

Revisione	Sostituisce codice	Disegno N°	del	Modifica

Committ.	Comune di Ancona - Direzione Progettazioni, Manutenzioni, Viabilità, Frana e Sicurezza			Disegno	08
Oggetto	Rilievo critico delle strutture del complesso edilizio della Mole Vanvitelliana di Ancona e coordinamento e l'assistenza alle indagini e prove sui materiali			Modifica	A
Elaborato	INDAGINI SULLE STRUTTURE (CALCESTRUZZO) Relazione interpretativa delle prove di carico			Serie	IS
Codice	001-16_IS.08.A001	Data	01.06.2016	Scala	--
				Redatto	M. F.

ing. Massimo Formica

viale Carducci, 21 - 62019 Recanati (MC)

e-mail: massimoformica@tin.it

tel: +39 338 3073928

Progettista

Timbro
e firma

Sommario

1	Introduzione	3
2	Progettazione delle prove di carico	3
2.1	Frecce attese determinate con il modello agli elementi finiti	4
3	Strumentazione impiegata	9
4	Esecuzione delle prove di carico	9
4.1	Prova di carico soletta II elevazione	10
4.1.1	Risultati della prova	12
4.2	Prova di carico soletta III elevazione	13
4.2.1	Risultati della prova	15
5	Esito delle prove	16

1 Introduzione

La presente relazione riferisce sulle modalità e sui risultati delle prove di carico statiche, con carico uniforme, effettuate sui solai a soletta piena del secondo e del terzo piano compresi tra i telai 5 e 6 della struttura in c.a. "Nervi", sul lato B-C (lato Sud-Est) della Mole Vanvitelliana di Ancona.

La struttura è costituita da 18 telai piani disposti in direzione ortogonale alle pareti principali in muratura del pentagono e con interasse longitudinale costante di circa 3,56 m. In elevazione ciascun telaio è organizzato in tre livelli (il primo livello si trova alla quota +7.80 m, il secondo a +10.55 m ed il terzo a +13.30 m), con un'ulteriore coppia di pilastri a sostegno della copertura, costituita da capriate lignee. Ogni telaio è composto da due pilastri che rastremano con l'altezza in direzione trasversale (lato corto del pentagono principale) di dimensioni 35x35 cm al primo livello, 35x25 cm al secondo e terzo livello e 25x25 cm per la coppia di pilastri a sostegno della copertura. Le travi a sostegno degli orizzontamenti hanno sezione 25x50 cm, sono ordite solamente in direzione trasversale e presentano un tratto a sezione variabile in corrispondenza dei pilastri. Alle prime due elevazioni le travi si intestano nelle pareti perimetrali in muratura per una profondità di circa 40 cm, mentre al terzo livello la trave collega solamente i due pilastri. Il solaio è costituito da una soletta in c.a. di spessore pari a 11 cm in mezzeria e variabile fino a 14 cm all'attacco con le travi principali. Le fondazioni della struttura in c.a. sono costituite da plinti isolati di dimensioni 2.0 x 2.0 m, approfonditi, rispetto al solaio di calpestio del primo livello, di circa 2.0 m.

2 Progettazione delle prove di carico

La prova di carico statica ha come obiettivo la misura, in punti preventivamente definiti, degli spostamenti verticali dell'elemento strutturale sottoposto alla prova stessa, a seguito di incrementi e decrementi di carico progressivi.

Per la struttura del telaio "Nervi" il progetto definitivo delle opere di riqualificazione prevede una destinazione d'uso classificabile come ambiente suscettibile di affollamento (musei, sale d'esposizione...), a cui compete un carico accidentale di 5,00 kN/m² (cat. C3), secondo la vigente normativa D.M. 14/01/2008. Si ricorda inoltre che, come desumibile dalle targhe tutt'ora presenti all'interno della struttura, il valore di 5,00 kN/m² corrisponde al carico accidentale originario di progetto dei telai.



Figura 2.1 Viste interne della struttura "Nervi"

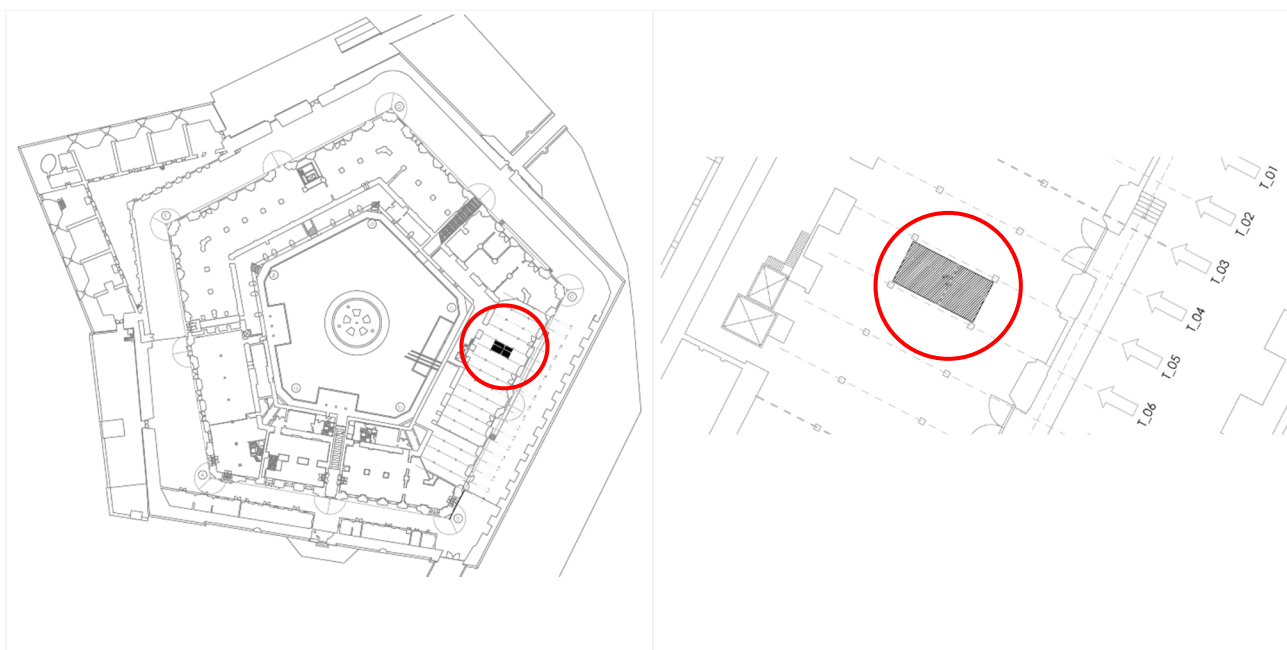


Figura 2.2 - Planimetria e particolare con individuazione del campo di soletta testato

La prova pertanto è progettata in modo da simulare l'intero valore dei sovraccarichi accidentali di esercizio previsti (carico uniformemente distribuito pari a $5,00 \text{ kN/m}^2$), essendo i carichi permanenti di progetto molto contenuti e stimabili circa pari al peso della parte di massetto attualmente presente sopra la soletta.

2.1 Frecche attese determinate con il modello agli elementi finiti

La ricerca degli spostamenti ed il calcolo delle sollecitazioni di progetto sono stati effettuati con un modello agli elementi finiti mediante il solutore SAP 2000 relativo alle porzioni di soletta significative, sia del solaio di seconda elevazione (dove la soletta è presente nel campo centrale e in

quelli laterali) che per quello della terza elevazione (dove la soletta è presente solo nel campo centrale tra i pilastri) (Figura 2.3 e Figura 2.4).

La prova di carico è effettuata posizionando il carico uniformemente distribuito su una impronta di dimensioni 3,0 m x 6,0 m, individuato al centro della campata (luce di 3,56 m) in direzione longitudinale ed al centro del telaio in direzione trasversale (nella zona tra i due pilastri). Il carico è applicato mediante un materasso ad acqua di analoghe dimensioni dell'impronta di carico.

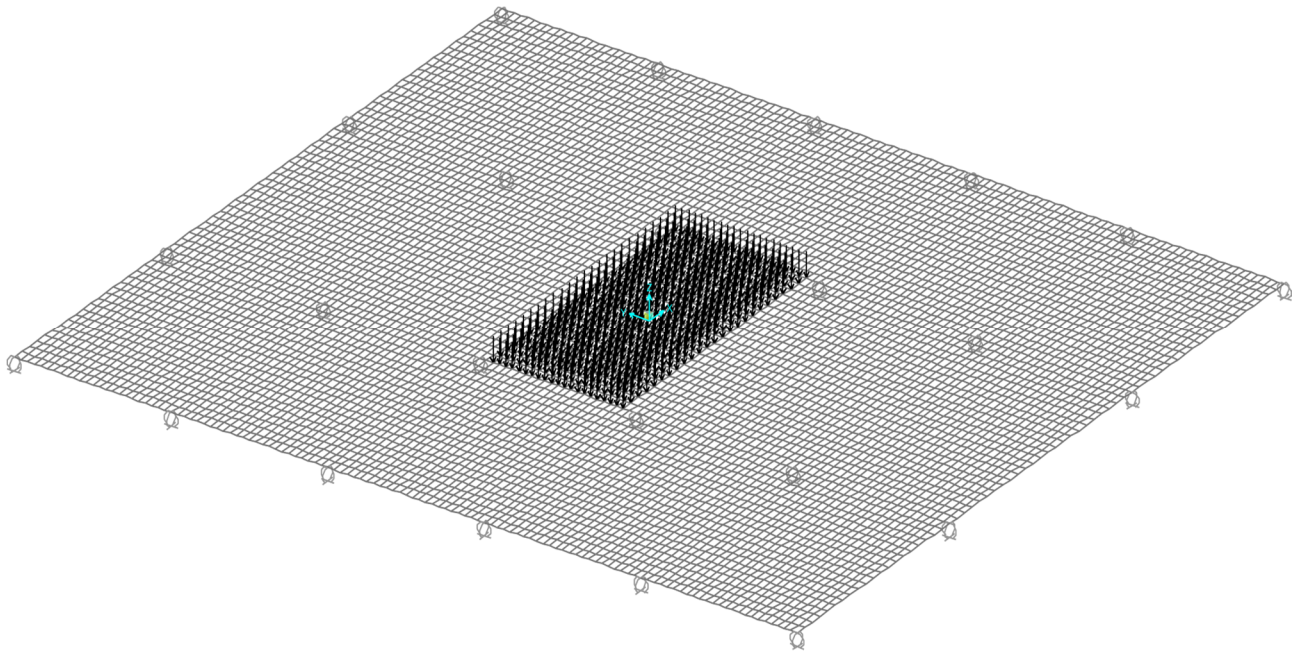


Figura 2.3 Modello agli elementi finiti e ubicazione del carico per prova (II elevazione)

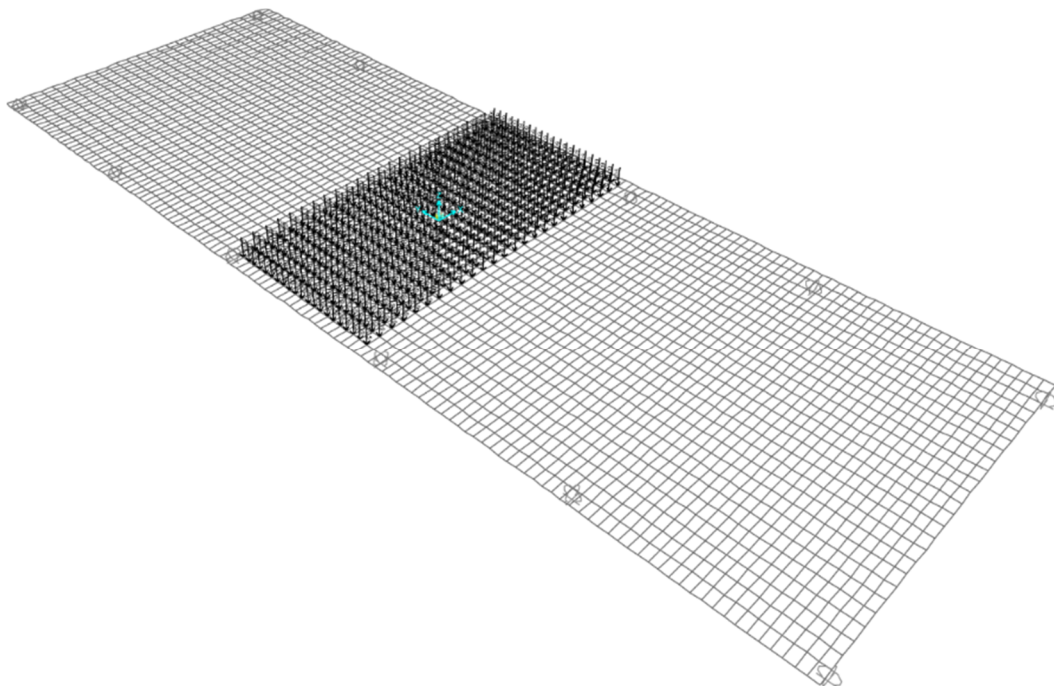


Figura 2.4 Modello agli elementi finiti e ubicazione del carico per prova (III elevazione)

Il modulo elastico E del calcestruzzo è stato valutato con la formulazione riportata al capitolo 11 del D.M. 14/01/2008

$$E = 22000 * \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0.3}$$

dove f_{cm} è la resistenza cilindrica media a compressione del calcestruzzo pari a 27,48 N/mm² (determinata a partire dalle prove su carote estratte in soletta, nella attuale campagna di prove sul cls descritta nel documento IS_07 "INDAGINI SULLE STRUTTURE (CALCESTRUZZO) - Relazione interpretativa delle prove sperimentali"). Per i modelli in esame il valore del modulo elastico E è assunto pari a 29793 N/mm².

Nelle tabelle e nei grafici seguenti, sono riportati i valori delle frecce attese in corrispondenza dei sensori di spostamento per ogni step di carico del modello di calcolo. In fase di progetto sono stati previsti incrementi di 1,0 kN/m² fino al valore di 3,0 kN/m² e successivi incrementi di 0,5 kN/m² fino al raggiungimento del carico di progetto di 5,0 kN/m². In fase di scarico si prevedono misurazioni a 4,0 kN/m², 2,0 kN/m² e a carico nullo.

Per l'individuazione delle posizioni dei punti di misura 1, 2, 3, 4 e 5 si faccia riferimento alle indicazioni riportate nei successivi paragrafi 4.1 e 4.2.

Prova soletta II elevazione

STEP	CARICO [kN/m ²]	PUNTO 1 [mm]	PUNTO 2 [mm]	PUNTO 3 [mm]	PUNTO 4 [mm]	PUNTO 5 [mm]
1	1,0	-0,12	-0,26	-0,33	-0,27	-0,12
2	2,0	-0,24	-0,52	-0,65	-0,54	-0,23
3	3,0	-0,37	-0,77	-0,98	-0,81	-0,35
4	3,5	-0,43	-0,90	-1,14	-0,94	-0,41
5	4,0	-0,49	-1,03	-1,31	-1,07	-0,47
6	4,5	-0,55	-1,16	-1,47	-1,21	-0,53
7	5,0	-0,61	-1,29	-1,63	-1,34	-0,59
8	4,0	-0,49	-1,03	-1,31	-1,07	-0,47
9	2,0	-0,24	-0,52	-0,65	-0,54	-0,23
10	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabella 2.1 Risultati delle frecce attese per la soletta della II elevazione

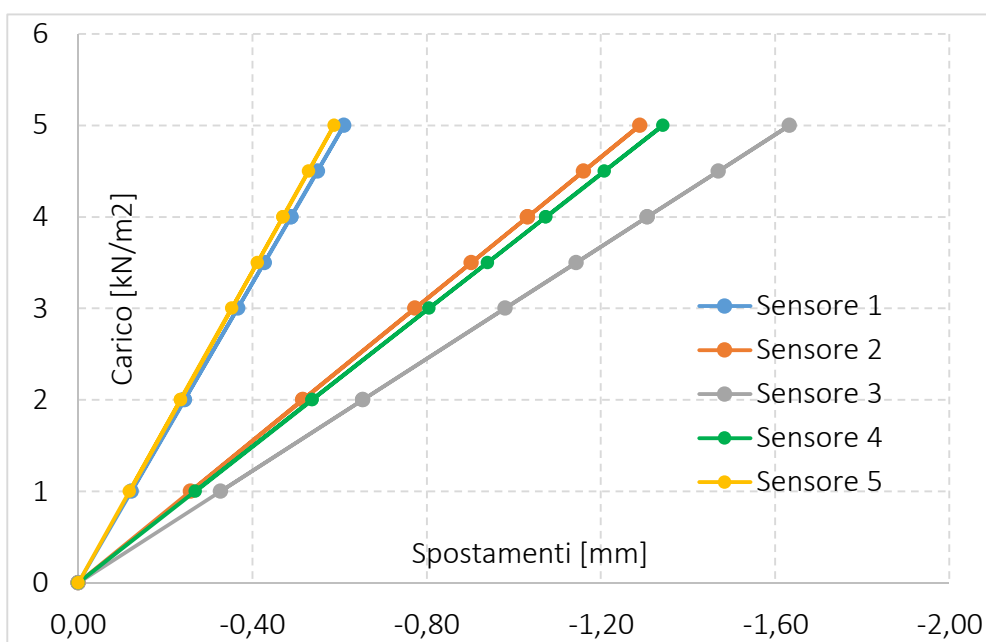


Grafico 2:1 Risultati delle frecce attese per la soletta della II elevazione

Prova soletta III elevazione

STEP	CARICO [kN/m ²]	PUNTO 1 [mm]	PUNTO 2 [mm]	PUNTO 3 [mm]	PUNTO 4 [mm]	PUNTO 5 [mm]
1	1,0	-0,27	-0,46	-0,54	-0,46	-0,20
2	2,0	-0,54	-0,91	-1,09	-0,91	-0,40
3	3,0	-0,82	-1,37	-1,63	-1,37	-0,61
4	3,5	-0,95	-1,60	-1,90	-1,60	-0,71
5	4,0	-1,09	-1,82	-2,18	-1,82	-0,81
6	4,5	-1,22	-2,05	-2,45	-2,05	-0,91
7	5,0	-1,36	-2,28	-2,72	-2,28	-1,01
8	4,0	-1,09	-1,82	-2,18	-1,82	-0,81
9	2,0	-0,54	-0,91	-1,09	-0,91	-0,40
10	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabella 2.2 Risultati frecce attese per la soletta della III elevazione

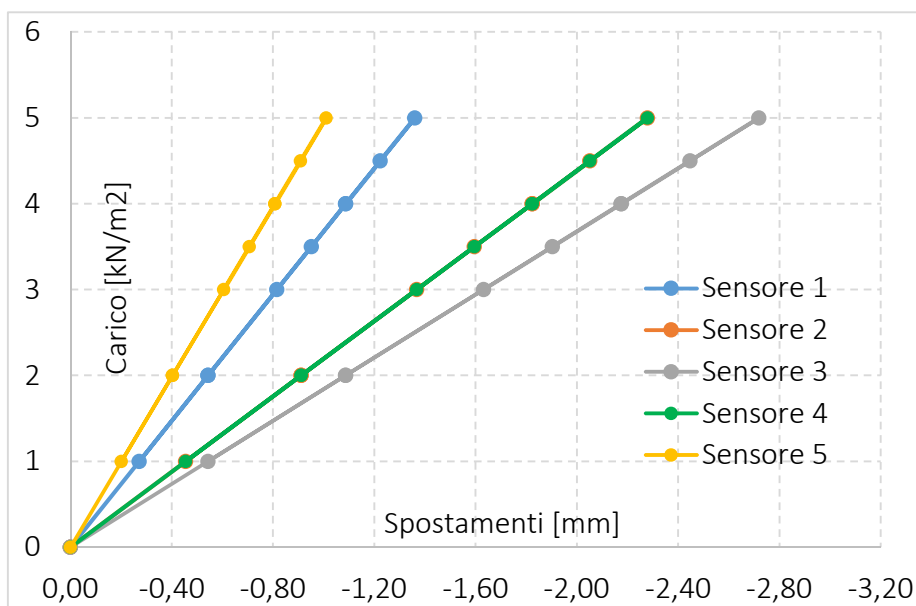


Grafico 2:2 Risultati frecce attese per la soletta della III elevazione

3 Strumentazione impiegata

La misura degli spostamenti verticali durante l'esecuzione delle prove di carico è stata rilevata attraverso l'impiego di trasduttori meccanici centesimali collegati a fili a piombo agganciati al solaio da testare e disposti nei punti significativi delle solette. I flessimetri sono stati fissati saldamente a terra mediante tubi in acciaio di altezza 1 m. Con tale metodologia i comparatori possono registrare in modo continuo gli spostamenti verticali dell'impalcato.

4 Esecuzione delle prove di carico

Le solette sulle quali sono state effettuate le prove sono quelle alla seconda e terza elevazione tra i telai 5 e 6 come indicato nella Figura 2.2. Ciascuna delle solette oggetto di prova viene caricata nella zona centrale mediante un carico di tipo statico uniformemente distribuito realizzato con un materasso/serbatoio in gomma, tale da avere un'impronta rettangolare di 3.0 m x 6.0 m, posto in opera dalla Ditta "Technogeo", esecutrice della prova e delle misurazioni.

Il carico è stato realizzato con incrementi di $1,0 \text{ kN/m}^2$ fino al carico di $3,0 \text{ kN/m}^2$, e proseguito con incrementi di $0,5 \text{ kN/m}^2$ fino al carico massimo di $5,0 \text{ kN/m}^2$. Per motivi legati alle tempistiche organizzative, la fase di scarico è stata eseguita passando per un carico di 250 kg/m^2 prima di arrivare allo scarico completo, in luogo dei due step previsti in fase di progettazione.

4.1 Prova di carico soletta II elevazione

I sensori di spostamento (comparatori meccanici centesimali) sono stati posizionati al di sotto della zona di carico in modo da monitorare gli spostamenti di punti significativi dell'intradosso delle solette. Per la misurazione delle deformazioni sono stati utilizzati in totale n° 5 flessimetri così disposti:

- n° 1 sulla trave di bordo in corrispondenza della mezzeria del telaio;
- n° 2 ad un quarto della luce longitudinale della soletta;
- n° 3 sulla linea di mezzeria longitudinale della soletta;
- n° 4 sulla linea di mezzeria longitudinale della soletta, distante 1,50 m dal flessimetro n° 3;
- n° 5 sulla linea di mezzeria longitudinale della soletta, distante 3,00 m dal flessimetro n° 3.

La disposizione nel dettaglio dei sensori è riportata nella Figura 4.1.

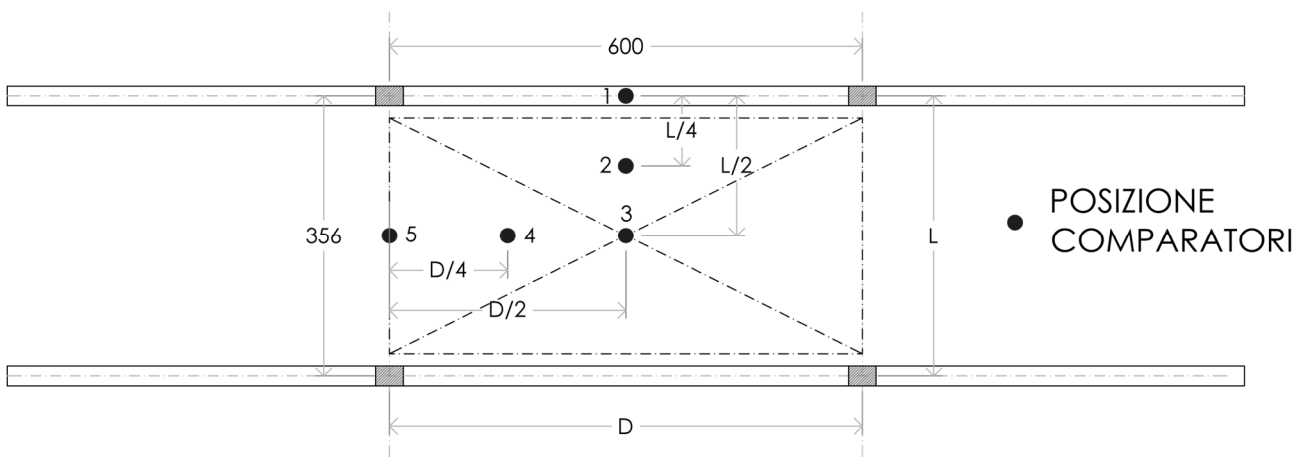


Figura 4.1 Disposizione dei comparatori e impronta di carico

La prova ha avuto inizio il giorno 2 marzo 2016 alle ore 10:35 con l'avvio delle procedure di carico precedute dalla lettura dei comparatori a solaio scarico. Durante l'esecuzione della prova di carico si è raggiunto il massimo valore previsto nella fase di progettazione. Il carico massimo distribuito $5,0 \text{ kN/m}^2$ è stato raggiunto alle ore 14:05 e si è ripetuta una lettura alle ore 14:50, dopo aver lasciato il solaio a pieno carico per poco meno di 1 ora. A solaio completamente scarico si sono effettuate due letture ai comparatori centesimali rispettivamente alle ore 15:55 ed alle ore 16:10 (orario del termine della prova). I risultati della prova di carico sono riportati nella Tabella 4.1 ed evidenziati nel diagramma seguente.

Prima di ogni lettura si è registrato il valore della temperatura all'interno dell'ambiente in cui erano posizionati i comparatori e tale valore, pari a $T = 14 - 14,5 \text{ }^\circ\text{C}$, è rimasto costante per tutta la durata della prova.



Foto 4.1 Disposizione carico soletta II elevazione



Foto 4.2 Posizione dei sensori di spostamento

4.1.1 Risultati della prova

STEP	CARICO [kN/m ²]	PUNTO 1 [mm]	PUNTO 2 [mm]	PUNTO 3 [mm]	PUNTO 4 [mm]	PUNTO 5 [mm]
	Carico					
1	0	0	0	0	0	0
2	1,0	0,03	0,11	0,12	0,12	0,04
3	2,0	0,11	0,31	0,38	0,35	0,14
4	3,0	0,21	0,55	0,69	0,64	0,27
5	3,5	0,25	0,63	0,79	0,75	0,33
6	4,0	0,29	0,69	0,89	0,82	0,42
7	4,5	0,31	0,79	0,99	0,88	0,45
8	5,0	0,35	0,9	1,14	0,97	0,45
	Scarico					
9	2,5	0,17	0,34	0,44	0,36	0,2
10	0,0	0	0	0,01	0	0

Tabella 4.1 Dati rilevati prova II elevazione

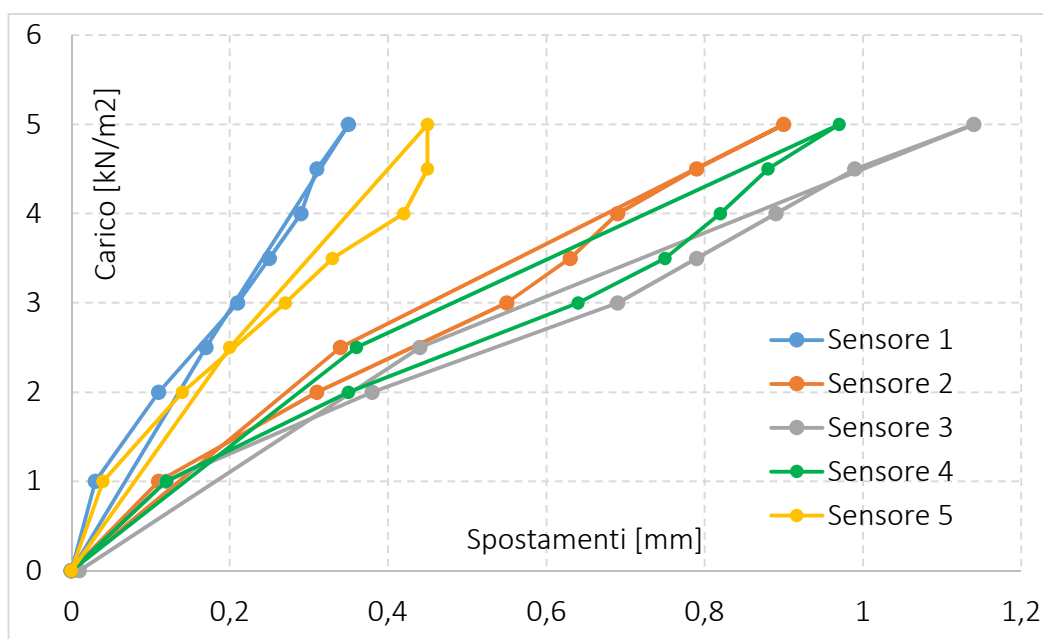


Grafico 4:1 Risultati freccia prova II elevazione

4.2 Prova di carico soletta III elevazione

I sensori di spostamento (comparatori meccanici centesimali) sono stati posizionati al di sotto della zona di carico in modo da monitorare gli spostamenti di punti significativi dell'intradosso della soletta. Per la misurazione delle deformazioni sono stati utilizzati in totale n° 5 flessimetri così disposti:

- n° 1 sulla trave di bordo in corrispondenza della mezzeria del telaio;
- n° 2 ad un quarto della luce longitudinale della soletta;
- n° 3 sulla linea di mezzeria longitudinale della soletta;
- n° 4 sulla linea di mezzeria longitudinale della soletta, distante 1,50 m dal flessimetro n° 3;
- n° 5 sulla linea di mezzeria longitudinale della soletta, distante 3,00 m dal flessimetro n° 3.

La disposizione nel dettaglio dei sensori è riportata nella Figura 4.2.

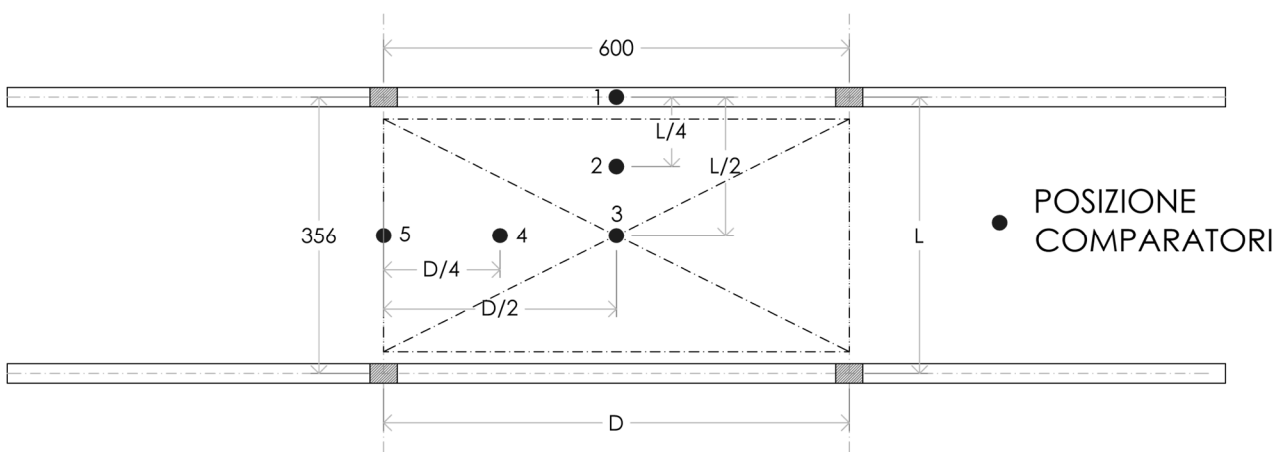


Figura 4.2 Disposizione dei comparatori e impronta di carico

La prova ha avuto inizio il giorno 3 marzo 2016 alle ore 12:10 con l'avvio delle procedure di carico precedute dalla lettura dei comparatori a solaio scarico. Durante l'esecuzione della prova di carico si è raggiunto il massimo valore previsto nella fase di progettazione. Il carico massimo distribuito $5,0 \text{ kN/m}^2$ è stato raggiunto alle ore 13:32 e si è ripetuta una lettura alle ore 14:25, dopo aver lasciato il solaio a pieno carico per 1 ora. A solaio completamente scarico si sono effettuate due letture ai comparatori centesimali rispettivamente alle ore 15:03 ed alle ore 15:22 (orario del termine della prova). I risultati della prova di carico sono riportati nella Tabella 4.2 ed evidenziati nel diagramma seguente.

Prima di ogni lettura si è registrato il valore della temperatura all'interno dell'ambiente in cui erano posizionati i comparatori e tale valore è variato da un minimo di $11,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ad un massimo di $14,0 \text{ }^\circ\text{C}$ durante l'esecuzione della prova.



Foto 4.3 Disposizione carico



Foto 4.4 Posizione dei sensori di spostamento

4.2.1 Risultati della prova

STEP	CARICO [kN/m ²]	PUNTO 1 [mm]	PUNTO 2 [mm]	PUNTO 3 [mm]	PUNTO 4 [mm]	PUNTO 5 [mm]
	Carico					
1	0,0	0	0	0	0	0
2	1,0	0,13	0,32	0,45	0,38	0,21
3	2,0	0,11	0,5	0,73	0,63	0,36
4	3,0	0,24	0,7	1,15	0,93	0,58
5	3,5	0,38	0,89	1,32	1,07	0,66
6	4,0	0,49	0,99	1,42	1,22	0,74
7	4,5	0,54	1,14	1,66	1,38	0,83
8	5,0	0,62	1,32	1,87	1,56	0,95
	Scarico					
9	2,5	0,35	0,75	1,1	0,93	0,57
10	0	0	0	0,01	0	0

Tabella 4.2 Dati rilevati prova III elevazione

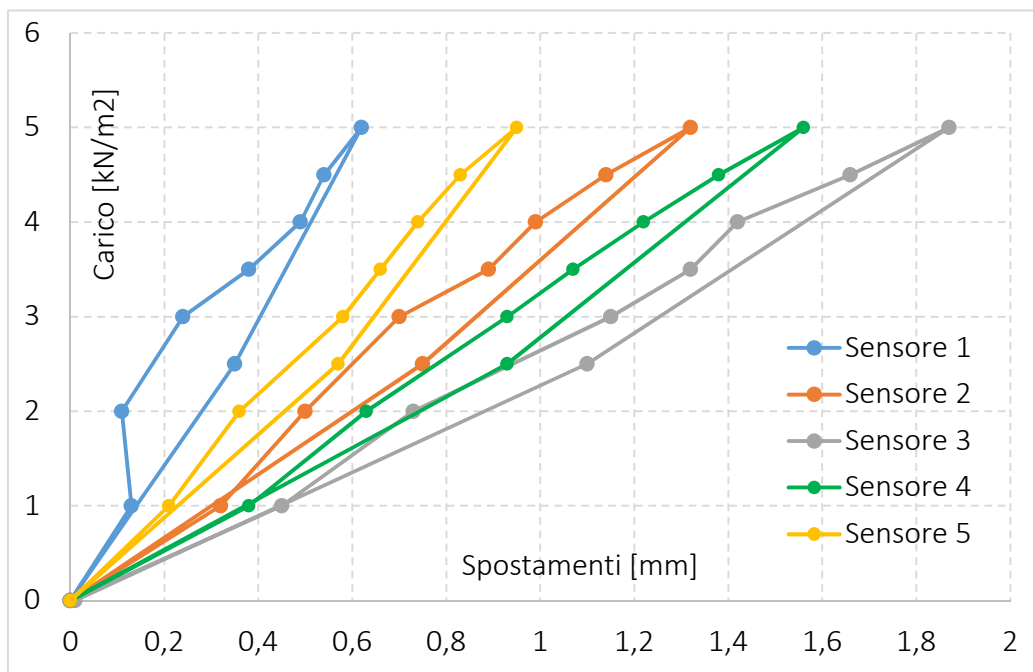


Grafico 4:2 Risultati freccia prova III elevazione

5 Esito delle prove

Le prove di carico per entrambe le solette hanno avuto un esito soddisfacente mostrando un comportamento pressoché lineare fino al carico massimo (alcune differenze rispetto alla linearità sono comparabili al grado di precisione della strumentazione utilizzata), con frecce residue pari allo zero. L'entità delle frecce massime è risultata inferiore a quelle previste in progetto.