



PROVE IN SITO - LABORATORIO PROVE MATERIALI

4 EMME SERVICE S.p.A. - 39100 BOLZANO - ITALY - Via L. Zuegg, 20



**INDAGINI SPERIMENTALI PRESSO LA
"SCUOLA MEDIA XXXXXXXXXXXXXXXX"
SITA A ODOLO (BS)**

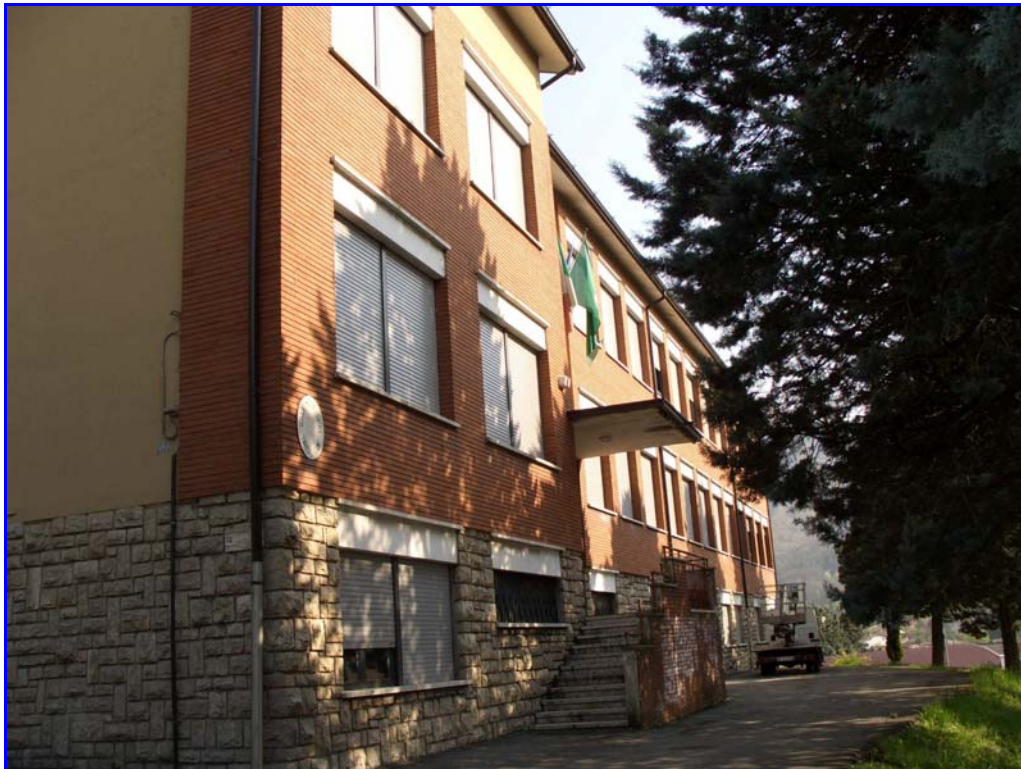
PROVE N. 3500÷3507/VR

09-10 aprile 2009

Committente: **Comune di XXXXXXXXX**

Tecnico Incaricato: **dott. ing. XXXXXXXXXXXX**

Relatore: **dott. ing. Andrea Palermo**



Scuola Media XXXXXXXXXX

RIF.: NAS 011/3500÷3507/VR

Verona, 28 aprile 2009



INDICE

1	PREMESSA	3
1.1	DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA.....	4
2	PROVE DI CARICO – N° 3500÷3504/VR.....	5
2.1	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	5
2.2	PARAMETRI DI CONTROLLO.....	6
2.3	PLANIMETRIE CON UBICAZIONE DELLE PROVE DI CARICO.....	7
2.4	SOLAIO DEL PRIMO ORIZZONTAMENTO – PROVA N° 3500/VR.....	9
2.5	SOLAIO DEL PRIMO ORIZZONTAMENTO – PROVA N° 3501/VR.....	12
2.6	SOLAIO DEL SECONDO ORIZZONTAMENTO – PROVA N° 3502/VR.....	15
2.7	SOLAIO DEL TERZO ORIZZONTAMENTO – PROVA N° 3503/VR.....	18
2.8	SOLAIO DEL TERZO ORIZZONTAMENTO – PROVA N° 3504/VR.....	21
3	PROVE CON MARTINETTI PIATTI – N° 3505÷3506/VR.....	24
3.1	RILIEVO IN SITO DELLE TENSIONI D'ESERCIZIO	24
3.2	MISURA DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE.....	25
3.3	DESCRIZIONE DELLE ATTREZZATURE UTILIZZATE	26
3.4	PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE PROVE.....	27
3.5	RISULTATI DELLE PROVE CON MARTINETTI PIATTI.....	28
3.5.1	Muro di spina- Prova n° 3505/VR	28
3.5.2	Muro lato ovest - Prova n° 3506/VR	35
4	PRELIEVI MEDIANTE CAROTAGGI Ø100 - N° 3507/VR.....	42
4.1	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	42
4.2	PLANIMETRIA CON UBICAZIONE CAROTAGGI.....	42
4.3	RISULTATI DEI CAROTAGGI	43



1 PREMESSA

La Società *4 EMME Service S.p.A.*, specializzata nell'esecuzione di prove sperimentali su strutture in sito è stata incaricata dal XXXXXXXXXXXX di eseguire una serie di indagini sperimentali necessarie alla caratterizzazione strutturale della Scuola Media "XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX"

Le indagini sperimentali, concordate preventivamente con il Tecnico Incaricato **dott. ing. XXXXXXXXXXXX**, vengono così suddivise:

- 5 prove di carico con martinetti oleodinamici su solai in latero cemento;
- 2 prove con martinetti piatti singoli e doppi;
- 3 carotaggi con corona Ø100 mm.

Le indagini sono state eseguite nei giorni **09 e 10 aprile 2009**.

Alle indagini sperimentali hanno assistito:

dott. ing.	XXXXXXXXXX	Tecnico Incaricato
geom.	XXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXX

e per la 4 EMME Service S.p.A.:

geom.	Paolo	Bassi
geom.	Simone	Marcolini
dott. ing.	Andrea	Palermo
geom.	Moreno	Mantovani



1.1 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

La scuola media “xxxxxxxxxxxxxxxxx ha pianta irregolare riconducibile pressoché ad un rettangolo ed è costituita da 4 livelli di cui uno parzialmente interrato e gli altri fuori terra (piano rialzato, piano primo e sottotetto).

Il piano interrato ha struttura costituita in muratura mista di pietrame e malta mentre gli altri livelli hanno struttura portante in muratura di mattoni. I solai sono latero-cementizi e la copertura a falde inclinate è in latero cemento



Foto 1: Prospetto sud della scuola



Foto 2: Lato ovest dell'edificio



2 PROVE DI CARICO – N° 3500÷3504/VR

2.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Collaudatore GS03

La rilevazione delle deformazioni è stata effettuata con l'attrezzatura denominata GS03 costituita da:

- unità computerizzata di registrazione delle deformazioni GS03;
- trasduttori di spostamento di tipo LVDT modello *Schaevitz E 200 HQ*;
- cella di carico bidirezionale classe 1 modello *TCQ 200 kN*;
- software di elaborazione *4 Emme Service*.

Trasduttori di spostamento

I trasduttori di spostamento sono portati a contatto dell'intradosso attraverso apposite aste telescopiche. La catena di misura, *sensore-cavo-unità*, comporta un errore massimo pari al $\pm 1\%$. I sensori impiegati hanno le seguenti caratteristiche:

<i>escursione</i>	<i>10 mm</i>
<i>sensibilità</i>	<i>0,002 mm</i>
<i>linearità</i>	<i>99,6%</i>

Cella di carico

La cella di carico, collegata al display alfanumerico, è uno strumento a funzionamento estensimetrico che consente di rilevare il valore della forza applicata. La cella è installata direttamente su uno dei martinetti utilizzati per l'applicazione del carico. La catena di misura, *strumento-cavo-unità*, comporta un errore massimo pari a $\pm 1,5\%$. La cella di carico ha le seguenti caratteristiche:

<i>escursione</i>	<i>± 250 kN</i>
<i>sensibilità</i>	<i>10 daN</i>
<i>linearità</i>	<i>99,4%</i>

Calibrazione

La calibrazione è stata effettuata in data *11 giugno 2008* e documentata col *Certificato di Taratura n. 505/08*. Tutti gli strumenti sono stati tarati dal Laboratorio della *4 EMME Service S.p.A.* utilizzando dei sensori campione come previsto dalla procedura 7.6 del "*Manuale Qualità*".



2.2 PARAMETRI DI CONTROLLO

Nella prova sperimentale durante il carico delle strutture oltre alla freccia e al carico sono costantemente, ed in tempo reale, tenuti sotto controllo tre ulteriori parametri: Linearità, Ripetibilità e Permanenza.

Ripetibilità: è il rapporto percentuale, a parità di carico, tra i valori della freccia (depurata del residuo) di due cicli diversi.

Linearità: è il rapporto percentuale tra le tangenti alla curva di isteresi passanti per i punti individuati dall'ultimo e dal primo carico.

Permanenza: è il rapporto percentuale tra il residuo e la freccia massima.

Questi parametri con:

Ripetibilità > 95 % Linearità > 85 % Permanenza < 5 %

non rappresentano un limite invalicabile ma un'analisi statistica su una grande quantità di prove eseguite. Non superando questi limiti, si rientra in un comportamento d'insieme che corrisponde a solai progettati per resistere a determinati carichi.



2.3 PLANIMETRIE CON UBICAZIONE DELLE PROVE DI CARICO

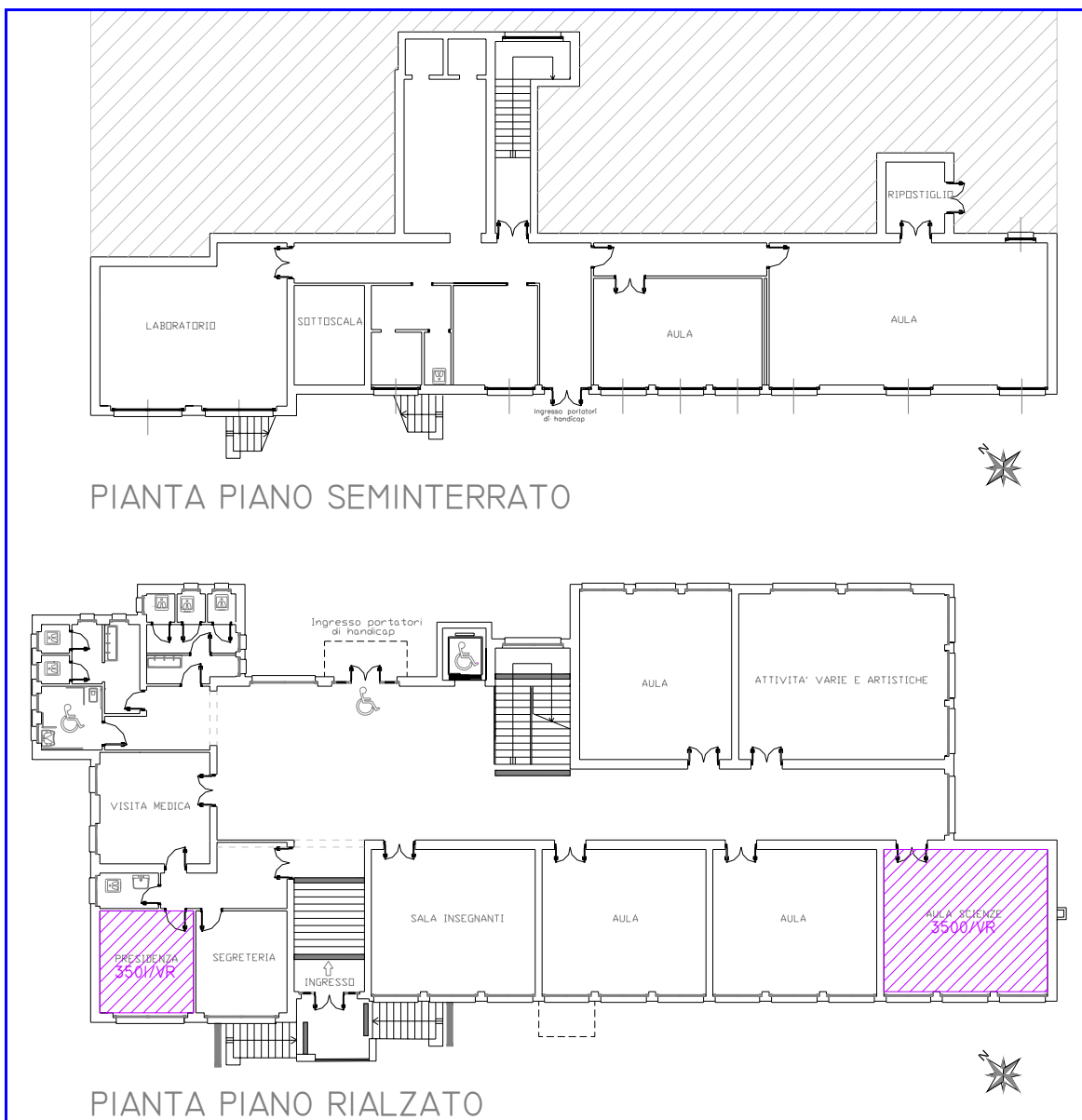


Fig. 1: Planimetria piani interrato e rialzato con ubicazione delle prove di carico

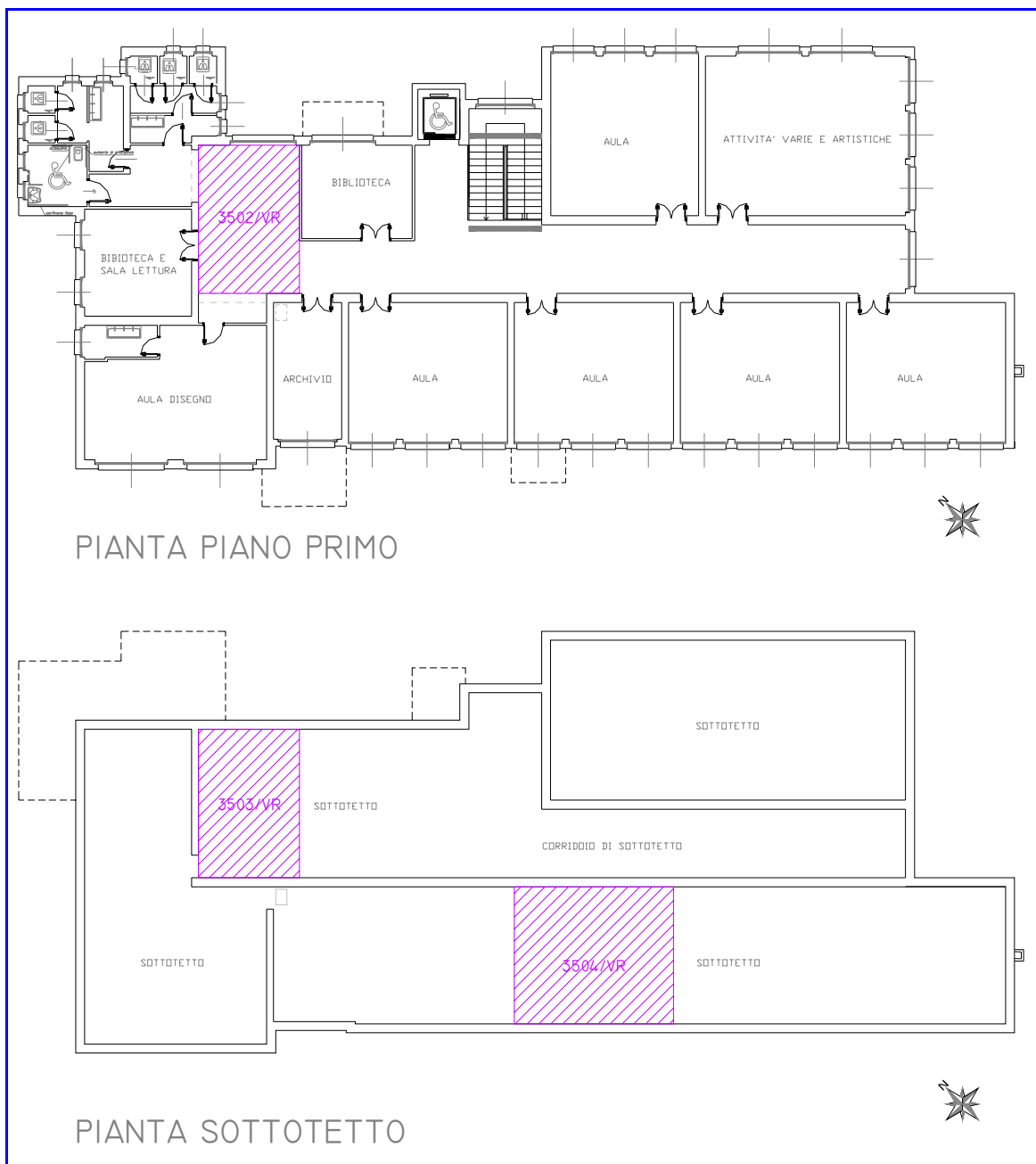


Fig. 2: Planimetrie 1° piano e sottotetto con ubicazione delle prove di carico



2.4 SOLAIO DEL PRIMO ORIZZONTAMENTO – PROVA N° 3500/VR

La prova di carico è stata eseguita per verificare l'idoneità statica di un solaio in latero cemento del primo orizzontamento, zona nord dell'edificio scolastico.

La luce netta del solaio è di 6,05 m; il carico previsto e concordato preventivamente con il Tecnico Incaricato dott. ing. Stefano Tortella è pari a $q = 4,00 \text{ kN/m}^2$.

La prova di carico è stata eseguita con il sistema oleodinamico, che consiste nel generare lo stesso momento flettente che si otterrebbe col carico distribuito attraverso l'utilizzo di forze concentrate su una striscia larga 1 metro.

Il carico è stato applicato a "spinta" mediante l'utilizzo di un martinetto oleodinamico posizionato in mezzeria al solaio esaminato e contrastato dal solaio superiore.

Sono stati eseguiti 3 cicli di carico/scarico.



Foto 3: Martinetto oleodinamico utilizzato per l'applicazione del carico



Foto 4: Sensori per rilevare i cedimenti in tempo reale

In funzione dei parametri utilizzati la forza equivalente risulta essere:

$$F_{eq} = C_v \times b \times q \times L = \mathbf{27,88 \text{ kN}}$$

dove:

carico previsto $q = 4,00 \text{ kN/m}^2$;

coefficiente di vincolo $C_v = 0,40$;

fascia collaborante $b = 2,88 \text{ m}$;

luce $L = 6,05 \text{ m}$.



Schema ubicazione carico e sensori

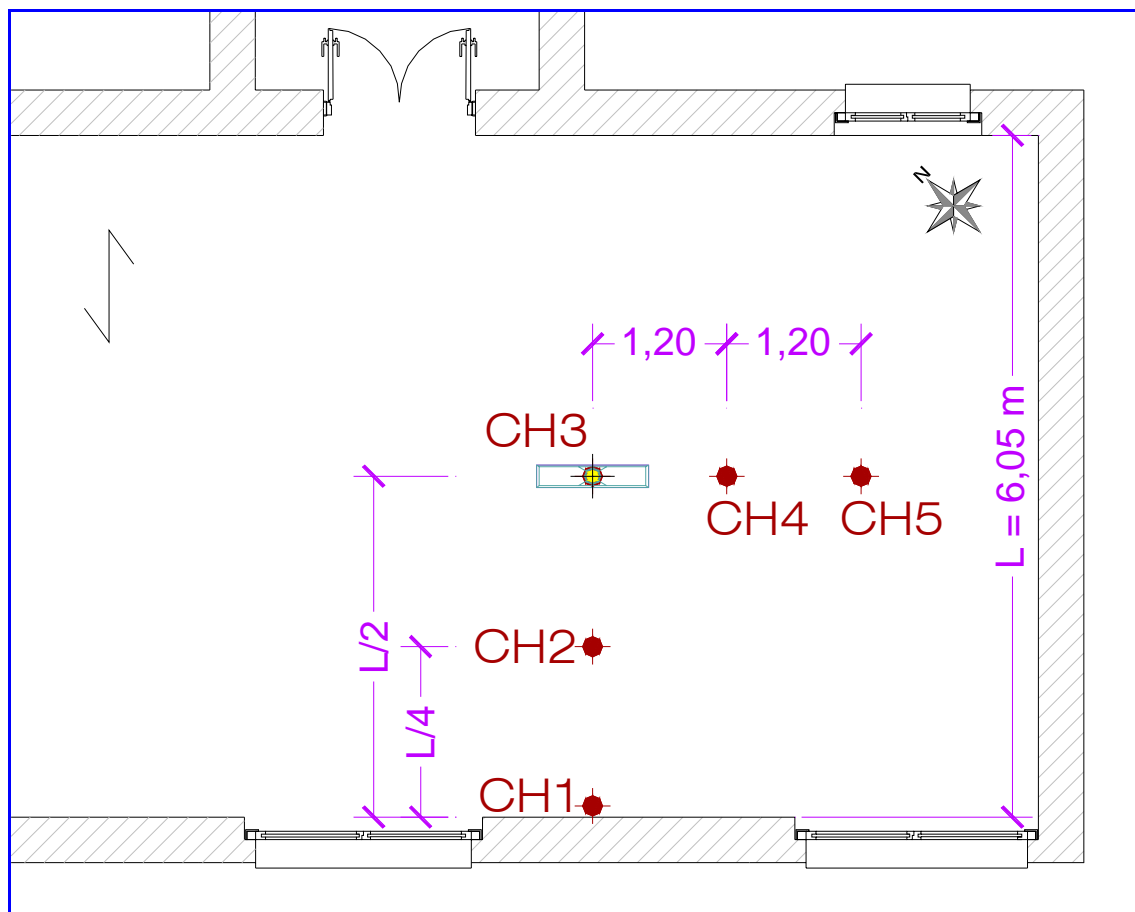


Fig. 3: Schema con ubicazione impronta di carico e sensori



Risultati della prova – III ciclo di carico/scarico

Forza (kN)	Carico (kN/m ²)	F r e c c e					Tempo (h.m.s.)	Linearità % (CH 3)
		CH 1 (mm)	CH 2 (mm)	CH 3 (mm)	CH 4 (mm)	CH 5 (mm)		
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10.21.23	-
6,0	0,86	0,01	0,14	0,31	0,15	0,06	10.22.37	-
12,0	1,72	0,01	0,29	0,65	0,30	0,14	10.23.25	95
18,0	2,58	0,02	0,43	0,98	0,47	0,19	10.24.39	95
24,0	3,44	0,02	0,57	1,31	0,62	0,26	10.25.34	95
28,0	4,02	0,03	0,69	1,54	0,74	0,31	10.26.38	93
28,0	4,02	0,04	0,72	1,66	0,81	0,35	10.41.15	87
24,0	3,44	0,04	0,67	1,50	0,72	0,31	10.42.29	-
18,0	2,58	0,03	0,54	1,24	0,56	0,25	10.43.30	-
12,0	1,72	0,02	0,39	0,93	0,41	0,18	10.44.25	-
6,0	0,86	0,02	0,24	0,57	0,23	0,13	10.45.38	-
0,0	0,00	0,01	0,06	0,14	0,06	0,04	10.46.55	-

Ripetibilità (%)	Linearità media (%)	Linearità minima (%)	Permanenza (%)	Area ist./carico (%)
98	93	87	8	24,71

Curva di isteresi per il carico distribuito

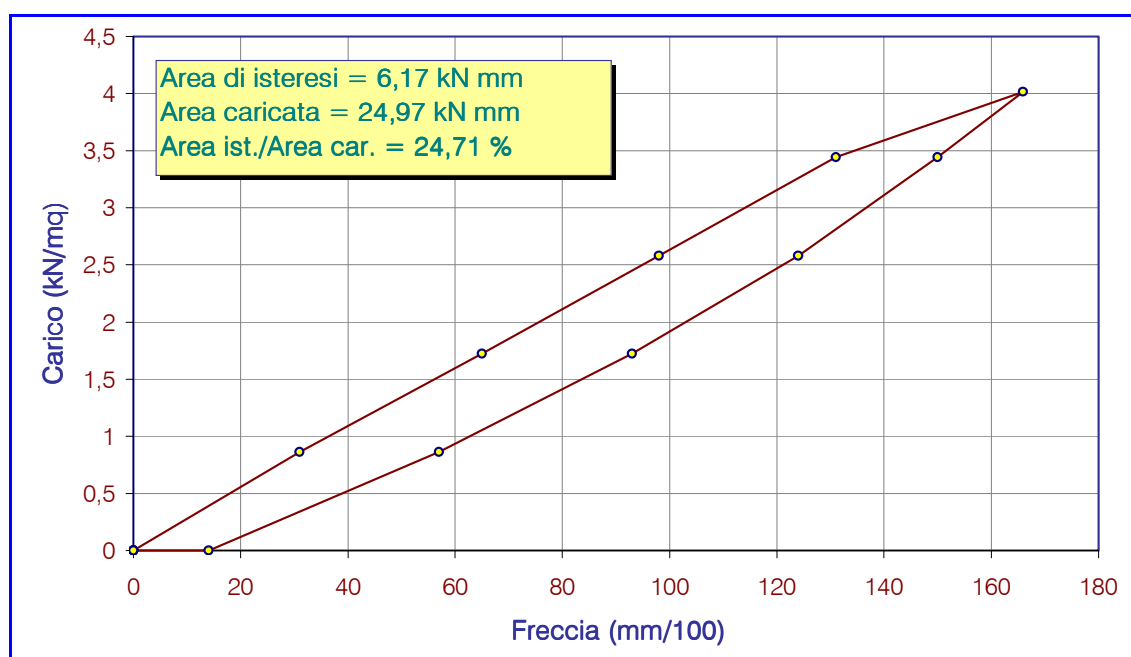


Fig. 4: Grafico rappresentativo dell'area di isteresi per il carico raggiunto (CH 3)



2.5 SOLAIO DEL PRIMO ORIZZONTAMENTO – PROVA N° 3501/VR

La prova di carico è stata eseguita per verificare l'idoneità statica di un solaio in latero cemento del primo orizzontamento, zona sud dell'edificio scolastico.

La luce netta del solaio è di 5,90 m; il carico previsto e concordato preventivamente con il Tecnico Incaricato dott. ing. Stefano Tortella è pari a $q = 4,00 \text{ kN/m}^2$.

Sono stati eseguiti 3 cicli di carico/scarico.



Foto 5: Martinetto oleodinamico utilizzato per l'applicazione del carico



Foto 6: Sensori per rilevare i cedimenti in tempo reale

In funzione dei parametri utilizzati la forza equivalente risulta essere:

$$F_{eq} = C_v \times b \times q \times L = \mathbf{25,11 \text{ kN}}$$

dove:

carico previsto $q = 4,00 \text{ kN/m}^2$;

coefficiente di vincolo $C_v = 0,40$;

fascia collaborante $b = 2,66 \text{ m}$;

luce $L = 5,90 \text{ m}$.



Schema ubicazione carico e sensori

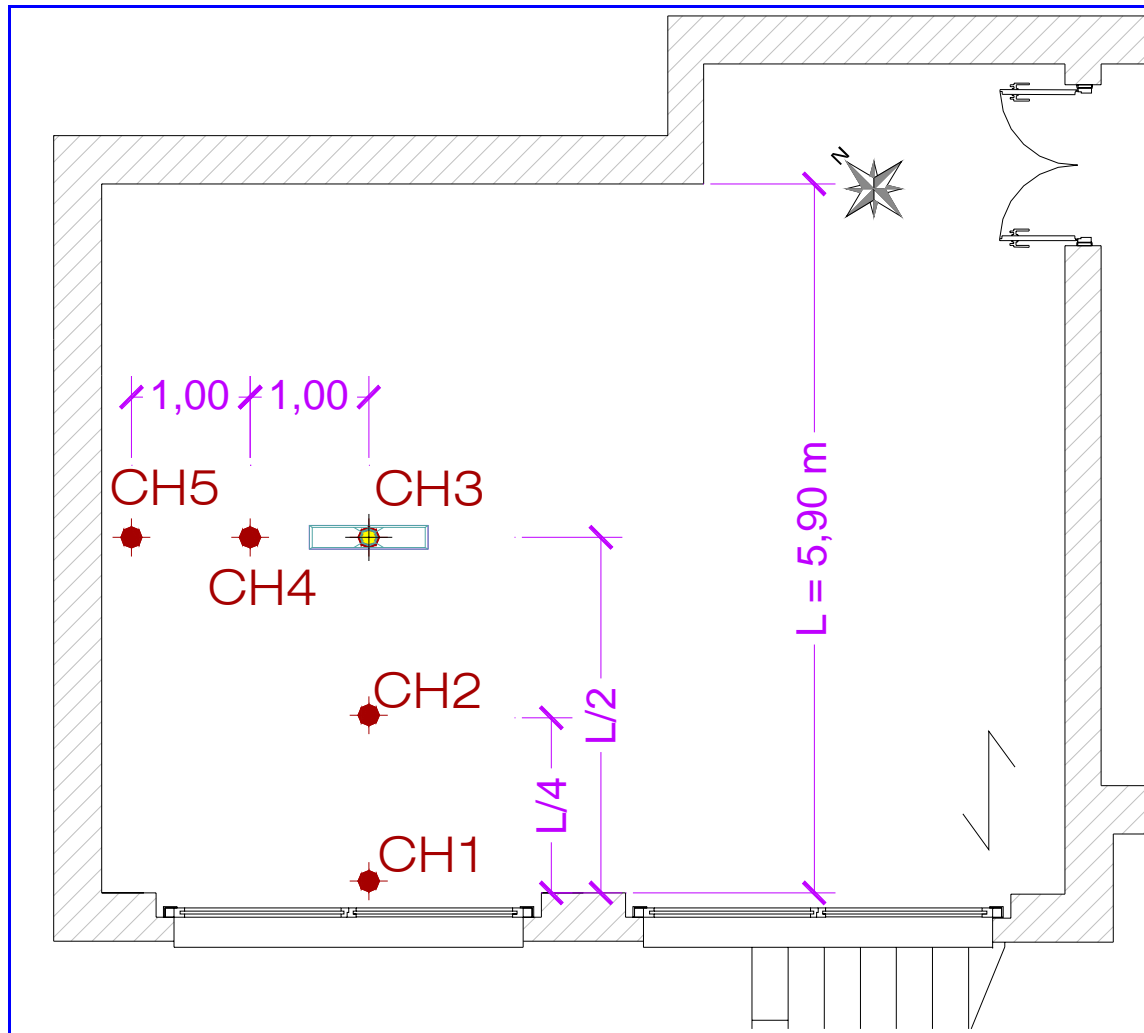


Fig. 5: Schema con ubicazione impronta di carico e sensori



Risultati della prova – III ciclo di carico/scarico

Forza (kN)	Carico (kN/m ²)	F r e c c e					Tempo (h.m.s.)	Linearità % (CH 3)
		CH 1 (mm)	CH 2 (mm)	CH 3 (mm)	CH 4 (mm)	CH 5 (mm)		
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11.45.45	-
6,0	0,96	0,02	0,17	0,30	0,19	0,08	11.46.35	-
12,0	1,91	0,05	0,35	0,63	0,37	0,16	11.47.36	95
18,0	2,87	0,08	0,58	1,04	0,62	0,25	11.48.35	87
26,0	4,14	0,11	0,85	1,57	0,92	0,38	11.49.46	83
26,0	4,14	0,11	0,87	1,60	0,94	0,39	11.59.59	81
18,0	2,87	0,10	0,68	1,23	0,70	0,28	12.01.55	-
12,0	1,91	0,07	0,47	0,85	0,48	0,20	12.02.56	-
6,0	0,96	0,04	0,27	0,47	0,25	0,10	12.03.42	-
0,0	0,00	0,01	0,04	0,06	0,03	0,01	12.04.47	-

Ripetibilità (%)	Linearità media (%)	Linearità minima (%)	Permanenza (%)	Area ist./carico (%)
96	86	81	4	17,23

Curva di isteresi per il carico distribuito

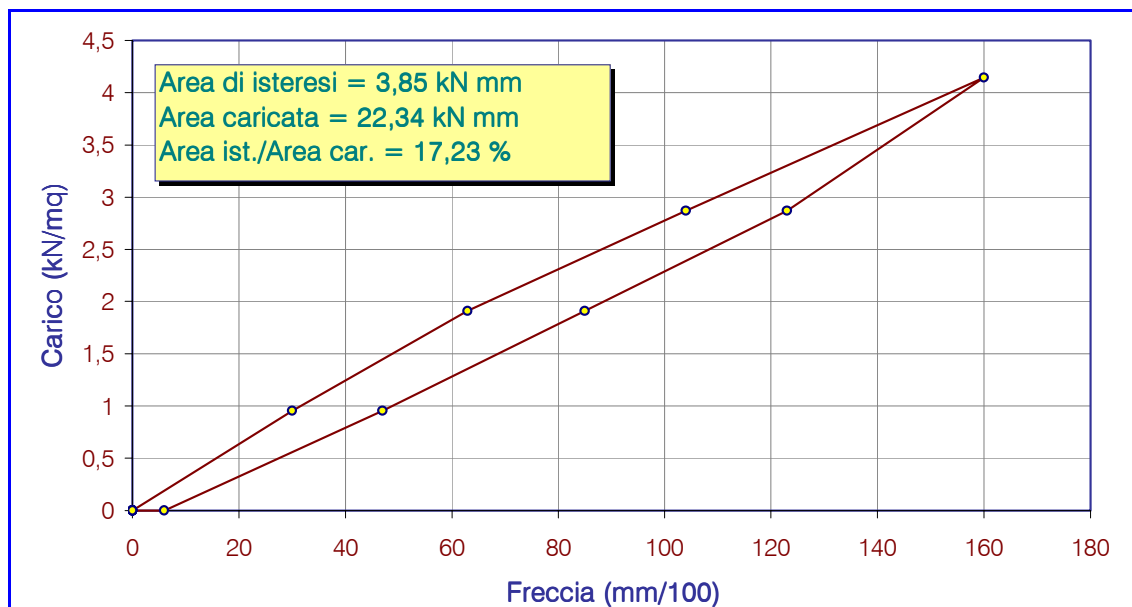


Fig. 6: Grafico rappresentativo dell'area di isteresi per il carico raggiunto (CH 3)



2.6 SOLAIO DEL SECONDO ORIZZONTAMENTO – PROVA N° 3502/VR

La prova di carico è stata eseguita per verificare l' idoneità statica di un solaio in latero cemento del secondo orizzontamento, zona sud dell' edificio scolastico.

La luce netta del solaio è di 6,45 m; il carico previsto e concordato preventivamente con il Tecnico Incaricato dott. ing. Stefano Tortella è pari a $q = 4,00 \text{ kN/m}^2$.

Sono stati eseguiti 4 cicli di carico/scarico.



Foto 7: Martinetto oleodinamico utilizzato per l'applicazione del carico



Foto 8: Sensori per rilevare i cedimenti in tempo reale

In funzione dei parametri utilizzati la forza equivalente risulta essere:

$$F_{eq} = C_v \times b \times q \times L = \mathbf{26,42 \text{ kN}}$$

dove:

carico previsto $q = 4,00 \text{ kN/m}^2$;

coefficiente di vincolo $C_v = 0,40$;

fascia collaborante $b = 2,56 \text{ m}$;

luce $L = 6,45 \text{ m}$.



Schema ubicazione carico e sensori

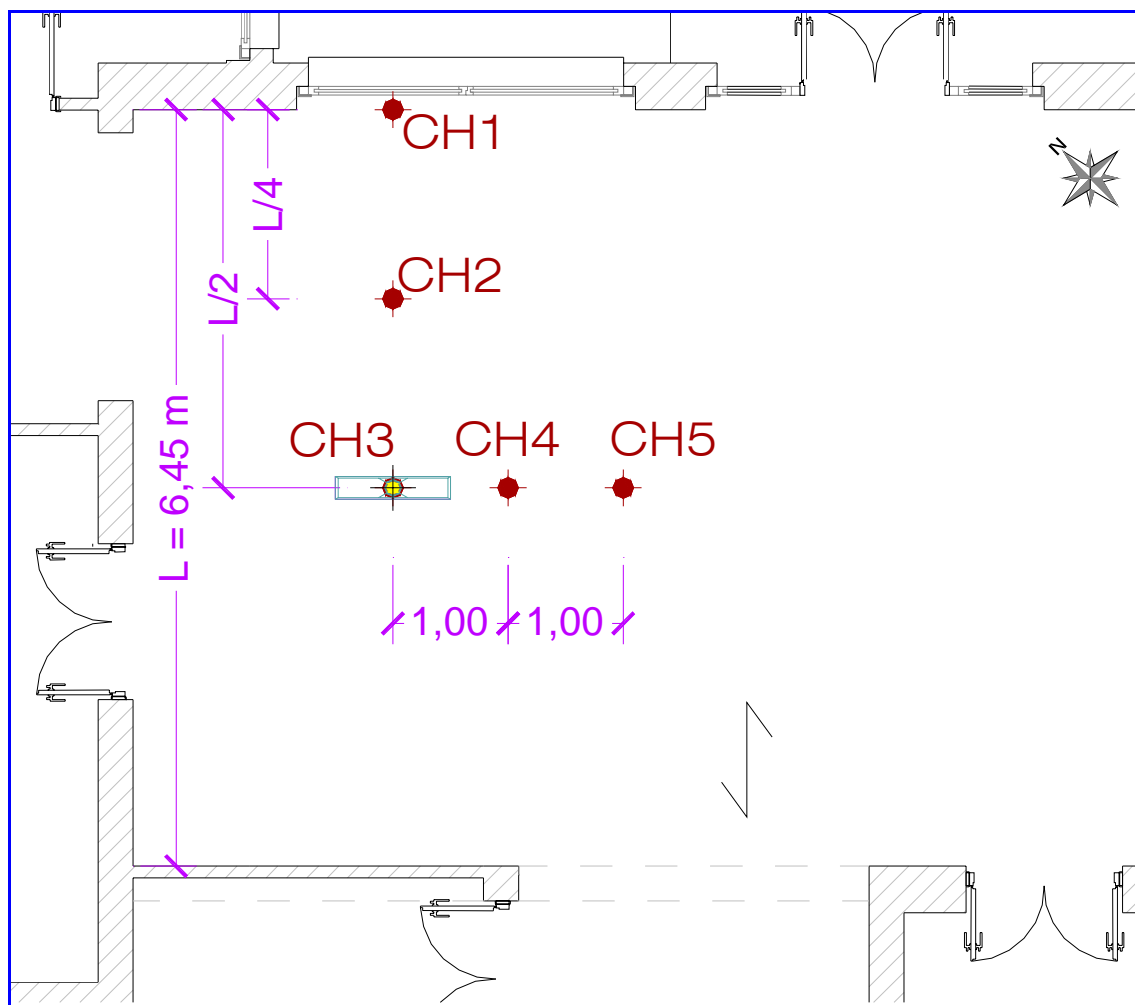


Fig. 7: Schema con ubicazione impronta di carico e sensori



Risultati della prova – IV ciclo di carico/scarico

Forza (kN)	Carico (kN/m ²)	F r e c c e					Tempo (h.m.s.)	Linearità % (CH 3)
		CH 1 (mm)	CH 2 (mm)	CH 3 (mm)	CH 4 (mm)	CH 5 (mm)		
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10.11.38	-
7,0	1,06	0,01	0,06	0,11	0,06	0,01	10.13.56	-
14,0	2,12	0,02	0,12	0,25	0,13	0,04	10.15.40	88
21,0	3,18	0,04	0,19	0,38	0,21	0,09	10.17.24	87
28,0	4,24	0,05	0,26	0,52	0,27	0,12	10.19.13	85
28,0	4,24	0,06	0,28	0,55	0,29	0,14	10.29.06	80
21,0	3,18	0,06	0,23	0,45	0,23	0,11	10.31.02	-
14,0	2,12	0,04	0,17	0,33	0,18	0,08	10.33.02	-
7,0	1,06	0,03	0,10	0,18	0,11	0,04	10.35.02	-
0,0	0,00	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	10.37.04	-

Ripetibilità (%)	Linearità media (%)	Linearità minima (%)	Permanenza (%)	Area ist./carico (%)
96	85	80	4	19,4

Curva di isteresi per il carico distribuito

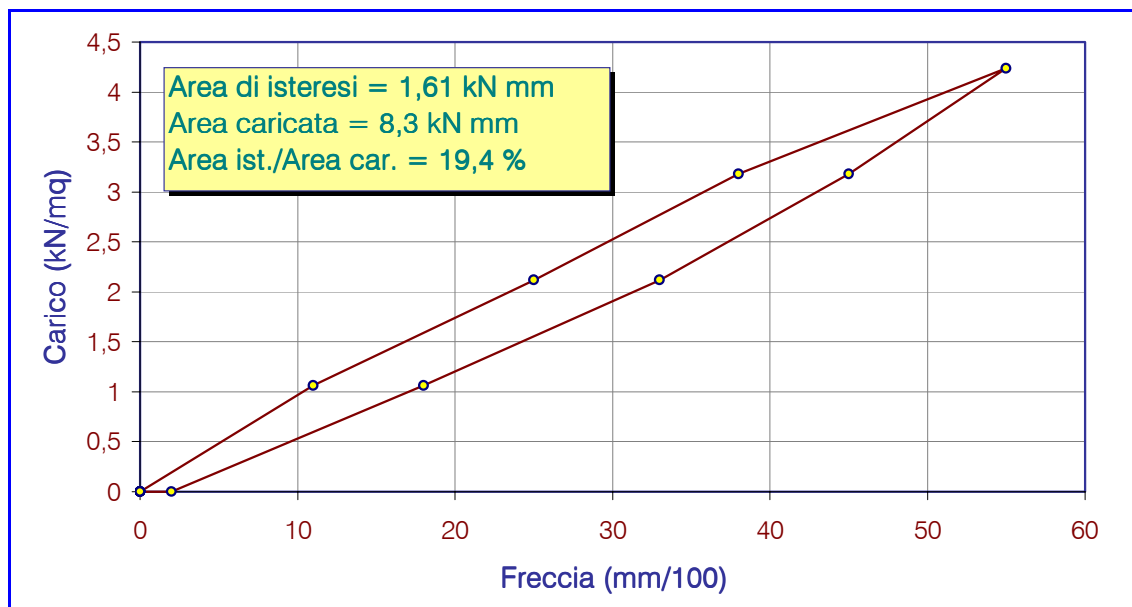


Fig. 8: Grafico rappresentativo dell'area di isteresi per il carico raggiunto (CH 3)



2.7 SOLAIO DEL TERZO ORIZZONTAMENTO – PROVA N° 3503/VR

La prova di carico è stata eseguita per verificare l' idoneità statica di un solaio in latero cemento del terzo orizzontamento, zona sud dell' edificio scolastico.

La luce netta del solaio è di 6,45 m; il carico previsto e concordato preventivamente con il Tecnico Incaricato dott. ing. Stefano Tortella è pari a $q = 2,00 \text{ kN/m}^2$.

Il carico è stato applicato a “tiro” mediante l' utilizzo di un martinetto oleodinamico posizionato in mezzeria al solaio esaminato e contrastato dai muri portanti sottostanti.

Sono stati eseguiti 3 cicli di carico/scarico.



Foto 9: Martinetto oleodinamico utilizzato per l'applicazione del carico



Foto 10: Sensori per rilevare i cedimenti in tempo reale

In funzione dei parametri utilizzati la forza equivalente risulta essere:

$$F_{eq} = C_v \times b \times q \times L = \mathbf{12,28 \text{ kN}}$$

dove:

carico previsto $q = 2,00 \text{ kN/m}^2$;

coefficiente di vincolo $C_v = 0,40$;

fascia collaborante $b = 2,38 \text{ m}$;

luce $L = 6,45 \text{ m}$.



Schema ubicazione carico e sensori

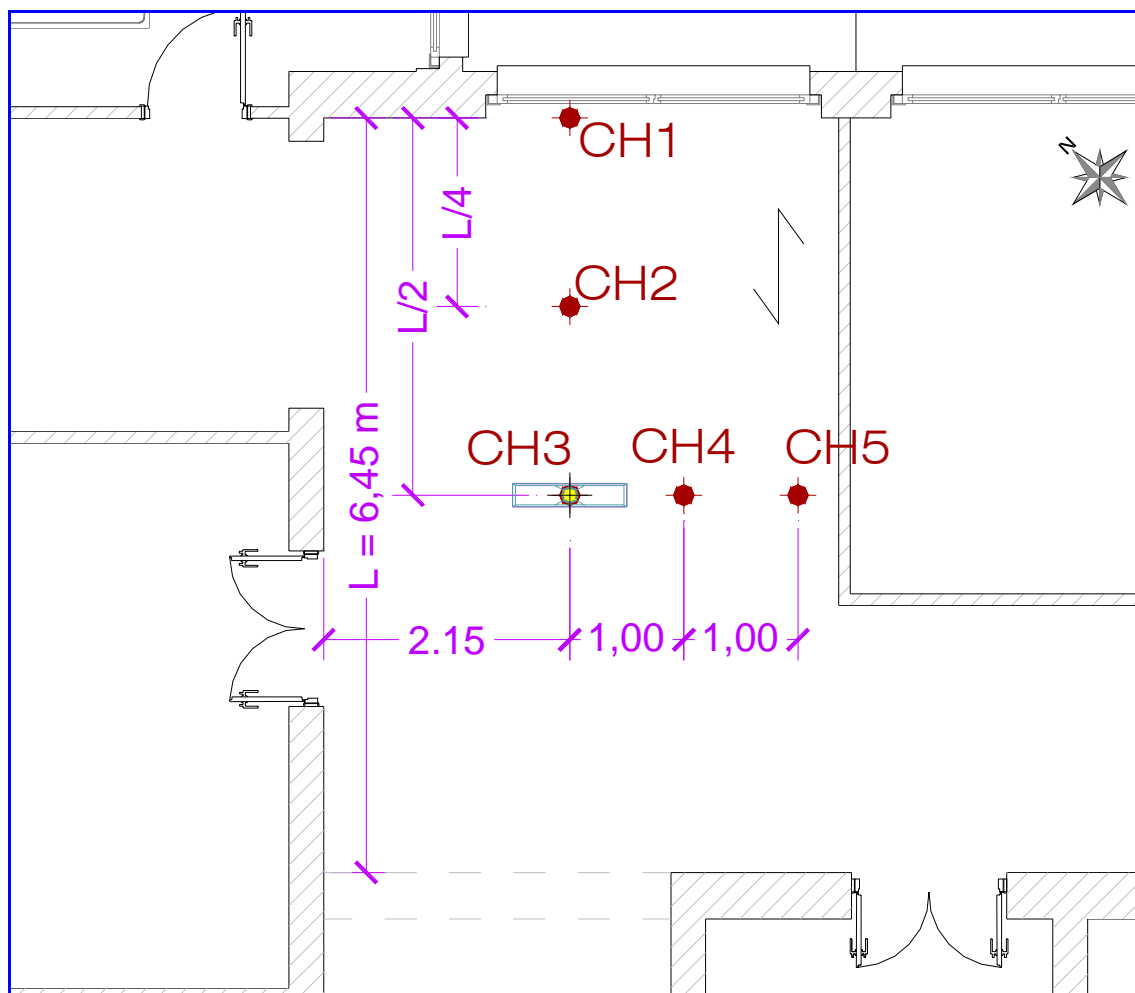


Fig. 9: Schema con ubicazione impronta di carico e sensori



Risultati della prova – III ciclo di carico/scarico

Forza (kN)	Carico (kN/m ²)	F r e c c e					Tempo (h.m.s.)	Linearità % (CH 3)
		CH 1 (mm)	CH 2 (mm)	CH 3 (mm)	CH 4 (mm)	CH 5 (mm)		
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12.06.24	-
3,0	0,49	0,00	0,07	0,15	0,09	0,01	12.07.18	-
6,0	0,98	0,02	0,16	0,30	0,18	0,04	12.08.12	100
9,0	1,47	0,02	0,23	0,47	0,28	0,06	12.09.06	96
12,0	1,95	0,03	0,33	0,62	0,38	0,07	12.10.15	97
15,0	2,44	0,04	0,39	0,79	0,47	0,07	12.11.57	95
15,0	2,44	0,03	0,41	0,83	0,49	0,08	12.21.16	90
12,0	1,95	0,02	0,35	0,69	0,43	0,07	12.22.18	-
9,0	1,47	0,01	0,28	0,55	0,34	0,07	12.23.12	-
6,0	0,98	0,00	0,19	0,39	0,24	0,05	12.24.12	-
3,0	0,49	-0,01	0,10	0,22	0,12	0,04	12.26.08	-
0,0	0,00	0,00	0,01	0,04	0,03	0,02	12.26.56	-

Ripetibilità (%)	Linearità media (%)	Linearità minima (%)	Permanenza (%)	Area ist./carico (%)
96	96	90	5	15,02

Curva di isteresi per il carico distribuito

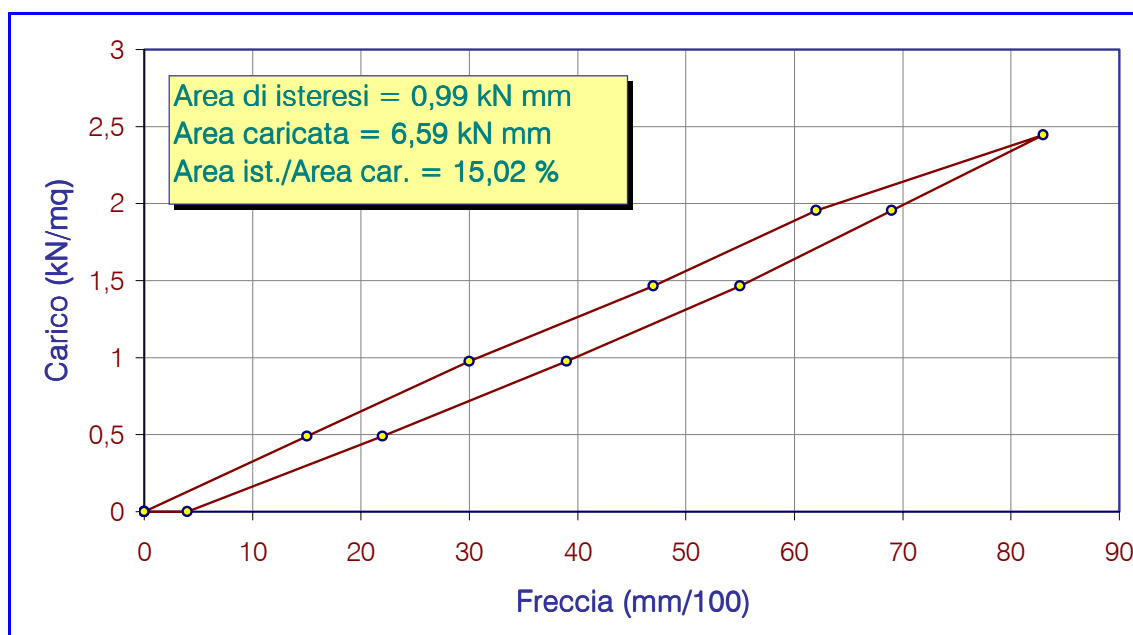


Fig. 10: Grafico rappresentativo dell'area di isteresi per il carico raggiunto (CH 3)



2.8 SOLAIO DEL TERZO ORIZZONTAMENTO – PROVA N° 3504/VR

La prova di carico è stata eseguita per verificare l' idoneità statica di un solaio in latero cemento del terzo orizzontamento, zona nord dell' edificio scolastico.

La luce netta del solaio è di 6,10 m; il carico previsto e concordato preventivamente con il Tecnico Incaricato dott. ing. Stefano Tortella è pari a $q = 2,00 \text{ kN/m}^2$.

Sono stati eseguiti 3 cicli di carico/scarico.



Foto 11: Martinetto oleodinamico utilizzato per l'applicazione del carico



Foto 12: Sensori per rilevare i cedimenti in tempo reale

In funzione dei parametri utilizzati la forza equivalente risulta essere:

$$F_{eq} = C_v \times b \times q \times L = \mathbf{16,05 \text{ kN}}$$

dove:

carico previsto $q = 2,00 \text{ kN/m}^2$;

coefficiente di vincolo $C_v = 0,40$;

fascia collaborante $b = 3,29 \text{ m}$;

luce $L = 6,10 \text{ m}$.



Schema ubicazione carico e sensori

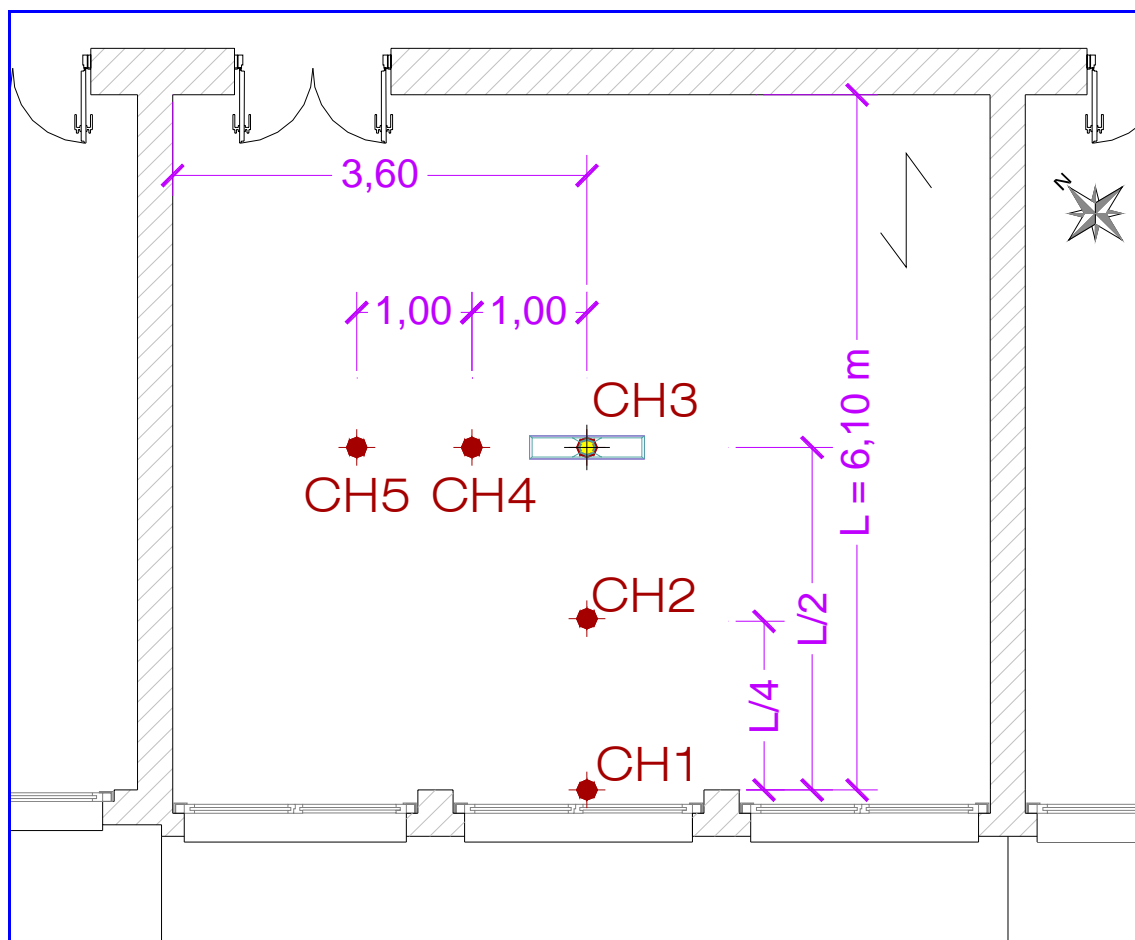


Fig. 11: Schema con ubicazione impronta di carico e sensori



Risultati della prova – III ciclo di carico/scarico

Forza (kN)	Carico (kN/m ²)	F r e c c e					Tempo (h.m.s.)	Linearità % (CH 3)
		CH 1 (mm)	CH 2 (mm)	CH 3 (mm)	CH 4 (mm)	CH 5 (mm)		
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15.48.44	-
3,00	0,37	0,01	0,11	0,19	0,15	0,05	15.49.26	-
6,00	0,75	0,02	0,20	0,39	0,28	0,13	15.50.50	97
9,00	1,12	0,03	0,31	0,58	0,44	0,20	15.51.36	98
12,00	1,49	0,04	0,42	0,80	0,60	0,29	15.52.44	95
15,00	1,87	0,04	0,52	0,98	0,74	0,35	15.53.44	97
18,00	2,24	0,04	0,63	1,17	0,90	0,44	15.54.34	97
18,00	2,24	0,05	0,66	1,22	0,93	0,47	16.04.39	93
15,00	1,87	0,05	0,57	1,06	0,80	0,40	16.05.30	-
12,00	1,49	0,05	0,47	0,87	0,66	0,33	16.06.25	-
9,00	1,12	0,04	0,37	0,68	0,52	0,26	16.07.16	-
6,00	0,75	0,04	0,26	0,47	0,36	0,17	16.08.16	-
3,00	0,37	0,04	0,15	0,26	0,20	0,09	16.09.12	-
0,00	0,00	0,03	0,04	0,05	0,04	0,02	16.10.14	-

Ripetibilità (%)	Linearità media (%)	Linearità minima (%)	Permanenza (%)	Area ist./carico (%)
98	96	93	4	11,23

Curva di isteresi per il carico distribuito

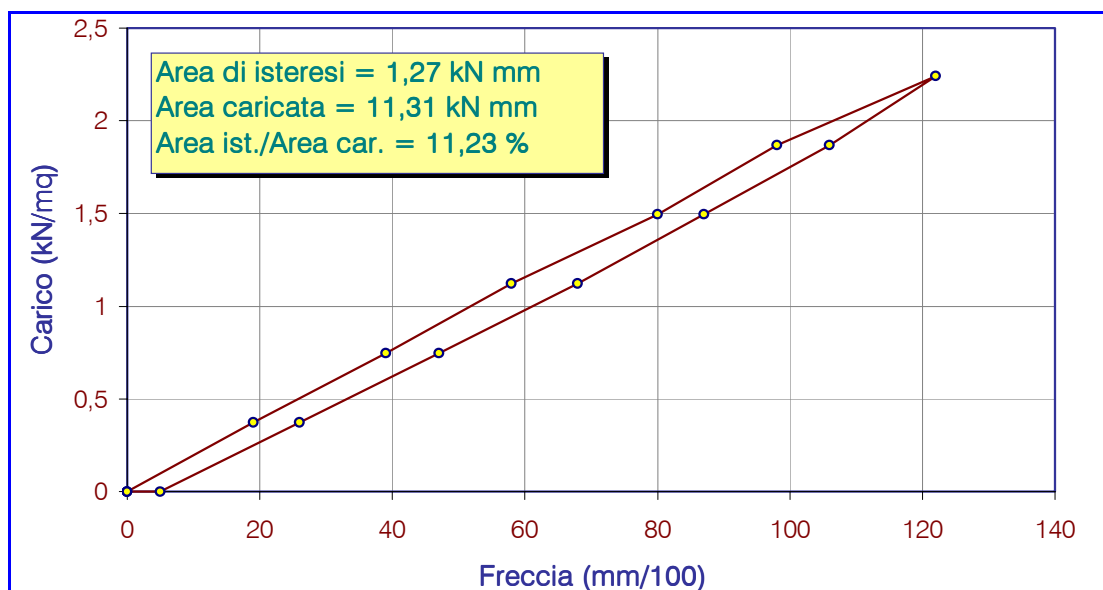


Fig. 12: Grafico rappresentativo dell'area di isteresi per il carico raggiunto (CH 3)



3 PROVE CON MARTINETTI PIATTI – N° 3505÷3506/VR

3.1 RILIEVO IN SITO DELLE TENSIONI D'ESERCIZIO

Lo scopo della prova con martinetto piatto singolo, è la misura dello stato tensionale in sito in vari punti di una parete muraria. Tale conoscenza costituisce un'importante informazione per la verifica delle condizioni attuali e quindi della sicurezza di un edificio.

La prova con martinetti piatti è stata introdotta per la prima volta nell'analisi di un edificio monumentale nel 1978 e da allora ha subito interessanti sviluppi e miglioramenti.

La prova viene eseguita con le seguenti modalità:

- predisposizione dei sensori di spostamento nella zona soprastante al taglio;
- alterazione dello stato tensionale della muratura mediante l'esecuzione di un taglio sul piano normale alla superficie della parete muraria e alla direzione della tensione da misurare con rilievo delle deformazioni indotte;
- inserimento nel taglio del martinetto piatto;
- ripristino dello stato tensionale iniziale mediante la pompa idraulica collegata al martinetto. Tale operazione viene eseguita solitamente in più cicli con incremento progressivo del carico massimo.

L'esecuzione del taglio comporta il rilascio delle tensioni che si manifestano con la tendenza a richiuderne i lembi. Introducendo nella fessura un martinetto piatto, la pressione (P) applicata che riporta la muratura circostante alle condizioni antecedenti il taglio viene assunta come prossima alla tensione in sito.

La pressione di ripristino delle condizioni iniziali viene determinata mediante l'attenta analisi dei movimenti dei sensori di spostamento applicati nella zona soprastante il taglio. Risulta fondamentale la distinzione tra movimenti indotti dal rilascio elastico dovuto al taglio e movimenti legati a rotture localizzate, cricche, ecc., non originati quindi dal rilascio elastico e pertanto da non tenere in considerazione.

La tensione di esercizio in sito si ricava dalla seguente formula:

$$\sigma_e = P \cdot \frac{A_m}{A_t} \cdot k_m$$

dove:

σ_e = tensione verticale di esercizio in sito (MPa);

P = pressione di ripristino delle condizioni iniziali al martinetto (MPa);

A_m = area del martinetto (cm²);

A_t = area del taglio (cm²);

k_m = coefficiente di bordo del martinetto (adimensionale).



3.2 MISURA DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE

La misura della resistenza a compressione prevede:

- rilievo della tensione preesistente (cfr. paragrafo precedente);
- installazione di un secondo martinetto parallelo al primo ad una distanza massima di 50÷60 cm;
- esecuzione, se possibile, di altri due tagli paralleli tra loro e perpendicolari ai martinetti, disposti a delimitare lateralmente un parallelepipedo murario con una sola faccia (quella posteriore) collaborante con la struttura muraria adiacente;
- installazione di sensori di spostamento nella zona compresa tra i due martinetti;
- esecuzione della prova a compressione aumentando la pressione nei martinetti mediante pompa idraulica. Tale operazione viene eseguita solitamente in più cicli con incremento progressivo del carico massimo.

La pressione di rottura viene individuata mediante l'analisi dei grafici dei sensori di spostamento posti tra i due martinetti e mediante analisi visiva della muratura stessa.

In taluni casi è possibile distinguere la fase di rottura della malta da quella di rottura dei mattoni.

La tensione di rottura in sito si ricava dalla seguente formula:

$$\sigma_v = P \cdot \frac{A_m}{A_t} \cdot \overline{k_m}$$

dove:

σ_v = tensione di rottura (MPa);

P = pressione di ripristino delle condizioni iniziali al martinetto (MPa);

A_m = area del martinetto (cm²);

A_t = valore medio delle aree di taglio (cm²);

$\overline{k_m}$ = valore medio dei coefficienti di bordo dei martinetti (adimensionale).

Tutti i martinetti piatti utilizzati erano nuovi. Di conseguenza i valori di cui sopra diventano:

$$A_m = 761,5 \text{ cm}^2;$$

$$A_t = 865,0 \text{ cm}^2;$$

$$k_t = 761,5/865,0 = 0,88$$

$$k_m = 0,85 \text{ (per tutti i martinetti)}$$

$$\overline{k_m} = 0,85$$

$$\sigma_v = P \cdot k_t \cdot k_m = P \cdot 0,748$$



3.3 DESCRIZIONE DELLE ATTREZZATURE UTILIZZATE

Il martinetto piatto utilizzato è una cella di carico azionata idraulicamente, in acciaio ad alta resistenza, di forma semicircolare allungata con le seguenti caratteristiche:

- superficie: 761,5 cm²
- spessore: 3,5 mm
- diametro: 34,7 cm
- profondità di installazione: 25,7 cm

Ogni martinetto è caratterizzato da un coefficiente di taratura (k_m) che ne definisce l'efficacia, ossia la riduzione della spinta rispetto alla massima teoricamente raggiungibile, tenuto conto di due fattori: la rigidità dei bordi e le deformazioni irreversibili indotte dalle prove precedenti.

L'attrezzatura di taglio consiste in una troncatrice con motore a scoppio ad utensile diamantato. Questa produce una incisione netta, di minimo disturbo per la struttura. L'incisione prodotta (di spessore 4 mm) ha una forma praticamente uguale a quella del martinetto. Si assume come area di taglio media $A_t = 865 \text{ cm}^2$.

L'erogazione della pressione ai martinetti viene effettuata da una pompa manuale che viene misurata mediante un manometro.

Sistema di misurazione ed acquisizione

Gli spostamenti della muratura (e quindi le sue deformazioni) sono stati rilevati mediante un sistema di acquisizione in linea costituito da tre trasduttori applicati alla superficie esterna.

Sono stati utilizzati dei trasduttori potenziometrici con fondo scala 50 mm e sensibilità millesimale.

Il sistema di acquisizione dati consente di diagrammare in tempo reale l'andamento della risposta indotta nei successivi cicli di carico evitando di scambiare per deformazioni da rilascio tensionale episodi che invece sono originati da locali distacchi e/o disarticolazione degli elementi murari.



Foto 13: Troncatrice con motore a scoppio



Foto 14: Pompa con doppio manometro

3.4 PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE PROVE

Di seguito presentiamo la planimetria del piano interessato da indagini con martinetti piatti:

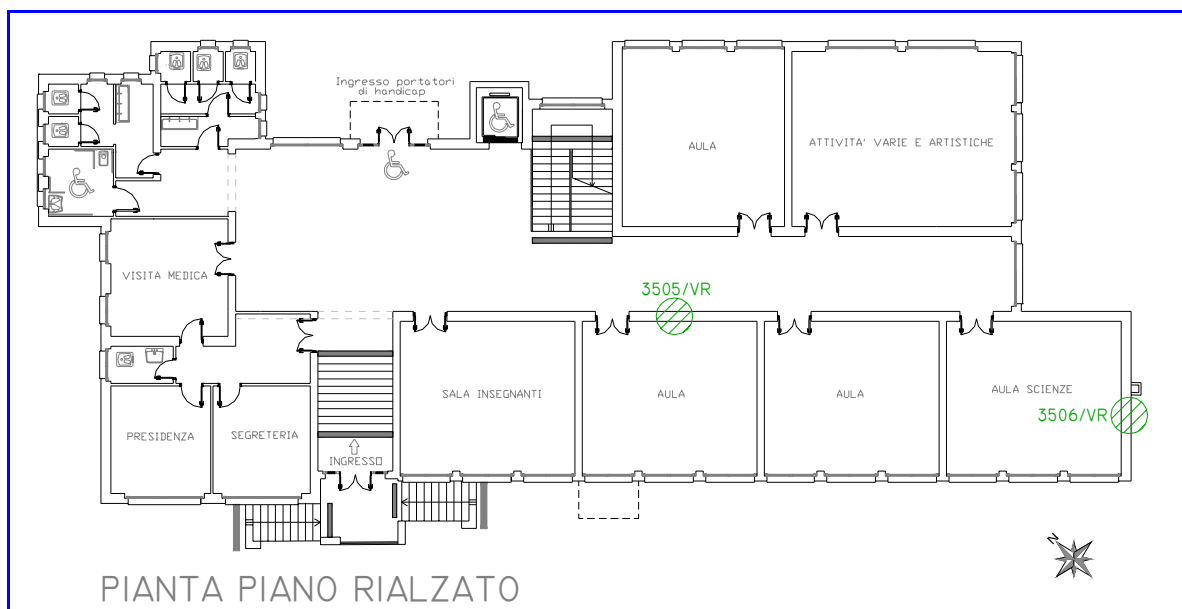


Fig. 13: Planimetria piano rialzato con ubicazione prove con martinetti piatti



3.5 RISULTATI DELLE PROVE CON MARTINETTI PIATTI

3.5.1 Muro di spina- Prova n° 3505/VR

Rilievo della tensione esistente

La prima prova è stata eseguita al piano rialzato sul muro di spina dell'edificio (faccia nord-est) costituito da muratura di mattoni pieni.

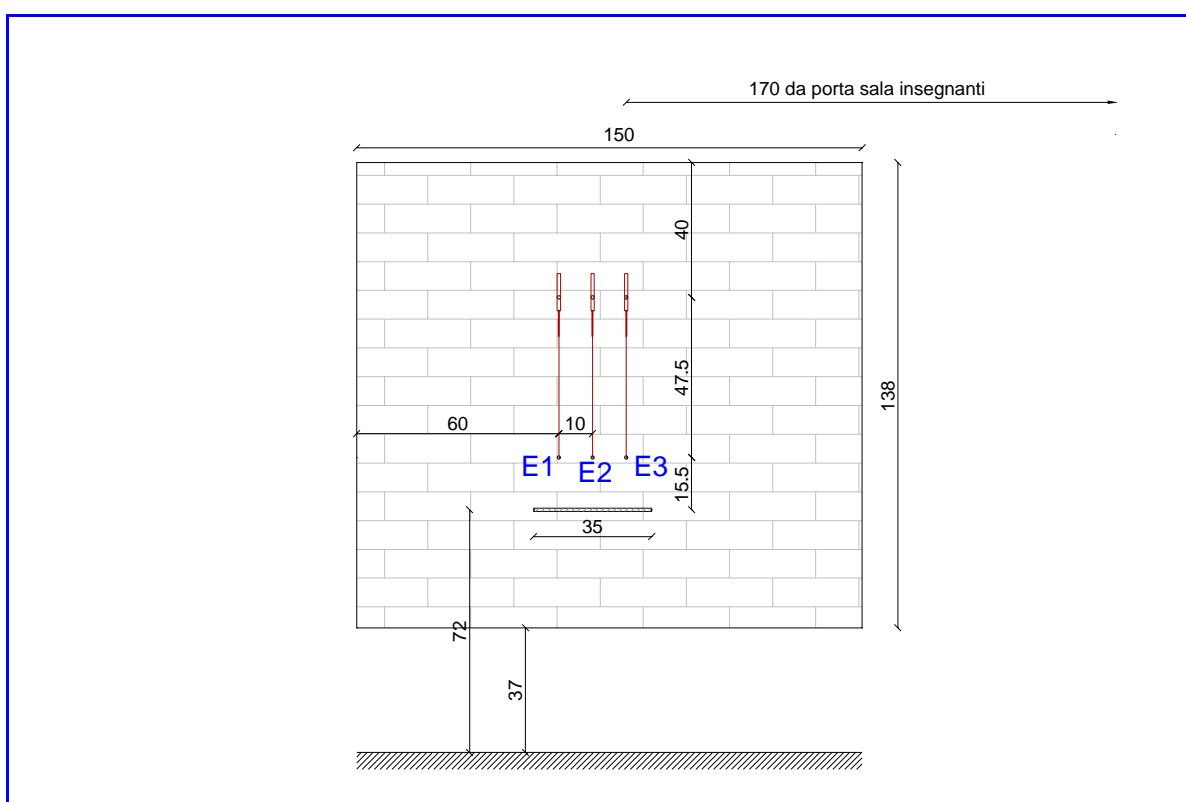


Fig. 14: Disposizione martinetti con punti di misura e sensori



Foto 15: Esecuzione del taglio



Foto 16: Rilievo tensione esistente

FASE	orario (h:mm:ss)	p bar	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	Commento
azzeramento	15.12.45	0,0	0,000	0,000	0,000	
fine taglio	15.20.45	0,0	-0,024	-0,016	-0,011	
martinetto	15.26.30	0,0	-0,030	-0,018	-0,014	
inizio spurgo	15.40.30	0,0	-0,031	-0,020	-0,017	
inizio prova	15.41.30	0,0	-0,030	-0,010	-0,021	
I ciclo	15.43.00	1,0	-0,028	-0,007	-0,020	
	15.44.30	2,0	-0,026	-0,004	-0,019	
	15.45.30	2,5	-0,025	-0,003	-0,019	
	15.45.50	3,0	-0,022	-0,003	-0,021	
	15.46.10	3,5	-0,020	-0,002	-0,021	
	15.47.00	4,0	-0,015	0,000	-0,021	azz.E2
	15.48.00	4,5	-0,012	0,002	-0,019	
	15.48.40	5,0	-0,007	0,004	-0,019	
	15.49.30	5,5	-0,006	0,005	-0,018	
	15.50.30	6,0	-0,007	0,004	-0,020	
	15.52.20	6,5	-0,007	0,005	-0,021	
	15.53.10	7,0	-0,006	0,006	-0,020	
	15.54.10	7,5	-0,004	0,007	-0,021	
	15.55.10	8,0	-0,003	0,008	-0,020	
15.56.10	9,0	-0,001	0,010	-0,018		
15.57.20	10,0	0,000	0,013	-0,017	azz.E1	
scarico	15.58.20	0,0	-0,026	-0,006	-0,021	
II ciclo	16.01.20	3,0	-0,022	0,002	-0,022	azz.E2
	16.02.00	6,0	-0,008	0,008	-0,020	
	16.04.00	9,0	0,000	0,015	-0,021	azz.E1

N.B: Il comportamento dei sensori ha fatto pensare che E3 fosse svincolato dalla muratura e che E2 abbia avuto **assestamenti** non dovuti all'andamento della prova

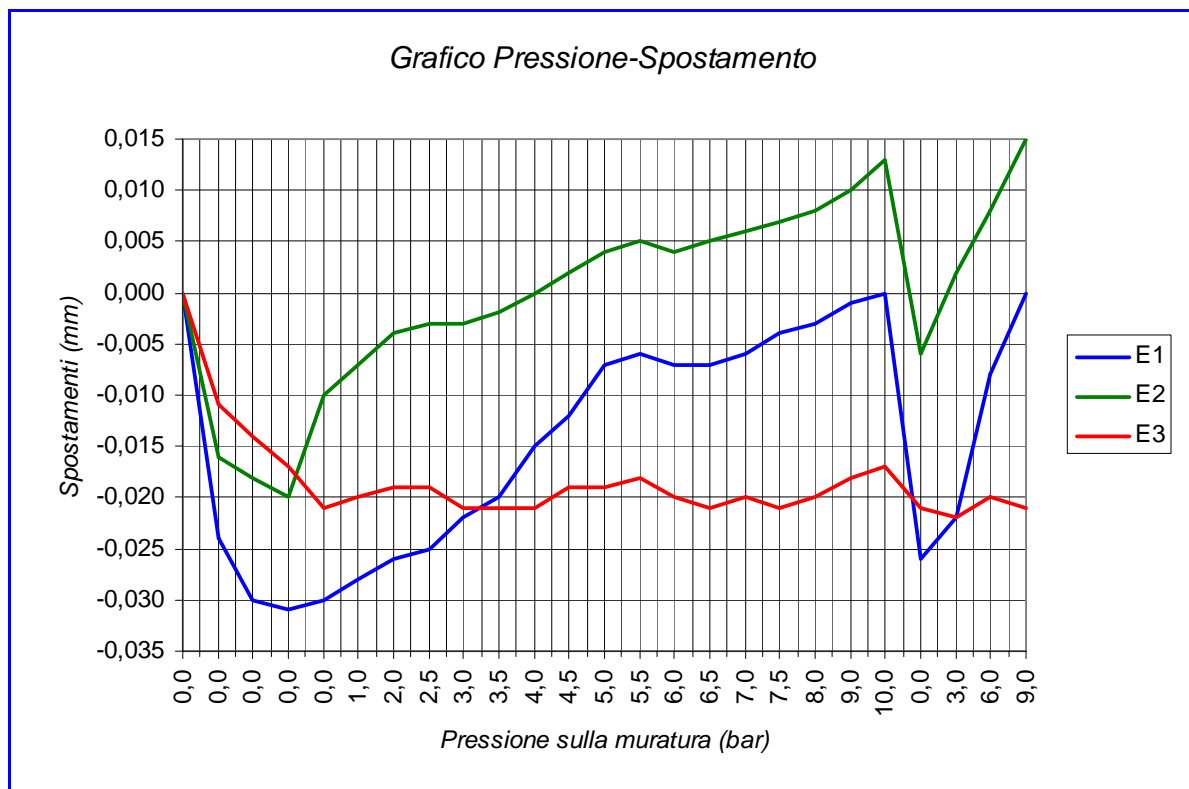


Fig. 15: Grafico Pressione-Spostamento

Considerando l'andamento del sensore E1:

$$P = 9,0 \text{ bar} = 0,90 \text{ MPa}$$

$$\text{TENSIONE DI ESERCIZIO RILEVATA: } \sigma_e = 0,90 \cdot 0,748 = \mathbf{0,67 \text{ MPa}}$$



Misura della resistenza a compressione

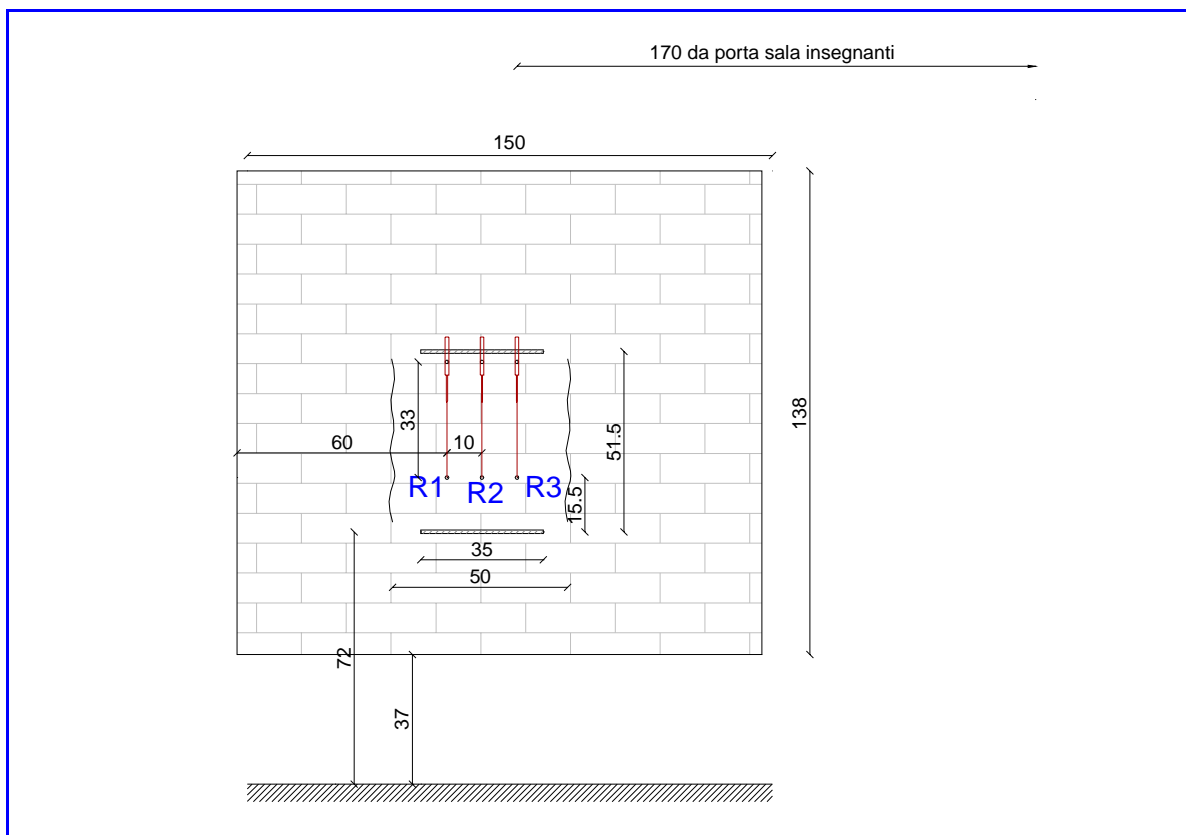


Fig. 16: Disposizione martinetti e punti di misura e sensori



Foto 17: Rilievo tensione rottura



Foto 18: Applicazione del carico



FASE	orario (h:mm:ss)	p bar	R1 (mm)	R2 (mm)	R3 (mm)	Commento
I Ciclo	17.37.00	0,0	0,000	0,000	0,000	
	17.38.00	2,0	0,004	0,000	-0,002	
	17.39.00	4,0	0,025	0,001	0,004	
	17.39.30	6,0	0,037	0,004	0,007	
	17.40.00	8,0	0,049	0,019	0,008	
	17.40.30	10,0	0,061	0,029	0,017	
	17.41.00	12,0	0,072	0,039	0,029	
	17.41.30	14,0	0,081	0,048	0,036	
	17.42.00	16,0	0,094	0,059	0,051	
	17.42.30	18,0	0,103	0,068	0,062	
	17.43.00	20,0	0,110	0,076	0,074	
	17.43.30	22,0	0,119	0,085	0,077	
	17.45.00	24,0	0,124	0,095	0,085	
	17.45.30	26,0	0,130	0,103	0,086	
	17.46.00	28,0	0,137	0,114	0,089	
	17.46.30	30,0	0,146	0,127	0,098	
	17.47.00	32,0	0,157	0,138	0,109	
	17.47.30	34,0	0,168	0,153	0,127	
	17.48.00	36,0	0,182	0,166	0,134	
	17.48.30	38,0	0,195	0,178	0,149	
	17.49.00	40,0	0,215	0,200	0,168	
	17.49.30	42,0	0,226	0,211	0,174	
	17.52.00	44,0	0,243	0,230	0,184	
	17.53.30	46,0	0,262	0,247	0,199	
17.54.00	48,0	0,281	0,264	0,214		
17.58.00	48,0	0,290	0,280	0,235	incremento a carico cost.	
18.00.00	50,0	0,304	0,299	0,252		
18.01.00	52,0	0,319	0,317	0,259	rumori+comparsa lesioni	
18.02.00	54,0	0,344	0,340	0,272	rumori+comparsa lesioni	
18.03.00	56,0	0,367	0,378	0,295	rumori+comparsa lesioni	
18.05.00	58,0	0,385	0,426	0,324	rumori+comparsa lesioni	
18.06.00	60,0	0,403	0,474	0,353	rumori+comparsa lesioni	
Scarico	18.07.00	0,0	0,081	0,135	0,096	
II Ciclo	18.11.00	5,0	0,126	0,174	0,106	
	18.13.00	10,0	0,173	0,225	0,160	
	18.14.00	15,0	0,211	0,261	0,178	
	18.15.00	20,0	0,243	0,296	0,217	
	18.16.00	25,0	0,274	0,322	0,240	
	18.17.00	30,0	0,299	0,351	0,263	
	18.19.30	35,0	0,325	0,378	0,279	
	18.22.00	40,0	0,352	0,403	0,297	
	18.24.30	45,0	0,369	0,424	0,321	
	18.27.00	50,0	0,389	0,448	0,339	
18.29.30	55,0	0,409	0,469	0,358		



FASE	orario (h:mm:ss)	p bar	R1 (mm)	R2 (mm)	R3 (mm)	Commento
	18.30.30	55,0	0,413	0,472	0,363	
	18.31.30	60,0	0,438	0,502	0,389	
	18.32.30	60,0	0,443	0,508	0,398	incremento a carico cost.
	18.34.30	60,0	0,450	0,517	0,403	incremento a carico cost.
Scarico	18.36.30	0,0	0,110	0,165	0,126	
III Ciclo	18.40.30	10,0	0,206	0,265	0,179	
	18.42.00	20,0	0,286	0,342	0,259	
	18.50.00	30,0	0,342	0,401	0,295	
	18.52.00	40,0	0,383	0,447	0,339	
	18.53.30	50,0	0,423	0,490	0,376	
	18.55.00	60,0	0,463	0,533	0,413	
	18.57.30	60,0	0,470	0,547	0,424	incremento a carico cost.
Scarico	19.02.30	0,0	0,123	0,179	0,144	
IV Ciclo	19.03.00	20,0	0,300	0,366	0,270	
	19.07.00	40,0	0,406	0,473	0,366	
	19.10.00	60,0	0,486	0,567	0,441	
	19.12.30	60,0	0,494	0,574	0,447	incremento a carico cost.
	19.13.30	60,0	0,493	0,573	0,446	
Scarico	19.18.30	0,0	0,133	0,193	0,147	

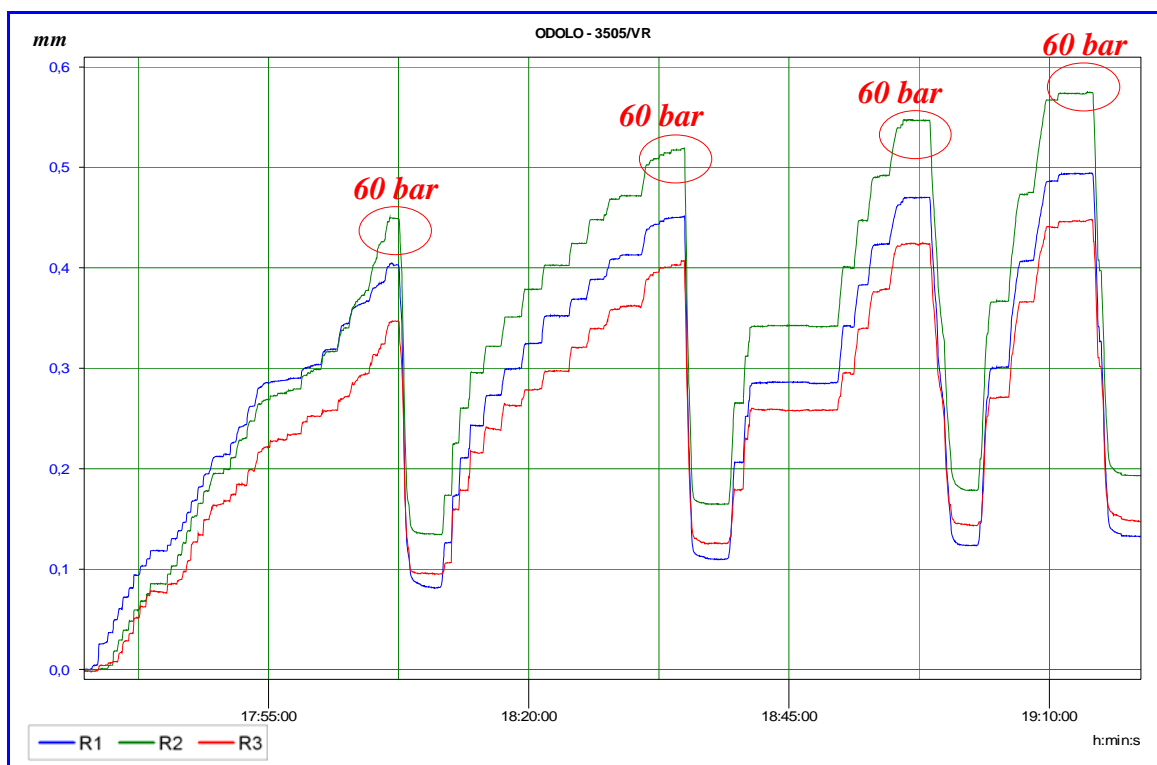


Fig. 17: Grafico Tempo-Spostamento



A carico massimo applicabile dalla pompa in dotazione (60 bar) non si è verificato alcun sintomo evidente di rottura della muratura. A scarico avvenuto, dopo l'esecuzione del IV ciclo di carico, i sensori mostrano una deformazione residua pari a circa un terzo della deformazione ottenuta a pressione massima, ma **non si può dire con certezza se la muratura si sia rotta.**

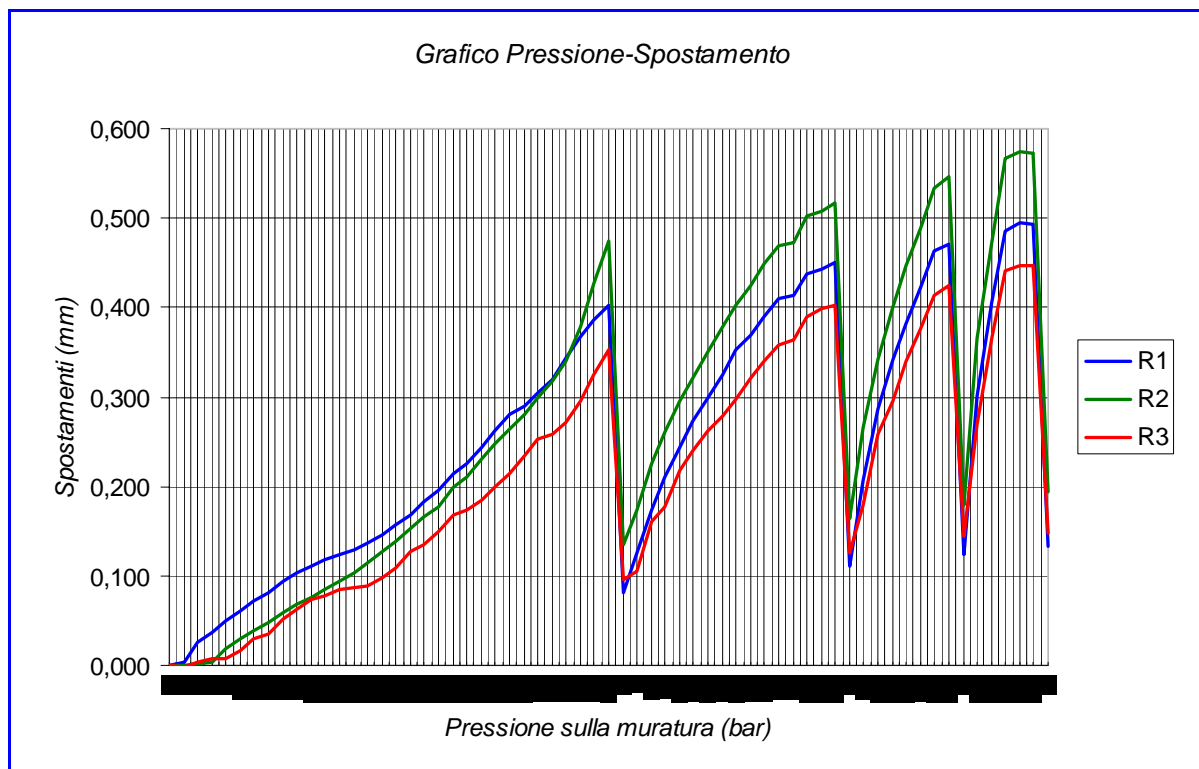


Fig. 18: Grafico Pressione-Spostamento

$$P = 60,0 \text{ bar} = 6,0 \text{ MPa}$$

TENSIONE DI ROTTURA RILEVATA:

Il valore massimo raggiunto è pari a $\sigma_v = 6,0 \cdot 0,748 = 4,49 \text{ MPa}$



3.5.2 Muro lato ovest - Prova n° 3506/VR

Rilievo della tensione esistente

La seconda prova è stata eseguita al piano rialzato sul muro perimetrale sud-est dell'edificio (faccia nord-ovest) costituito da muratura di mattoni pieni.

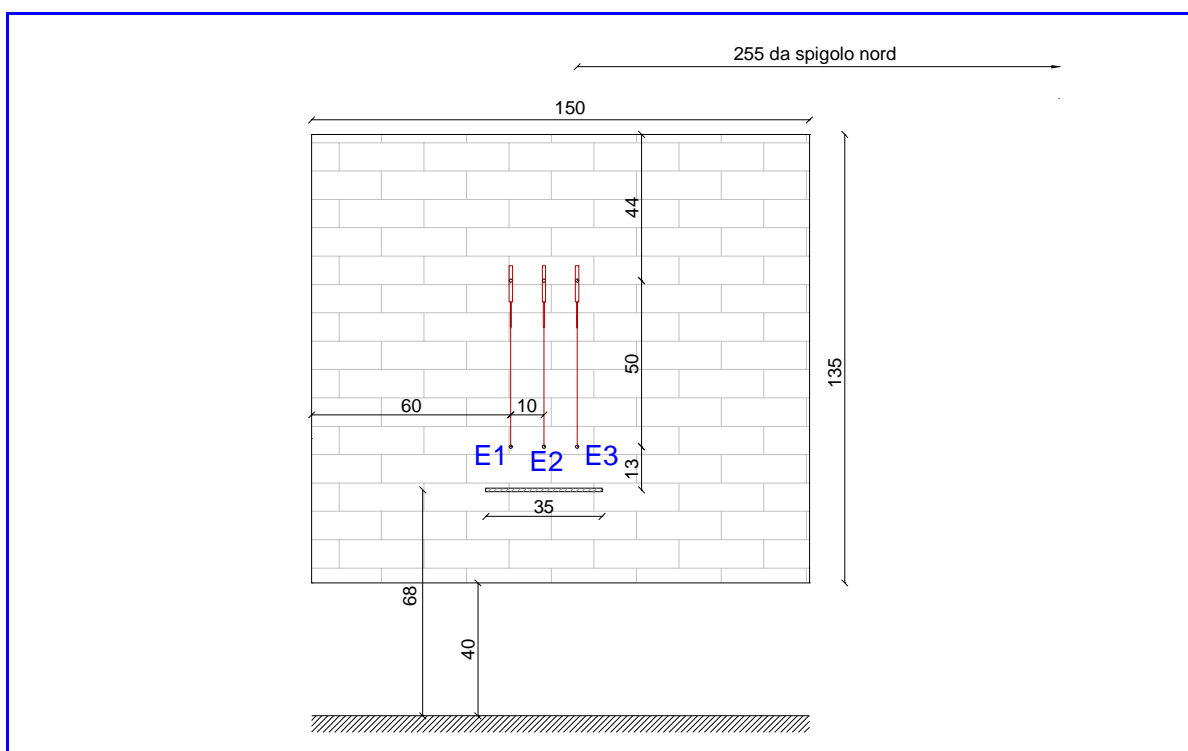


Fig. 19: Disposizione martinetti e punti di misura e sensori



Foto 19: Esecuzione del taglio



Foto 20: Rilievo tensione esistente



FASE	orario (h:mm:ss)	p bar	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	commento
azzeramento	10.09.00	0,0	0,000	0,000	0,000	
fine taglio	10.15.00	0,0	-0,024	-0,012	-0,002	
martinetto	10.28.00	0,0	-0,026	-0,017	-0,003	
inizio spurgo	10.31.00	0,0	-0,026	-0,017	-0,002	
inizio prova	10.32.00	0,0	-0,026	-0,017	-0,003	
I ciclo	10.33.00	1,0	-0,026	-0,016	-0,003	
	10.34.00	2,0	-0,021	-0,011	-0,003	
	10.34.30	3,0	-0,017	-0,007	-0,003	
	10.35.00	4,0	-0,014	-0,005	-0,003	
	10.36.00	5,0	-0,011	-0,002	-0,004	
	10.37.00	6,0	-0,009	0,000	-0,003	azz. E2
	10.38.00	7,0	-0,007	0,003	-0,003	
	10.39.00	8,0	-0,004	0,005	-0,004	
	10.40.00	9,0	0,000	0,009	-0,004	azz. E1
scarico	10.43.00	0,0	-0,027	-0,013	-0,003	
II ciclo	10.44.00	2,0	-0,027	-0,013	-0,003	
	10.45.00	4,0	-0,021	-0,003	-0,004	
	10.46.00	5,0	-0,015	-0,001	-0,004	
	10.47.00	5,5	-0,011	0,000	-0,003	azz. E2
	10.47.30	6,0	-0,005	0,001	-0,004	
	10.48.00	6,5	-0,003	0,003	-0,004	
	10.48.30	7,0	-0,002	0,004	-0,005	
	10.49.00	7,5	-0,001	0,005	-0,004	
	10.50.30	8,0	0,000	0,007	-0,004	azz. E1
scarico	10.54.00	0,0	-0,027	-0,015	-0,004	
III ciclo	10.55.00	4,0	-0,023	-0,005	-0,005	
	10.56.00	5,0	-0,018	-0,002	-0,005	
	10.56.30	5,5	-0,014	0,000	-0,004	azz. E2
	10.58.00	7,0	-0,002	0,004	-0,005	
	10.58.30	7,5	0,000	0,005	-0,004	azz. E1

N.B: Il comportamento dei sensori ha fatto pensare che E3 fosse svincolato dalla muratura.

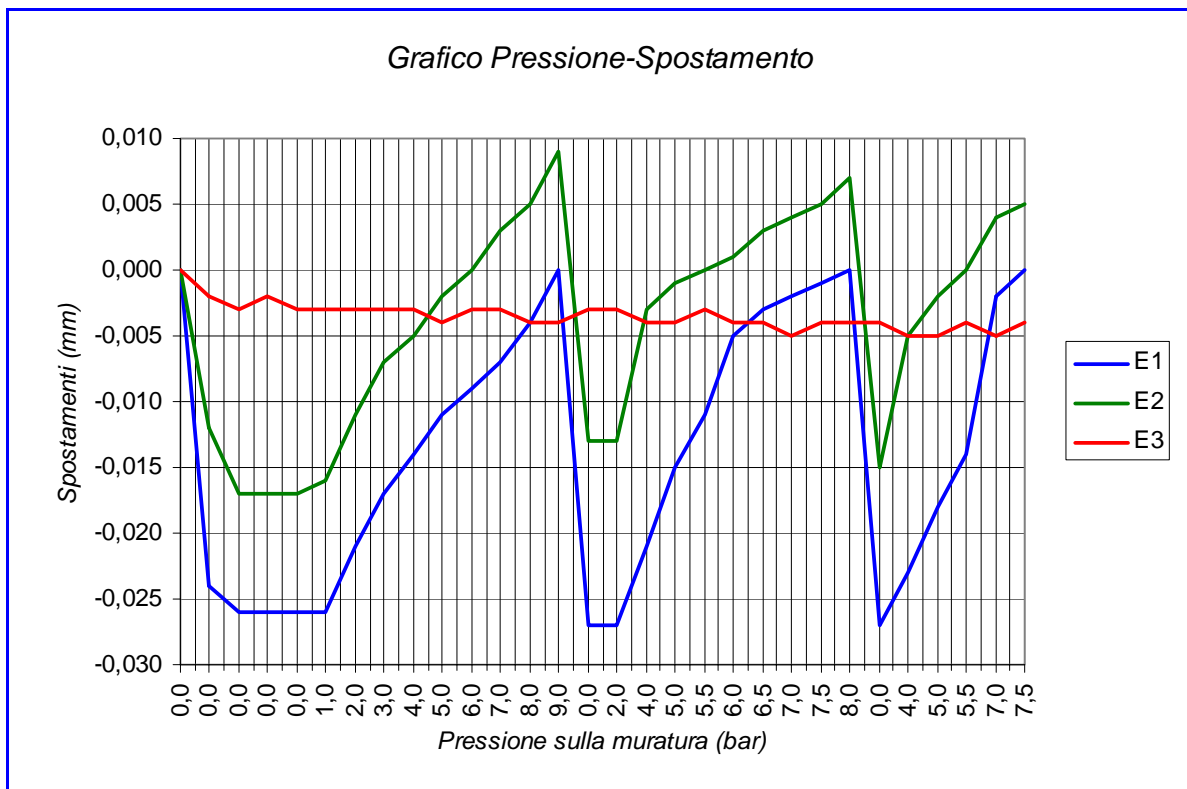


Fig. 20: Grafico Pressione-Spostamento

Considerando l'andamento dei sensori E1 ed E2:

$$P = 5,5 \div 7,5 \text{ bar} = 0,55 \div 0,75 \text{ MPa}$$

$$\text{TENSIONE DI ESERCIZIO RILEVATA: } \sigma_e = 0,55 \div 0,75 \cdot 0,748 = \mathbf{0,41 \div 0,56 \text{ MPa}}$$



Misura della resistenza a compressione

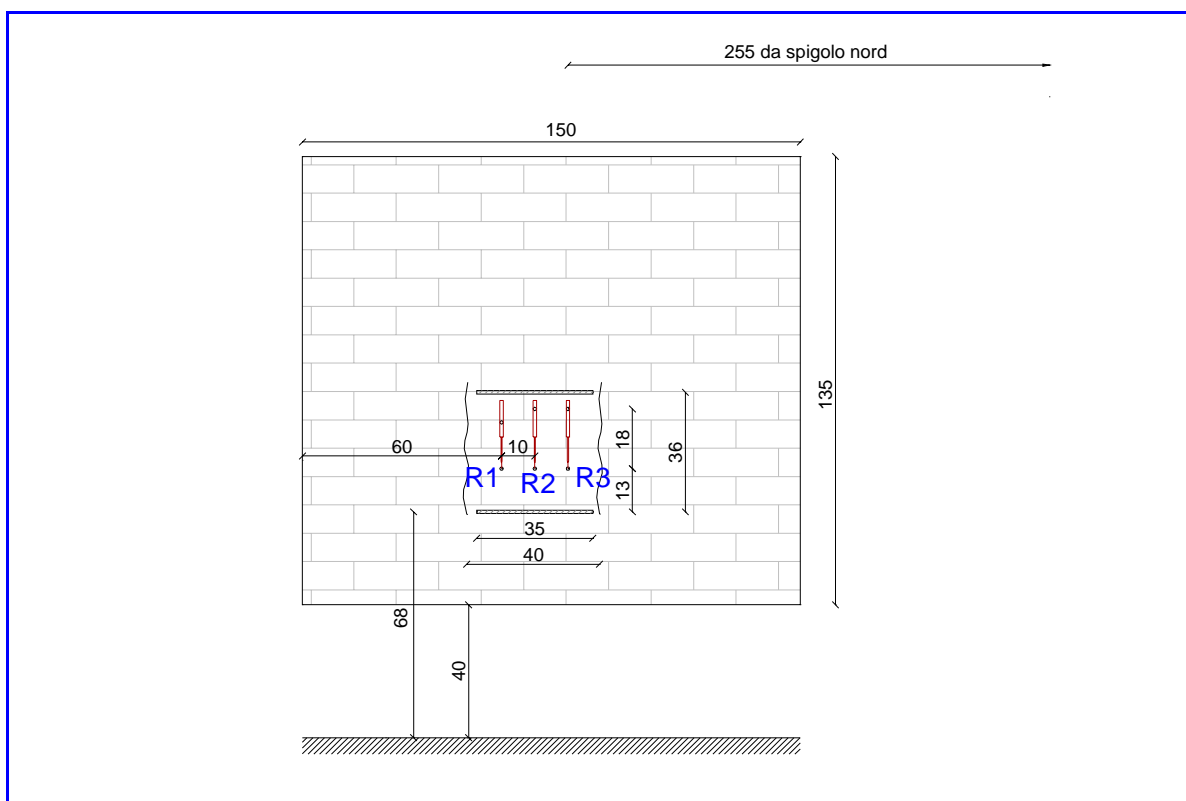


Fig. 21: Disposizione martinetti e punti di misura e sensori



Foto 21: Rilievo tensione rottura



Foto 22: Fessura evidente



FASE	orario (h:mm:ss)	p bar	R1 (mm)	R2 (mm)	R3 (mm)	commento
I Ciclo	14.06.00	0,0	0,000	0,000	0,000	
	14.07.30	2,0	0,003	0,002	-0,002	
	14.09.00	4,0	0,004	0,002	-0,006	
	14.12.30	6,0	0,006	0,003	-0,006	
	14.13.00	8,0	0,008	0,003	0,006	
	14.14.30	10,0	0,008	0,003	0,008	
	14.16.00	12,0	0,011	0,003	0,013	crack sonoro
	14.17.00	14,0	0,014	0,003	0,020	
	14.18.00	16,0	0,019	0,006	0,027	
	14.19.00	18,0	0,024	0,007	0,026	
	14.20.00	20,0	0,030	0,010	0,030	
	14.21.00	22,0	0,035	0,015	0,053	
	14.22.00	24,0	0,042	0,023	0,061	
	14.23.00	26,0	0,051	0,037	0,071	
14.24.00	28,0	0,054	0,052	0,085		
14.27.00	30,0	0,059	0,080	0,091	crack sonoro	
Scarico	14.29.00	0,0	-0,027	0,041	0,053	
II Ciclo	14.30.30	5,0	0,011	0,042	0,053	
	14.31.30	10,0	0,030	0,043	0,053	
	14.32.30	15,0	0,042	0,047	0,060	
	14.33.30	20,0	0,050	0,055	0,067	
	14.35.00	25,0	0,057	0,063	0,083	
	14.36.30	30,0	0,068	0,073	0,098	
	14.38.00	32,0	0,086	0,081	0,100	crack sonoro
	14.39.00	34,0	0,093	0,088	0,105	
	14.40.30	36,0	0,101	0,097	0,115	
	14.43.00	38,0	0,112	0,107	0,123	
	14.45.00	40,0	0,125	0,116	0,126	
	14.47.30	42,0	0,140	0,122	0,134	balzo R1 ed R3 + lesione
	14.50.00	44,0	0,152	0,131	0,137	3 crack sonori
14.52.00	46,0	0,162	0,130	0,137		
14.54.30	48,0	0,172	0,130	0,136	2 crack sonori	
14.56.00	50,0	0,179	0,130	0,122	lesione. presso R3	
Scarico	15.00.00	0,0	0,001	0,044	0,036	
III Ciclo	15.02.00	10,0	0,090	0,052	0,052	
	15.04.00	20,0	0,118	0,070	0,067	
	15.06.00	30,0	0,147	0,092	0,074	
	15.08.00	35,0	0,155	0,099	0,083	
	15.10.00	40,0	0,164	0,106	0,085	
	15.12.00	45,0	0,172	0,106	0,088	
	15.13.00	46,0	0,176	0,106	0,089	
	15.14.30	48,0	0,181	0,114	0,087	
	15.15.30	50,0	0,192	0,114	0,086	
	15.17.30	52,0	0,203	0,113	0,099	



FASE	orario (h:mm:ss)	p bar	R1 (mm)	R2 (mm)	R3 (mm)	commento
	15.21.00	54,0	0,223	0,120	0,100	lesione presso R1
	15.22.00	56,0	0,233	0,120	0,100	
	15.23.00	58,0	0,246	0,120	0,100	crack sonoro
	15.24.00	60,0	0,252	0,120	0,100	
Scarico	15.27.00	0,0	0,039	0,061	0,024	
IV Ciclo	15.30.00	10,0	0,110	0,067	0,050	
	15.32.00	20,0	0,143	0,074	0,049	
	15.34.00	30,0	0,172	0,082	0,049	
	15.36.00	40,0	0,195	0,093	0,050	
	15.38.00	50,0	0,210	0,098	0,055	
	15.39.00	52,0	0,211	0,098	0,055	
	15.40.00	54,0	0,215	0,098	0,056	
	15.41.00	56,0	0,218	0,106	0,056	
	15.42.00	58,0	0,220	0,106	0,056	
	15.43.00	60,0	0,226	0,106	0,056	
Scarico	15.46.00	0,0	0,087	0,065	0,029	
V Ciclo	15.50.00	30,0	0,184	0,070	0,039	
	15.53.00	60,0	0,238	0,093	0,041	crack sonoro a 55 bar
Scarico	15.56.00	0,0	0,173	0,066	0,022	

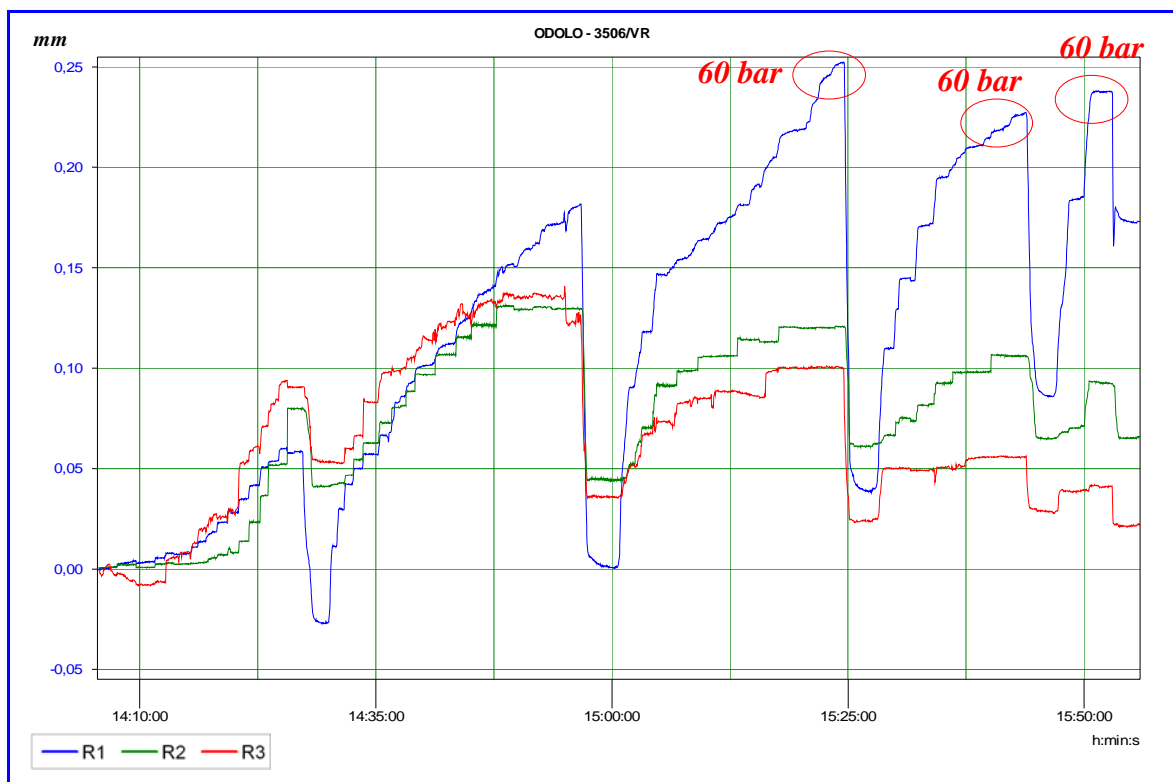


Fig. 22: Grafico Tempo-Spostamento



Nonostante il molteplici raggiungimento del carico massimo applicabile dalla pompa in dotazione (60 bar) e la presenza di evidente rottura superficiale della muratura anche in corrispondenza dello stesso, il sensore R1 ha avuto comportamento anomalo rispetto agli altri due.

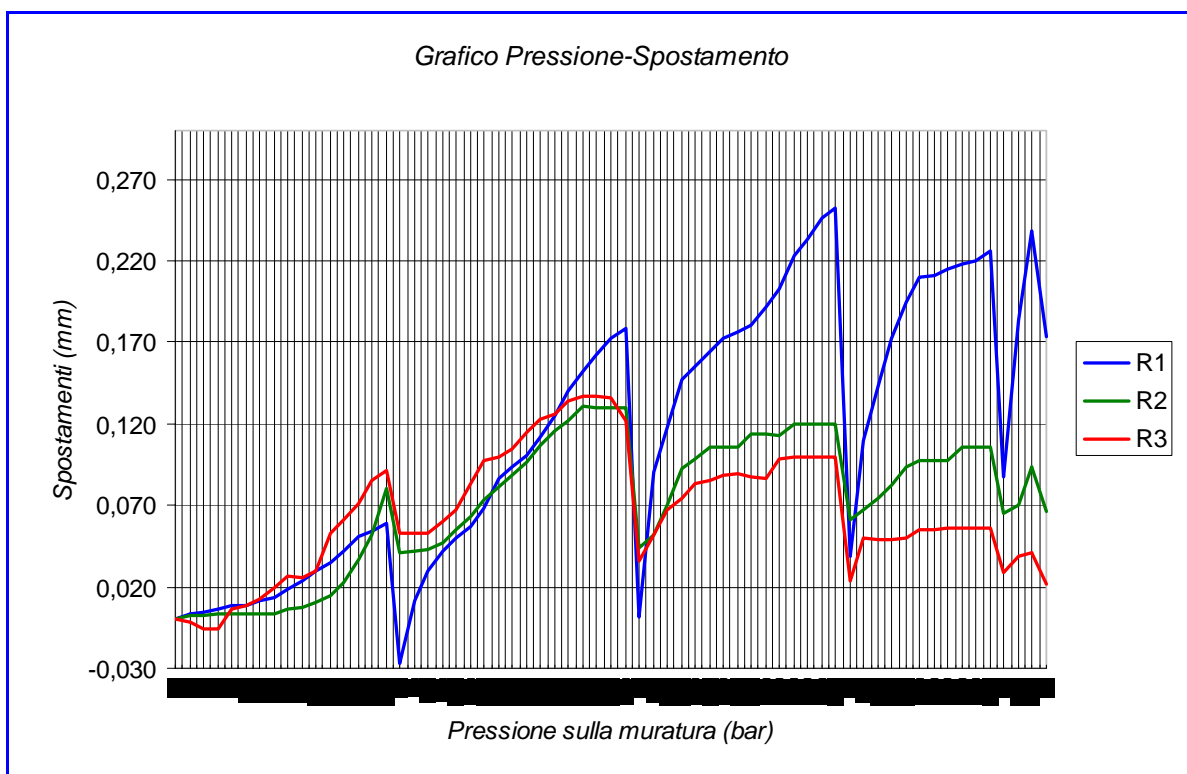


Fig. 23: Grafico Pressione-Spostamento

In questo caso si considera tensione di rottura quella della prima fessurazione superficiale del sensore R3.

$$P = 42,0 \div 44,0 \text{ bar} = 4,2 \div 4,4 \text{ MPa}$$

$$\text{TENSIONE DI ROTTURA RILEVATA: } \sigma_r = 4,2 \div 4,4 \cdot 0,748 = 3,14 \div 3,29 \text{ MPa}$$

La 4 EMME Service S.p.A. si assume la responsabilità per la precisione delle misurazioni effettuate; l'elaborazione dei dati rappresenta invece solamente un sussidio da verificare ed approvare a cura del Collaudatore o del Tecnico Incaricato.



4 PRELIEVI MEDIANTE CAROTAGGI Ø100 - N° 3507/VR

Si sono effettuati 3 prelievi con carotaggio al fine di determinare la natura delle strutture portanti al piano seminterrato.

4.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per l'estrazione delle carote è stata utilizzata la seguente attrezzatura:

- un trapano carotatore Hilti;
- una base a binario Hilti per trapano carotatore;
- un fioretto diametro 100 mm;
- un serbatoio con pompa per l'acqua.

4.2 PLANIMETRIA CON UBICAZIONE CAROTAGGI

La posizione degli elementi da cui si sono effettuati i prelievi mediante carotaggi è la seguente:

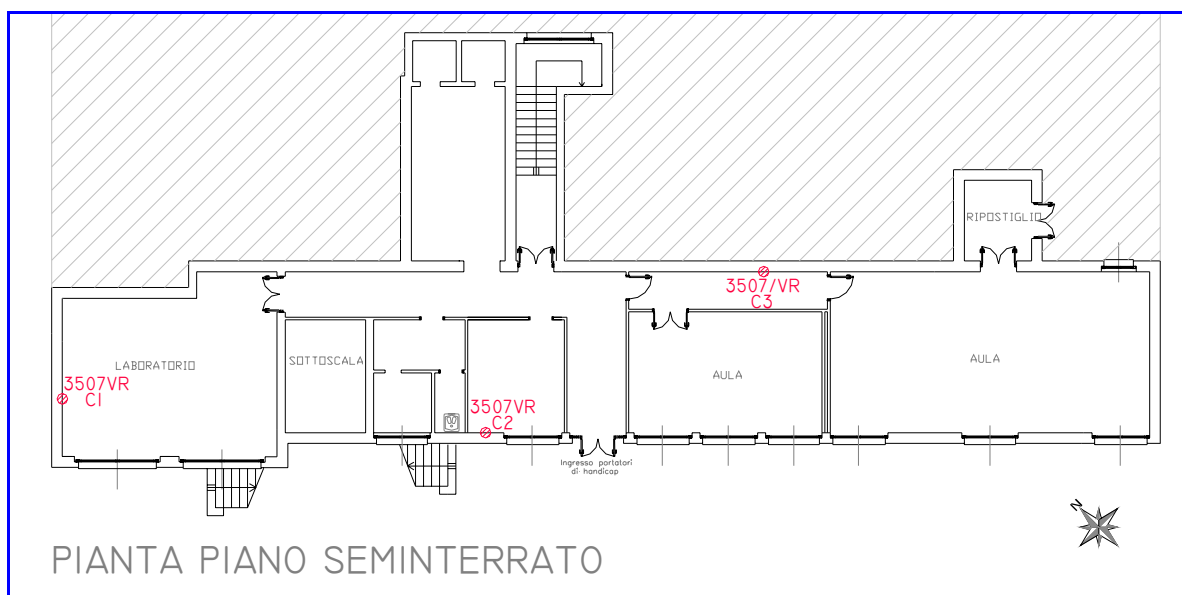


Fig. 24: Planimetria piano seminterrato con ubicazione prelievi mediante carotaggi



4.3 RISULTATI DEI CAROTAGGI

Di seguito riportiamo i dati dei provini rilevati in loco:

CAROTE N°	ELEMENTO	POSIZIONE (cm)	Ø (mm)	LUNGH. (mm)	NOTE
C1	Muro perimetrale portante	Faccia S-E	100	±200	Muratura costituita da materiale lapideo e malta
C2	Muro perimetrale portante	Faccia N-E	100	±200	
C3	Muro perimetrale portante	Faccia S-W	100	±200	



Foto 23: Carota C1



Foto 24: Foro lasciato dalla carota C1



Foto 25: Carota C2



Foto 26: Foro lasciato dalla carota C2



Foto 27: Carota C3



Foto 28: Foro lasciato dalla carota C3

Verona, 28 aprile 2009

Il relatore
dott. ing. Andrea Palermo

4 EMME Service S.p.A.
Il Direttore del Centro di Verona
geom. Paolo Bassi

RELAZIONE REVISIONATA DA:
geom. Simone Marcolini