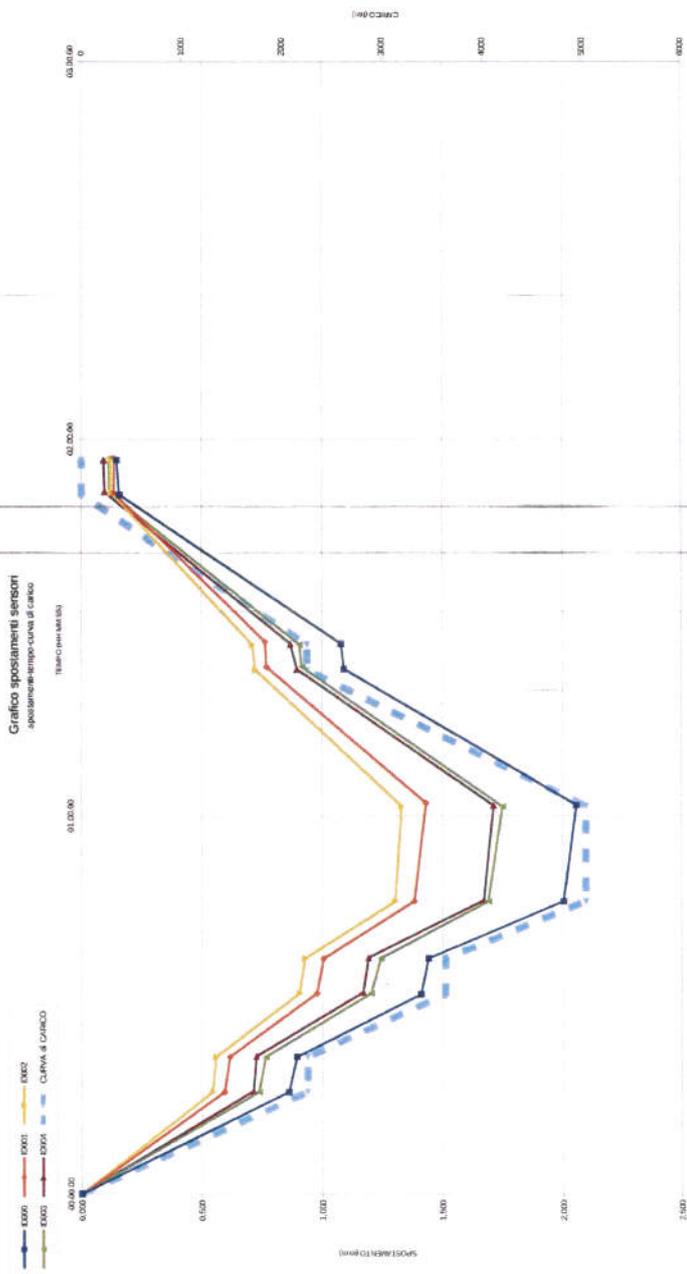
| LATO A (m) | |
|------------|------------------|
| tempo | spostamento (mm) |
| 00:00:00 | 0,000 |
| 00:16:09 | 0,737 |
| 00:21:42 | 0,765 |
| 00:31:47 | 1,293 |
| 00:48:29 | 1,876 |
| 01:01:32 | 1,749 |
| 01:23:44 | 0,917 |
| 01:27:18 | 0,907 |
| 01:51:11 | 0,115 |
| 01:56:41 | 0,115 |

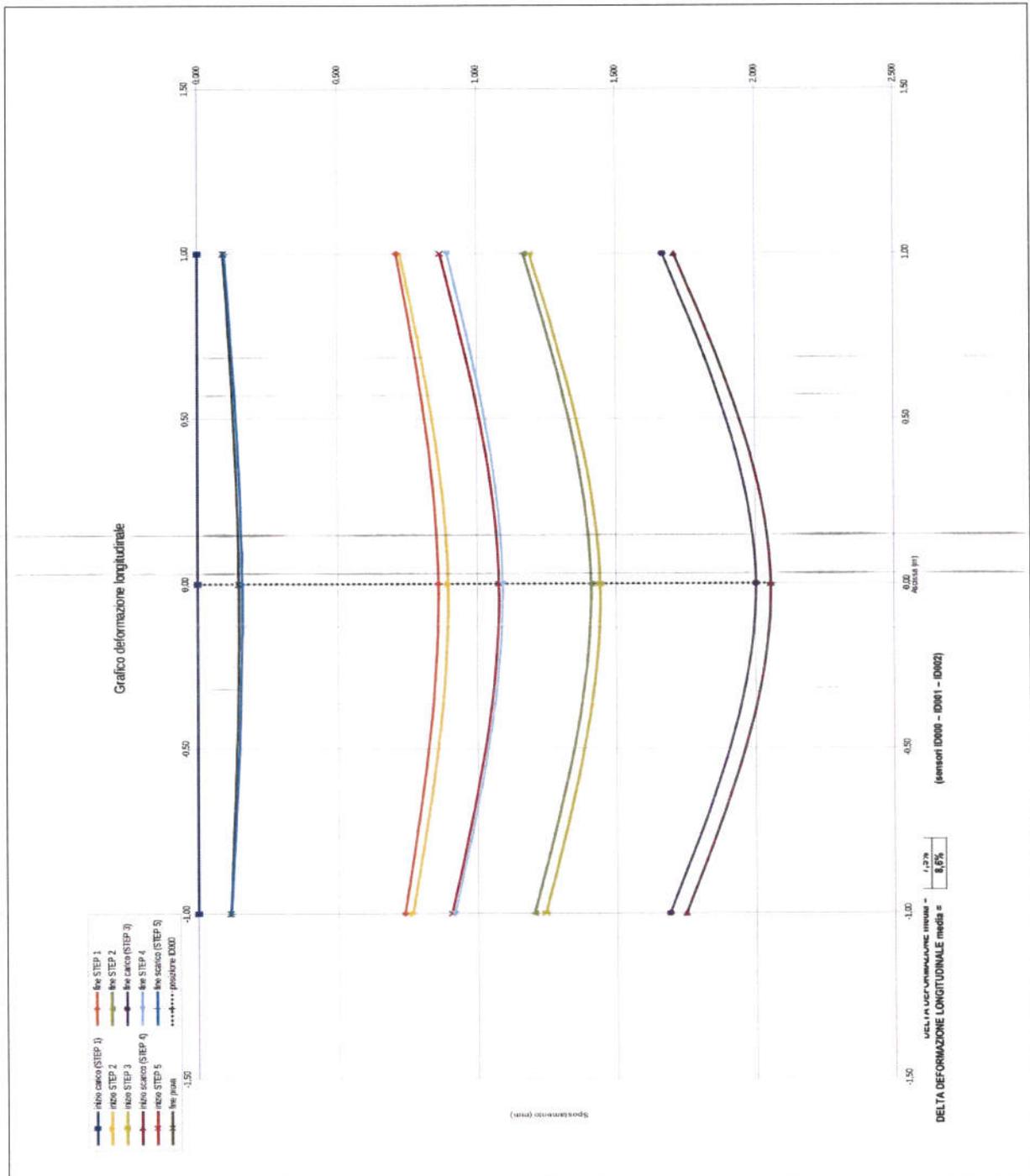
LATO A (m) = 1,50
 spostamento medio = 1,749 mm
 spostamento max = 0,115 mm
 spostamento min = 0,115 mm

| LATO B | |
|----------|------------------|
| tempo | spostamento (mm) |
| 00:00:00 | 0,000 |
| 00:16:17 | 0,713 |
| 00:21:50 | 0,728 |
| 00:31:56 | 1,179 |
| 00:48:33 | 1,876 |
| 01:01:41 | 1,711 |
| 01:23:23 | 0,898 |
| 01:27:25 | 0,889 |
| 01:51:11 | 0,115 |
| 01:56:41 | 0,093 |

LATO B (m) = 1,50
 spostamento medio = 1,711 mm
 spostamento max = 0,093 mm
 spostamento min = 0,093 mm

lunghezza snello (m) = 6,04
 indice prova (H/H_{MA}) = 16,14
 Data (GGMM/AA) = 05/09/16





OSSERVAZIONI:

il solaio denota un comportamento prevalentemente elastico, ma con freccia residua comunque limitata e valutabile entro l'ordinario comportamento atteso; si osserva la linearità di comportamento tra carico applicato e deformazioni; i vincoli del solaio appaiono tendenti all'incastro su entrambi i lati (verso il sensore ID002 e ID001).

3. Determinazione deformate teoriche

Per determinare le deformate teoriche delle strutture indagate ci si è rifatti ai dati geometrici e dei materiali già richiamati ottenendo:

- per la prova 1 una freccia massima compresa tra 3,834 mm e 19,170 mm.

| | | | | |
|----------------------|------------------------------------|--------------------|---|----------------------------|
| Carico accidentale = | <input type="text" value="350"/> | kg/mq | calcolo freccia | |
| | | | (combinazione "caratteristica rara" par. 2.5.3 DM 2008) | |
| DATI SOLAIO | | | | |
| L= | <input type="text" value="811"/> | cm | lunghezza solaio | |
| interasse travetti = | <input type="text" value="40"/> | cm | | |
| q tot lin= | 140 | Kg/m | carico linearizzato (agente sul travetto) | |
| Rck= | <input type="text" value="250"/> | Kg/cm ² | | |
| E= | 284605 | Kg/cm ² | | |
| J= | <input type="text" value="14454"/> | cm ⁴ | | |
| f max= | 3,834 | mm | INCASTRO-INCASTRO | (1/384*q ^l /EJ) |
| f max= | 19,170 | mm | APPOGGIO-APPOGGIO | (5/384*q ^l /EJ) |
| f medio= | 11,502 | mm | SEMINCASTRO | (3/384*q ^l /EJ) |

- per la prova 2 una freccia massima compresa tra 2,227 mm e 11,134 mm.

| | | | | |
|----------------------|------------------------------------|--------------------|---|----------------------------|
| Carico accidentale = | <input type="text" value="350"/> | kg/mq | calcolo freccia | |
| | | | (combinazione "caratteristica rara" par. 2.5.3 DM 2008) | |
| DATI SOLAIO | | | | |
| L= | <input type="text" value="708"/> | cm | lunghezza solaio | |
| interasse travetti = | <input type="text" value="40"/> | cm | | |
| q tot lin= | 140 | Kg/m | carico linearizzato (agente sul travetto) | |
| Rck= | <input type="text" value="250"/> | Kg/cm ² | | |
| E= | 284605 | Kg/cm ² | | |
| J= | <input type="text" value="14454"/> | cm ⁴ | | |
| f max= | 2,227 | mm | INCASTRO-INCASTRO | (1/384*q ^l /EJ) |
| f max= | 11,134 | mm | APPOGGIO-APPOGGIO | (5/384*q ^l /EJ) |
| f medio= | 6,681 | mm | SEMINCASTRO | (3/384*q ^l /EJ) |

- per la prova 3 (soffitto in acciaio) una freccia massima di 0,71 cm.

| Profilo NP 180 | | | | | |
|----------------------------|----------------------------------|--|----------------------|---|-----------------|
| Caratteristiche profilato | | Tipo = NP 180 S 235 | | $f_{yk} = 2350$ kg/cm ² | |
| Peso (Kg/ml) = | 21,9 | J_x (cm ⁴) = | 1.450,0 | $W_{pl,x}$ (cm ³) = | 187,0 |
| Numero profilati = | 1 | J_x tot (cm ⁴) = | 1.450,0 | $W_{pl,x,tot}$ (cm ³) = | 187,0 |
| Modulo di elasticità | E = 2.100.000 kg/cm ² | | $\gamma_{M0} = 1,05$ | | $\gamma_{M1} =$ |
| Area resistente a taglio | A_v (cm ²) = | Lunghezza tratto anima costante d (cm) = | 14,24 | Spessore costante anima t _w (cm) = | 0,69 |
| MOMENTO | $M_{ed,x}$ | 418.524 Kg cm | $M_{ed,x,tot}$ | 418.524 Kg cm | |
| TAGLIO | $V_{ed,x}$ | 17.250 Kg | $V_{ed,x,tot}$ | 17.250 Kg | |
| Lunghezza trave L = 6,04 m | | | | | |

ANALISI DEI CARICHI

| Interasse di carico | m | | | |
|-------------------------|-------------------|--------|-----------------------------|---|
| Peso proprio G1a | kg/m | 21,90 | PERMANENTE STRUTTURALE: | peso proprio trave |
| Peso proprio G1b | kg/m ² | 0,00 | PERMANENTE STRUTTURALE: | camera d'aria |
| Peso portato G2a | kg/m ² | 250,00 | PERMANENTE NON STRUTTURALE: | Pavimento + sottolando + tavellone + intonaco |
| Peso portato G2b | kg/m | 0,00 | PERMANENTE NON STRUTTURALE: | |
| Carico di esercizio Qk1 | kg/m ² | 350,00 | VARIABILE: | cat. C: Ambienti soggetti ad affollamento |
| Carico di esercizio Qk2 | kg/m ² | | VARIABILE: | |
| Carico di esercizio Qk3 | kg/m ² | | VARIABILE: | |

Valore dei Coefficienti di Combinazione (cfr. NTC 2008: Tab. 2.5.1)

| Categoria: | γ_G | γ_{I1} | γ_{I2} |
|-------------------|------------|---------------|---------------|
| 1 - "C" Affollati | 0,70 | 0,70 | 0,60 |
| 2 - neve | | | |
| 3 - vento | | | |

Valore dei Coefficienti Parziali per le verifiche SLU (cfr. NTC 2008: Tab. 2.6.1)

$g_{G1} = 1,30$ A1 STR $g_{G2} = 1,30$ A1 STR $g_{Q1} = 1,50$ A1 STR

Combinazioni delle azioni (cfr. NTC 2008, § 2.5.3)

| Combinazione fondamentale SLU | $g_{G1}G_1 + g_{G2}G_2 + g_{Q1}Q_{k1} + g_{Q2}Q_{k2} - g_{Q3}Q_{k3}$ | kg/m | SLU |
|-------------------------------|---|-------|------|
| Combinazione SLE | $G_1 + G_2 + Q_{k1} + \gamma_{Q2}Q_{k2} + \gamma_{Q3}Q_{k3}$ | 878,5 | kg/m |
| Combinazione SLE | $G_1 + G_2 + \gamma_{I1}Q_{k1} + \gamma_{I2}Q_{k2} + \gamma_{I3}Q_{k3}$ | 621,9 | kg/m |
| Combinazione SLE | $G_1 + G_2 + \gamma_{I1}Q_{k1} + \gamma_{I2}Q_{k2} + \gamma_{I3}Q_{k3}$ | 516,9 | kg/m |
| Combinazione SLE | $G_1 + G_2 + \gamma_{I1}Q_{k1} + \gamma_{I2}Q_{k2} + \gamma_{I3}Q_{k3}$ | 481,9 | kg/m |
| Combinazione sismica | $G_1 + G_2 + \gamma_{I1}Q_{k1} + \gamma_{I2}Q_{k2} + \gamma_{I3}Q_{k3} + E$ | 481,9 | kg/m |

SOLLECITAZIONI

| Sollecitazioni SLU | | (cerniera in appoggio) | |
|------------------------|--------------|------------------------|---------|
| mezzaria: | | appoggio: | |
| M_{MAX} | 400600 Kg cm | V_{MAX} | 2653 Kg |
| $M_{ED,SLU}$ | | $V_{ED,SLU}$ | |
| Sollecitazioni SLE | | | |
| mezzaria: | | appoggio: | |
| M_{MAX} | 283599 Kg cm | V_{MAX} | 1878 Kg |
| $M_{ED,SLE}$ | | $V_{ED,SLE}$ | |
| (incastro in appoggio) | | | |
| Sollecitazioni SLU | | (incastro in appoggio) | |
| mezzaria: | | appoggio: | |
| M_{MAX} | 133533 Kg cm | V_{MAX} | 2653 Kg |
| $M_{ED,SLU}$ | | $V_{ED,SLU}$ | |
| Sollecitazioni SLE | | (incastro in appoggio) | |
| mezzaria: | | appoggio: | |
| M_{MAX} | 94533 Kg cm | V_{MAX} | 1878 Kg |
| $M_{ED,SLE}$ | | $V_{ED,SLE}$ | |

VERIFICHE

- RESISTENZA

| | | | | | | | |
|-----------|--------------|--------|---|--------------|--------------------|---------------|-----|
| mezzaria: | $M_{ED,SLU}$ | 400600 | < | 418524 Kg cm | sezione verificata | coefficiente: | 1,0 |
| appoggio: | $V_{ED,SLU}$ | 2653 | < | 17250 Kg | sezione verificata | coefficiente: | 6,5 |

| | | | | | |
|-----------------|--------|----|--|--------------------|-------------------|
| | | | (incastro in appoggio) | | |
| - RESISTENZA | | | | | |
| mezzero: | | | | | |
| $M_{Ed}^{SU} =$ | 133533 | < | 418524 $R_{p,CTR}$ | sezione verificata | coefficiente: 3,1 |
| appoggio: | | | | | |
| $V_{Ed}^{SU} =$ | 2653 | < | 17250 R_p | sezione verificata | coefficiente: 6,5 |
| - DEFORMAZIONE | | | (cerniera in appoggio) | | |
| mezzero: | | | | | |
| $f_{max} =$ | 3,54 | cm | considerando d_{max} spostamento allo stato finale (tab. 4.2.X – DM 2008) | | |
| $f_2 =$ | 1,99 | cm | considerando d_2 spostamento dovuto ai soli carichi variabili (tab. 4.2.X – DM 2008) | | |
| - DEFORMAZIONE | | | (incastro in appoggio) | | |
| mezzero: | | | | | |
| $f_{max} =$ | 0,71 | cm | considerando d_{max} spostamento allo stato finale (tab. 4.2.X – DM 2008) | | |
| $f_2 =$ | 0,40 | cm | considerando d_2 spostamento dovuto ai soli carichi variabili (tab. 4.2.X – DM 2008) | | |

4. Confronto tra deformate teoriche e sperimentali

Alla luce delle osservazioni fatte sui vincoli del solaio è plausibile attendersi un comportamento:

- per la prova 1 di tipo incastro/incastro e quindi stimare una freccia massima teorica pari a: 3,834 mm.

Il valore massimo rilevato in termini sperimentali pari a 2,838 mm indica che la **deformazione rilevata è minore rispetto a quella di calcolo.**

- per la prova 2 di tipo incastro/incastro e quindi stimare una freccia massima teorica pari a: 2,227 mm.

Il valore massimo rilevato in termini sperimentali pari a 1,605 mm indica che la **deformazione rilevata è compatibile con quella di calcolo.**

- per la prova 3 di tipo incastro/incastro e quindi stimare una freccia massima teorica pari a: 7,1 mm.

Il valore massimo rilevato in termini sperimentali pari a 1,856 mm indica che la **deformazione rilevata è minore rispetto a quella di calcolo.**

5. Carico limite e grado di sicurezza della struttura

Si riporta di seguito la verifica delle strutture sopra descritte, sulla quale sono state eseguite le prove di carico, considerando come carico variabile 350 kg/mq e successivamente il carico limite ricavato per via iterativa.

5.1 Prova 1

calcolo momento agente

Carico permanente strutturale (G1) = 190 kg/mq
 Carico permanente non strutturale (G2) = 230 kg/mq
 Carico variabile = 350 kg/mq

con: $g_{G1} = 1,3$ $g_{G2} = 1,3$ $g_{Qk1} = 1,5$

$g_{G1} G_1 + g_{G2} G_2 + g_{Qk1} Q_{k1} = 1071$ kg/mq
 (combinazione "fondamentale" par. 2.5.3 DM 2008)

DATI SOLAIO

L = 811 cm lunghezza solaio
 interasse travetti = 40 cm
 q tot lin = 428 Kg/m carico linearizzato (agente sul travetto)

M mezzeria = 352210 kgcm APPOGGIO-APPOGGIO ($q^2/8$)
 M mezzeria = 117403 kgcm INCASTRO-INCASTRO ($q^2/24$)
 M medio = 176105 kgcm SEMINCASTRO ($q^2/16$)
 17,61 kNm

N° figure elementari 2 Zoom N° strati barre 1 Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 40 | 4 |
| 2 | 8 | 16 |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 3,05 | 17 |

Rettan.re I trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Solecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
 M_{xEd} 11,74 kNm
 M_{yEd} 0 kNm

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N
 L_o 0 cm Col. modello

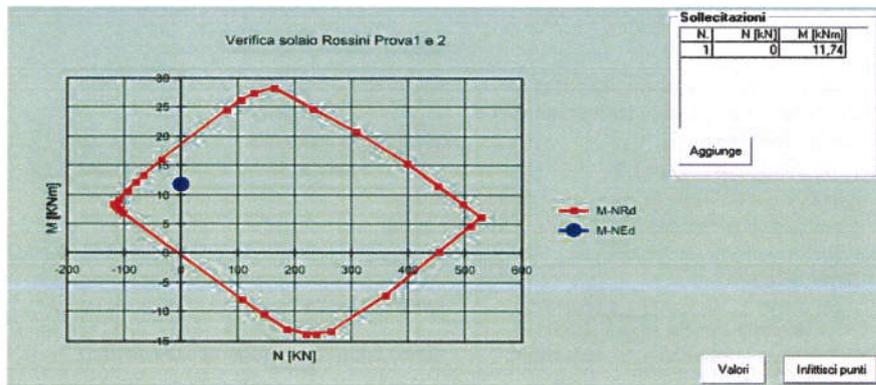
Precompresso

Materiali

| B450C | | C25/30 | |
|------------------|---------------------------|------------------|-------|
| ϵ_{su} | 67,5 ‰ | ϵ_{c2} | 2 ‰ |
| f_{yd} | 391,3 N/mm ² | E_{cu} | 3,5 |
| E_s | 200.000 N/mm ² | f_{cd} | 14,17 |
| E_s/E_c | 15 | f_{oc}/f_{cd} | 0,8 |
| ϵ_{syd} | 1,957 ‰ | $\sigma_{c,adm}$ | 9,75 |
| $\sigma_{s,adm}$ | 255 N/mm ² | τ_{co} | 0,6 |
| | | τ_{c1} | 1,829 |

M_{xRd} 19 kNm

σ_c -14,17 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 19,4 ‰
 d 17 cm
 x 2,598 x/d 0,1528
 δ 0,7



Le verifiche condotte indicano la verifica a flessione soddisfatta con un carico variabile di 350 kg/m².

Si osserva inoltre che pur considerando il carico indicato ma con uno schema di calcolo non più intermedio (appoggio-incastro) bensì di semplice appoggio le verifiche non risulterebbero più soddisfatte: ciò induce quindi a non superare il carico indicato.

5.2 Prova 2

calcolo momento agente

Carico permanente strutturale (G1) = 190 kg/mq
 Carico permanente non strutturale (G2) = 230 kg/mq
 Carico variabile = 350 kg/mq
 con: $g_{G1} = 1,3$ $g_{G2} = 1,3$ $g_{Qk1} = 1,5$
 $g_{G1} G_1 + g_{G2} G_2 + g_{Qk1} Q_{k1} = 1071$ kg/mq
 (combinazione "fondamentale" par. 2.5.3 DM 2008)

DATI SOLAIO

$L = 708$ cm lunghezza solaio
 interasse travetti = 40 cm
 $q_{tot\ lin} = 428$ Kg/m carico linearizzato (agente sul travetto)
 M mezzeria = 268427 kgcm APPOGGIO-APPOGGIO ($q^2/8$)
 M mezzeria = 89476 kgcm INCASTRO-INCASTRO ($q^2/24$)
 M medio = 134213 kgcm SEMINCASTRO ($q^2/16$)
 13,42 kNm

Titolo: Verifica solaio Rossini Prova1 e 2

N° figure elementari: 2 Zoom N° strati barre: 1 Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1 | 40 | 4 | 1 | 3,05 | 17 |
| 2 | 8 | 16 | | | |

Tipo Sezione:
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo:
 S.L.U. + S.L.U.
 Metodo n

Tipo flessione:
 Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

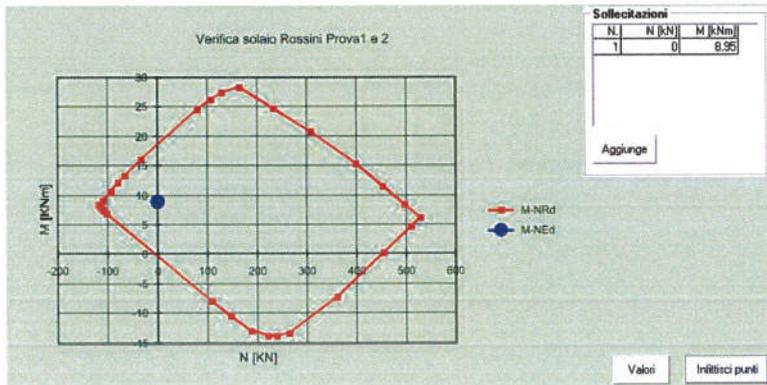
L_0 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali: B450C C25/30

E_{su} 67,5 ‰ E_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² E_{cu} 3,5
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 14,17
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8 [7]
 E_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9,75
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,6
 τ_{c1} 1,829

M_{xRd} 19 kN m
 σ_c -14,17 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 19,4 ‰
 d 17 cm
 x 2,598 x/d 0,1528
 δ 0,7



Le verifiche condotte indicano la verifica a flessione soddisfatta con un carico variabile di 350 kg/m².

Si osserva inoltre che pur considerando il carico indicato ma con uno schema di calcolo non più intermedio (appoggio-incastro) bensì di semplice appoggio le verifiche non risulterebbero più soddisfatte: ciò induce quindi a non superare il carico indicato.

5.3 Prova 3

Come indicato in precedenza nel paragrafo 3 le verifiche condotte indicano la verifica a flessione soddisfatta con un carico variabile di 350 kg/m².

Si osserva inoltre la verifica risulta solo lievemente soddisfatta, ciò induce quindi a non superare il carico indicato.

6. Consigli riguardanti le strutture e la sicurezza statica

Sulla base dei risultati ottenuti dalle simulazioni numeriche (verifiche analitiche) e prove sperimentali si ritiene che:

- Prova 1 e 2:

il solaio è in grado di sopportare i carichi di esercizio richiesti dalla vigente norma e non si ritengono quindi necessari provvedimenti riguardanti le strutture e la sicurezza

- Prova 3:

il solaio è in grado di sopportare i carichi di esercizio richiesti dalla vigente normativa ma la verifica risulta soddisfatta al limite; in tal caso, per aumentare il carico di servizio del solaio, potrebbe essere consigliabile alleggerire il massetto esistente per ridurre i carichi agenti, oppure prevedere rompitratta intermedi della luce delle travi.

