

Stazione Appaltante: **COMUNE DI MAROSTICA**

Via Tempesta, n. 17

36063 Marostica (VI)

C.F. 82000830248

Oggetto:

**LAVORI DI ADEGUAMENTO SISMICO "AULE SPECIALI" SCUOLA MEDIA
CAPOLUOGO**

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

PROVE, INDAGINI E VERIFICHE: 4 EMME SERVICE S.p.A.

Elaborazione del:

Dott. Ing. COSTA MARIO

Via Vallazza, 36/2 – 36050 Pozzoleone (VI)

Tel. e fax 0444/462230 – e.mail: costa@ordine.ingegneri.vi.it

Cod. Fisc. CST MRA 57T08 G957D – P.IVA 01898510241

Pozzoleone (VI), li 24.05.2017

Ing. Costa Mario



4 EMME Service S.p.A.

Prove in Sito - Laboratorio Prove Materiali

Sede legale: Via L. Zuegg, 20 E 39100 Bolzano - ITALY

Tel. 0471/543111 - Fax 0471/543110 - 4emme@legalmail.it - www.4emme.it

Sistema Qualità ISO 9001:2008 certificato RINA nr. 6441/01/S

INDAGINI SPERIMENTALI *SCUOLA MEDIA Í N. DALLE LASTEÎ* VIA N. DALLE LASTE N°4 - MAROSTICA (VI)

PROVE N° 5016-5017/VR

15÷17 marzo 2017

Committente: **Comune di Marostica**

Tecnico Incaricato: **ing. Mario Costa**

Relatore: **ing. Andrea Palermo**



Panoramica della sala oggetto di indagini appartenente all'edificio scolastico

RIF.: VR-014-17

Verona, 06 aprile 2017

C.F./P.I. IT 01288130212 Cap. Soc. 500.000,00 Euro R.E.A. - BZ 111601 CASSA CENTRALE RAIFFEISEN BZ IT49 B 03493 11600 000300027138

Bologna 051-6346808
Bolzano 0471-543111
Cagliari 070-490732
Como 031-305253

Firenze 055-461000
Genova 010-586195
Milano 02-40092545
Modena 059-395414

Padova 049-8020707
Palermo 091-6703629
Piacenza 0523-755849
Roma 06-71546992

Torino 011-7706023
Treviso 0438-990200
Verona 045-8004278

Laboratori Autorizzati
Bolzano 0471-543111
Milano 02-40092545

INDICE

1	PREMESSA	3
1.1	Planimetrie con ubicazione delle zone indagate	3
2	SOLAIO IN LATERO CEMENTO È PROVA N° 5016/VR	7
2.1	Descrizione della strumentazione.....	7
2.1.1	Parametri di controllo	8
2.2	Solaio del piano rialzato . Prova n° 5016/VR	9
2.2.1	Descrizione della prova.....	9
2.2.2	Schema ubicazione carico e sensori.....	10
2.2.3	Risultati della prova . 4 cicli di carico/scarico.....	11
3	ELEMENTI STRUTTURALI È PROVA N° 5017/VR	13
3.1	Indagini pachometriche . Prova n° 5017-A/VR.....	13
3.1.1	Descrizione della strumentazione	13
3.1.2	Risultati delle indagini	14
3.2	Saggi distruttivi . Prova n° 5017-B/VR	16
3.2.1	Risultati delle indagini	17
3.3	Prelievi barre e prove a trazione . Prova n° 5017-C/VR.....	24
3.3.1	Risultati delle prove di Laboratorio	26
3.4	Durezza Vickers . Prova n° 5017-D/VR	27
3.4.1	Descrizione della strumentazione	27
3.4.2	Metodologia di prova.....	27
3.4.3	Risultati dell'indagine	28
3.5	Metodo SonReb . Prova n° 5017-E/VR.....	29
3.5.1	Descrizione della strumentazione sclerometrica.....	29
3.5.2	Risultati delle battute sclerometriche.....	30
3.5.3	Descrizione della strumentazione ultrasonica	31
3.5.4	Risultati delle indagini ultrasoniche	34
3.5.5	Risultati delle indagini SonReb.....	35
3.6	Carotaggi e prove a compressione . Prova n° 5017-F/VR	36
3.6.1	Descrizione della strumentazione	36
3.6.2	Misura della profondità di carbonatazione.....	37
3.6.3	Dati dei provini estratti in cantiere	37
3.7	Risultati delle prove di Laboratorio	41
3.8	Indagini videoendoscopiche e saggi distruttivi . Prova n° 5017-G/VR.....	42
3.8.1	Descrizione della strumentazione	42
3.8.2	Risultati delle indagini videoendoscopiche	43
3.9	Analisi termografica . Prova n° 5017-H/VR.....	48
3.9.1	Descrizione della strumentazione e metodologia ad infrarossi	48
3.9.2	Risultati delle indagini termografiche.....	49
4	CONSIDERAZIONI TECNICHE FINALI	50

ALLEGATO:

Certificato n° 10228 del 28/03/2017

Certificato n° 10229 del 28/03/2017

1 PREMESSA

La Società **4 EMME Service S.p.A.** è stata incaricata dal **Comune di Marostica** di eseguire alcune indagini sperimentali su strutture appartenenti alla nord-est della **scuola media Í Nicola Dalle LasteÍ** sita in via N. Dalle Laste n°4 a Marostica (VI).

Le indagini sperimentali eseguite sono:

- n° 1 prova di carico su solaio in latero cemento
- n° 7 indagini pachometriche per individuare l'armatura nelle strutture
- n°14 saggi distruttivi per rilievo geometrico e strutturale
- n° 6 prelievi di barre d'armatura (n°6 prove a trazione di Laboratorio)
- n° 1 indagine con microduremetro Vickers su barra d'armatura per la valutazione della resistenza a trazione dell'acciaio
- n°12 indagini sclerometriche e ultrasoniche (Metodo SonReb) per stimare la resistenza a compressione del calcestruzzo
- n°12 carotaggi Ø100 mm con relative prove di Laboratorio per ricavare la resistenza a compressione del calcestruzzo
- n° 4 analisi videoendoscopiche per la determinazione della geometria di muri perimetrali e solai
- n° 2 analisi termografiche al fine di valutare la composizione di un solaio e di un muro perimetrale

Attraverso queste indagini in sito e di Laboratorio si intende verificare le caratteristiche dei materiali al fine di valutare la sicurezza sismica dell'edificio scolastico.

La scelta degli elementi strutturali da sottoporre a verifica, le modalità di rilevazione ed i punti di prelievo sono stati preventivamente concordati con il Tecnico Incaricato ing. Mario Costa.

Le indagini sperimentali sono state eseguite nelle date **15, 16 e 17 marzo 2017**.

Alle esecuzione delle indagini hanno assistito:

ing.	M. Costa	Tecnico Incaricato
ing.	A. Checchin	Comune di Marostica

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

geom.	P. Bassi
ing.	A. Palermo
geom.	S. Marcolini
geom.	M. Mantovani

1.1 Planimetrie con ubicazione delle zone indagate

Di seguito si riportano le planimetrie dell'edificio scolastico con l'ubicazione delle indagini (suddivise per piano e zona) sulle strutture portanti.

SR = esecuzione di una indagine SonReb (non prevista) per la curva di cantiere+ col relativo carotaggio.

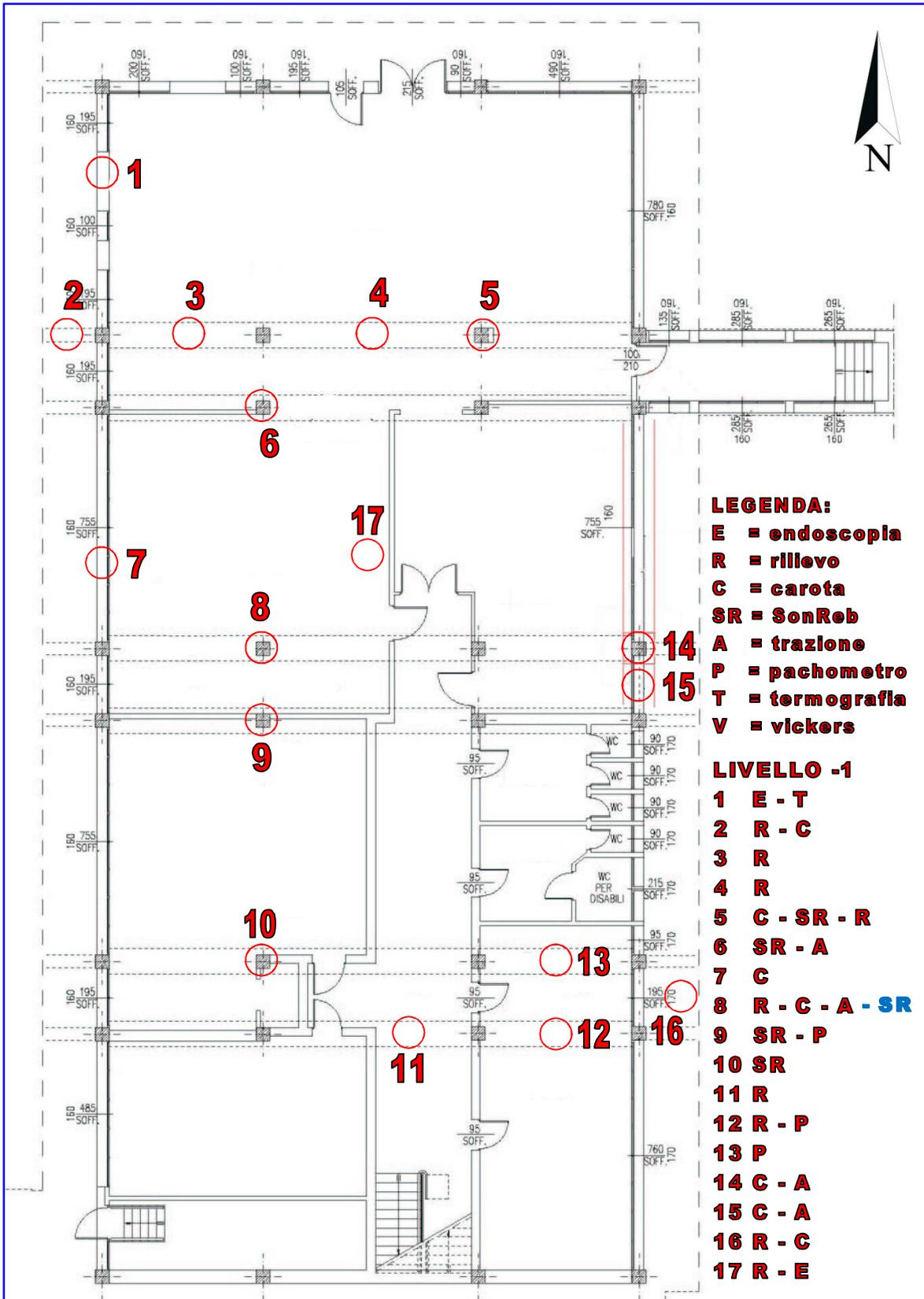


Fig. 1: Planimetrie piano seminterrato (L-1) con ubicazione delle 17 zone esaminate

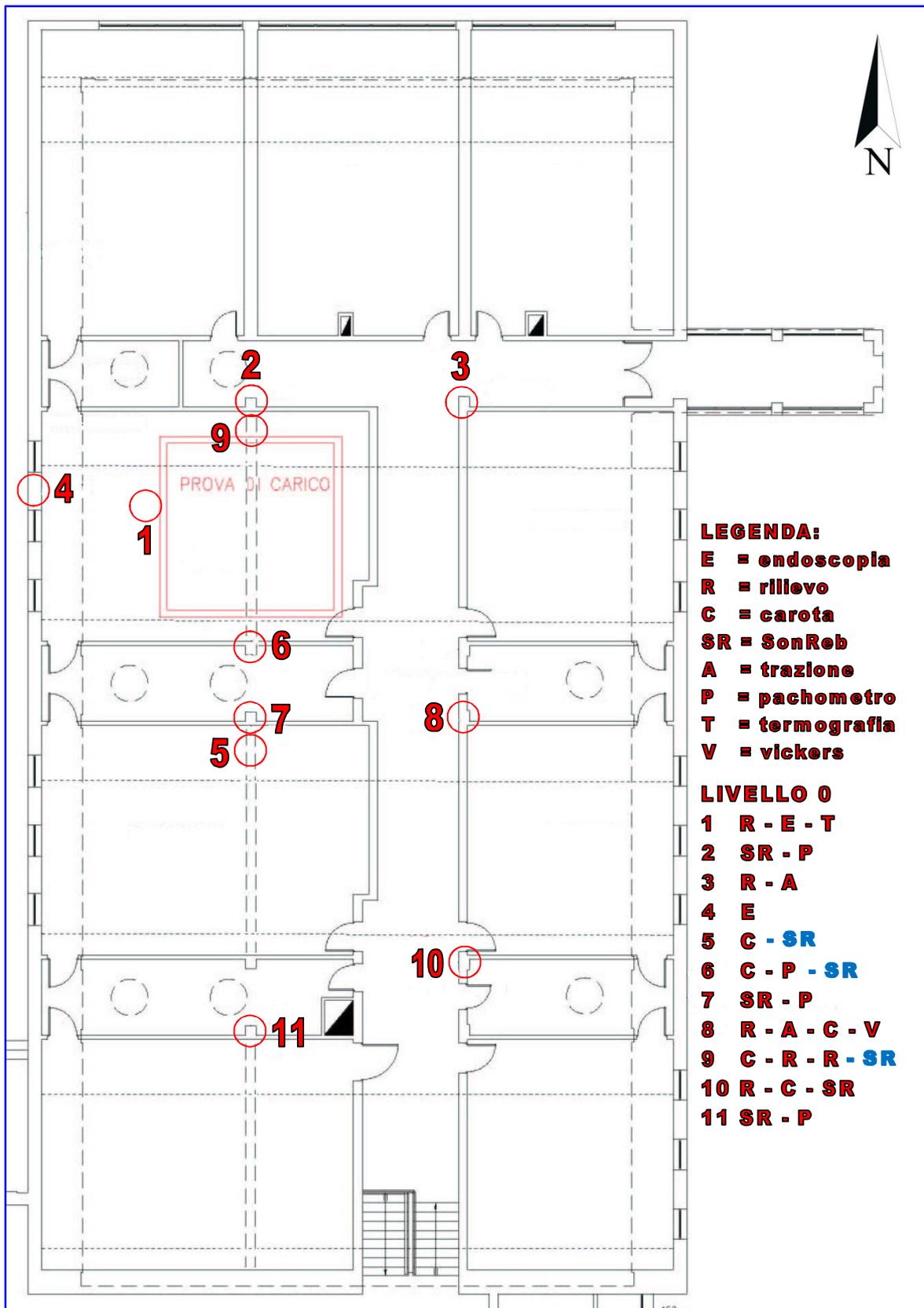


Fig. 2: Planimetria piano rialzato (L0) con ubicazione delle 11 zone esaminate

Tabella riassuntiva delle indagini eseguite nelle 28 zone esaminate:

Piano	Zona	Pachometri P	Saggi R	Armature A	Vickers V	SonReb SR	Carotaggi C	Endoscopie E	Termografie T
SEMINTERRATO	L-1 - 1							X	X
	L-1 - 2		X				X		
	L-1 - 3		X						
	L-1 - 4		X						
	L-1 - 5		X			X	X		
	L-1 - 6			X		X			
	L-1 - 7						X		
	L-1 - 8		X	X			X	X	
	L-1 - 9	X					X		
	L-1 - 10						X		
	L-1 - 11			X					
	L-1 - 12	X	X						
	L-1 - 13	X							
	L-1 - 14				X			X	
	L-1 - 15				X			X	
	L-1 - 16			X				X	
	L-1 - 17			X					X
RIALZATO	L0 - 1		X					X	X
	L0 - 2	X				X			
	L0 - 3		X	X					
	L0 - 4							X	
	L0 - 5					X	X		
	L0 - 6	X				X	X		
	L0 - 7	X				X			
	L0 - 8		X	X	X		X		
	L0 - 9		XX			X	X		
	L0 - 10		X			X	X		
	L0 - 11	X				X			
Totale		7	14	6	1	12	12	4	2

2 SOLAIO IN LATERO CEMENTO È PROVA N° 5016/VR

2.1 Descrizione della strumentazione

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 S.p.A.*

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:

escursione	$\pm 5,0 \text{ mm}$
sensibilità	$0,002 \text{ mm}$
linearità	$>99,5\%$

Cella di carico

La cella di carico 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:

escursione	$\pm 250 \text{ kN}$
sensibilità	10 daN
linearità	$99,4\%$

Calibrazione

La calibrazione è stata effettuata il 09 maggio 2016 e documentata col Certificato di Taratura n. 1304/16. 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».



Foto 1: Sensore LVDT



Foto 2: Collaudatore GS

2.1.1 Parametri di controllo

Nella prova sperimentale durante il carico delle strutture oltre alle frecce 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 una analisi statistica su una grande quantità di prove eseguite. Non superando questi limiti, si rientra in un comportamento di insieme che corrisponde a strutture progettate per resistere ad un determinato carico.

2.2 Solaio del piano rialzato È Prova n° 5016/VR

2.2.1 Descrizione della prova

La prova di carico è stata eseguita per verificare la idoneità statica di un solaio in latero cemento del piano rialzato, aula di tecnica - zona nord/ovest dell'edificio, avente una luce all'interasse degli appoggi di 8,00 m, uno spessore di 50 cm ed un passo tra i travetti di 50 cm.

Il carico richiesto e concordato preventivamente col Tecnico Incaricato, ing. Mario Costa, è pari a $q = 3,50 \text{ kN/m}^2$.

La prova, eseguita con il sistema oleodinamico in 4 cicli di carico/scarico, consiste nel generare lo stesso momento flettente che si otterrebbe col carico distribuito attraverso l'utilizzo di forze concentrate su una striscia larga 1,00 m.

Il carico è stato applicato alla spinta mediante l'utilizzo di tre martinetti oleodinamici posizionati in mezzera ed ai terzi luce del solaio esaminato e contrastati dal solaio di copertura.



Foto 3: Martinetti oleodinamici per l'applicazione del carico sul solaio



Foto 4: Sensori montati su aste per rilevare i cedimenti in tempo reale

In funzione dei parametri utilizzati la forza equivalente risulta essere:

$$F_{eq} = q \times C_v \times b \times L = 73,11 \text{ kN} \text{ pari a } 24,37 \text{ kN per martinetto}$$

dove:

$q = 3,50 \text{ kN/m}^2$ carico previsto;

$C_v = 0,64$ coefficiente di vincolo;

$b = 4,08 \text{ m}$ fascia collaborante;

$L = 8,00 \text{ m}$ luce.

2.2.2 Schema ubicazione carico e sensori

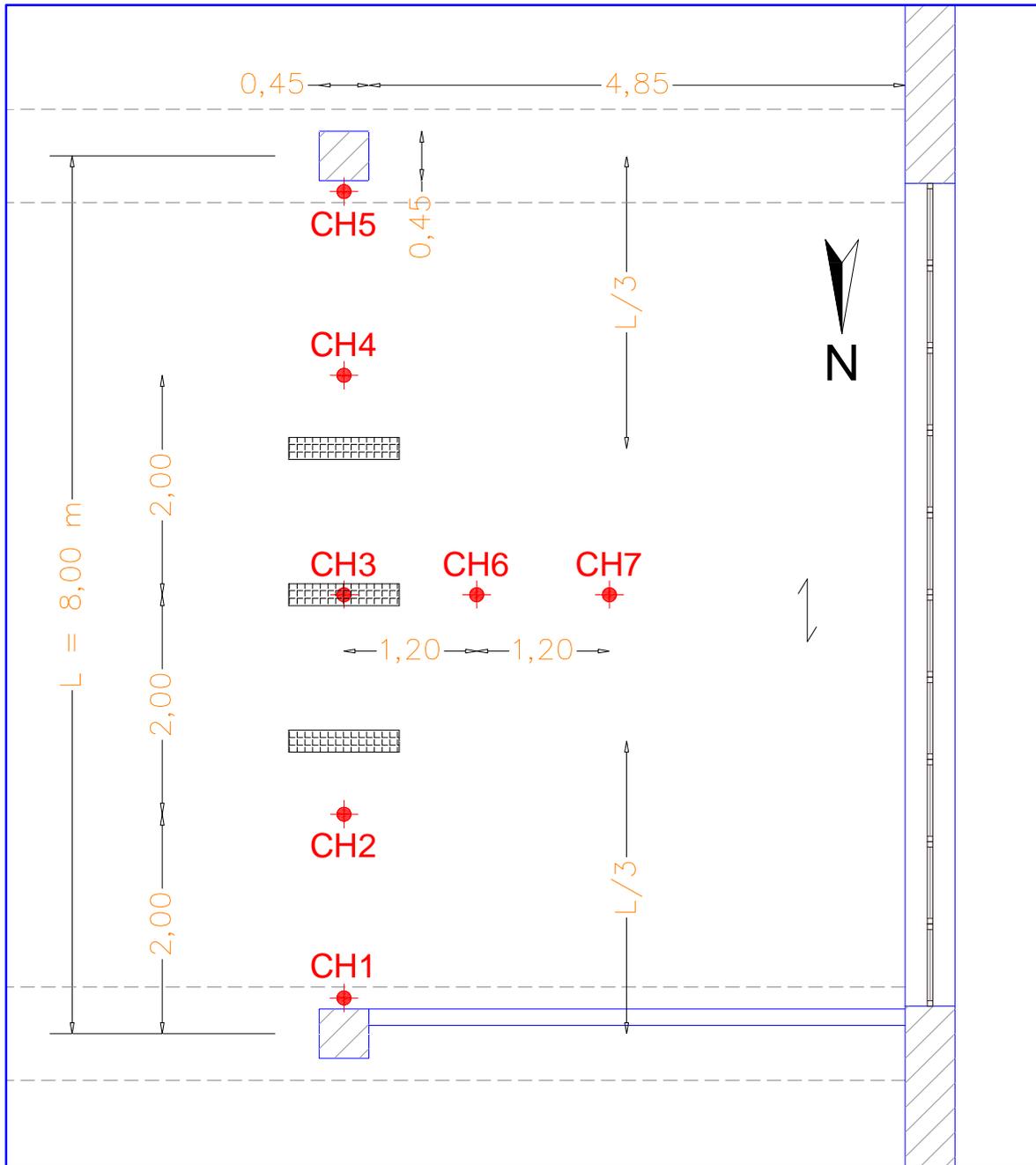


Fig. 3: *Disposizione martinetti e sensori*

2.2.3 Risultati della prova È 4 cicli di carico/scarico

Forza (kN)	Carico (kN/m ²)	Frecce (mm)							Orario (h.m.s)	Lin. %
		CH 1 App. N	CH 2 L/4 N	CH 3 L/2	CH 4 L/4 S	CH 5 App. S	CH 6 1° Trv.	CH 7 2° Trv.		
I CICLO DI CARICO/SCARICO										
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10.32.02	-
5,0	0,72	0,01	0,07	0,10	0,07	0,00	0,10	0,06	10.33.09	-
10,0	1,44	0,02	0,14	0,20	0,13	0,01	0,14	0,10	10.34.15	100
15,0	2,15	0,02	0,22	0,30	0,21	0,01	0,22	0,15	10.35.20	100
0,0	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	10.38.24	-
II CICLO DI CARICO/SCARICO										
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10.39.08	-
5,0	0,72	0,01	0,07	0,10	0,06	0,01	0,09	0,05	10.40.16	-
10,0	1,44	0,02	0,14	0,20	0,13	0,01	0,14	0,10	10.41.19	100
15,0	2,15	0,02	0,22	0,29	0,19	0,02	0,22	0,14	10.42.27	>100
20,0	2,87	0,03	0,30	0,39	0,27	0,02	0,30	0,19	10.43.35	>100
25,0	3,59	0,04	0,38	0,50	0,34	0,03	0,38	0,25	10.44.39	100
0,0	0,00	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,04	10.47.42	-
III CICLO DI CARICO/SCARICO										
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10.48.08	-
5,0	0,72	0,01	0,06	0,10	0,06	0,00	0,09	0,04	10.49.11	-
10,0	1,44	0,01	0,14	0,20	0,14	0,01	0,15	0,08	10.50.17	100
15,0	2,15	0,02	0,21	0,32	0,20	0,02	0,23	0,13	10.51.23	94
20,0	2,87	0,03	0,29	0,40	0,27	0,02	0,30	0,19	10.52.26	100
25,0	3,59	0,03	0,35	0,50	0,33	0,03	0,37	0,24	10.53.33	100
25,0	3,59	0,04	0,36	0,51	0,34	0,04	0,38	0,25	11.08.40	98
0,0	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	11.11.47	-
IV CICLO DI CARICO/SCARICO										
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11.13.02	-
5,0	0,72	0,00	0,06	0,11	0,07	0,00	0,08	0,04	11.14.06	-
10,0	1,44	0,00	0,14	0,21	0,14	0,01	0,15	0,08	11.15.08	>100
15,0	2,15	0,01	0,21	0,32	0,21	0,01	0,23	0,13	11.16.09	>100
20,0	2,87	0,01	0,28	0,40	0,27	0,01	0,30	0,19	11.17.09	>100
25,0	3,59	0,02	0,34	0,50	0,33	0,02	0,37	0,23	11.18.11	>100
20,0	2,87	0,02	0,28	0,40	0,28	0,02	0,30	0,21	11.19.14	-
15,0	2,15	0,02	0,20	0,32	0,21	0,01	0,22	0,16	11.20.23	-
10,0	1,44	0,02	0,14	0,21	0,14	0,01	0,15	0,11	11.21.25	-
5,0	0,72	0,02	0,06	0,11	0,07	0,01	0,08	0,07	11.22.28	-
0,0	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	11.23.34	-

IV CICLO DI CARICO/SCARICO				
Ripetibilità	Linearità media	Linearità minima	Permanenza	Area ist./carico
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
100	>100	>100	0	0

Curva di isteresi per il carico distribuito

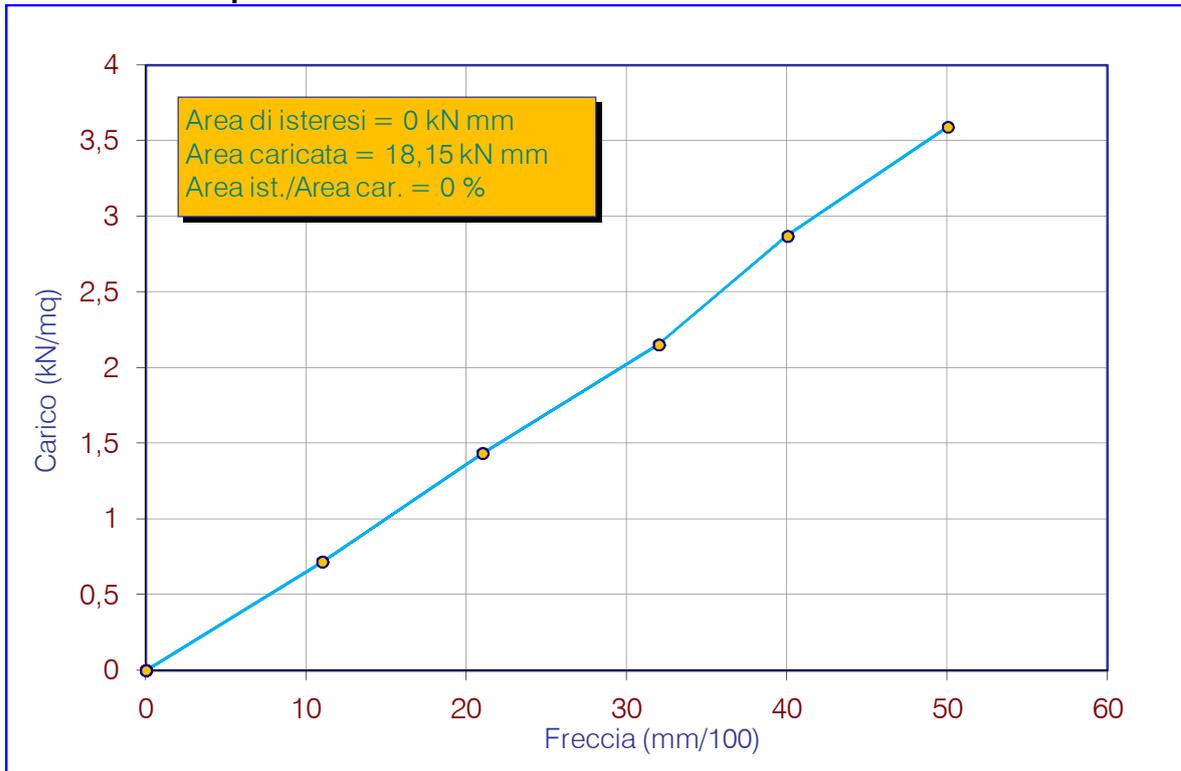


Fig. 4: *Grafico carico-deformazioni (I-IV ciclo)*

Grafico carico-deformazioni

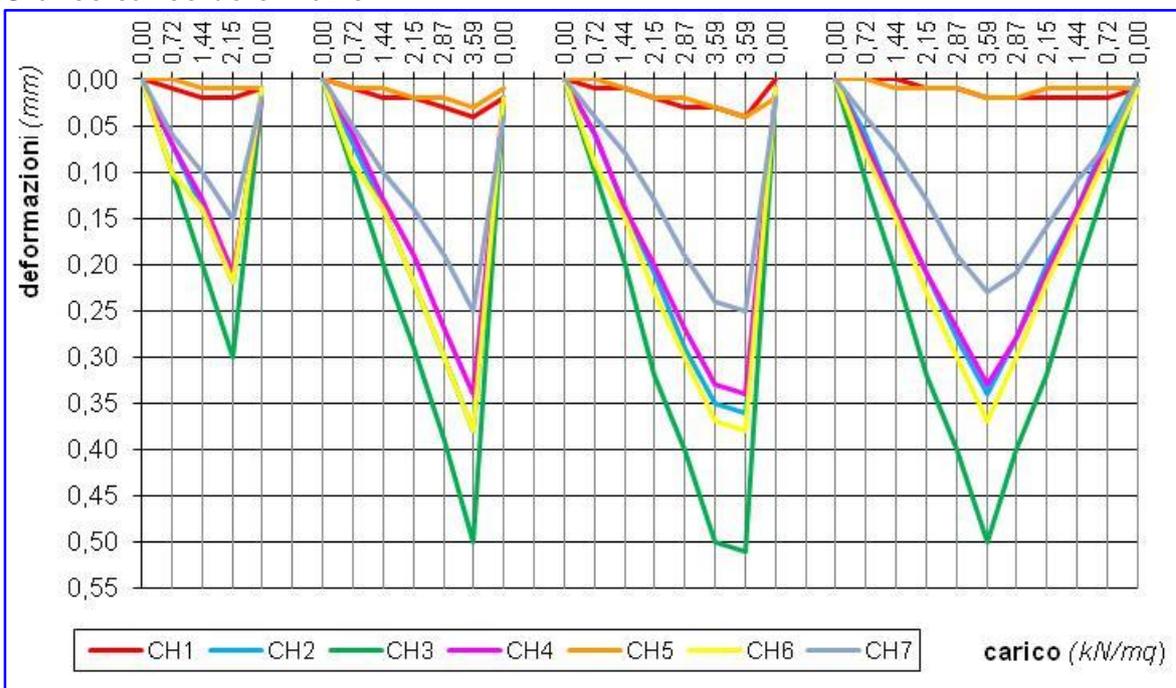


Fig. 5: *Grafico carico-deformazioni (I-IV ciclo)*

3 ELEMENTI STRUTTURALI È PROVA N° 5017/VR

3.1 Indagini pachometriche È Prova n° 5017-A/VR

3.1.1 Descrizione della strumentazione

Per l'esecuzione dell'indagine si è utilizzato lo strumento Pachometro P331 mod. S della Elcometer che sfrutta il principio della induzione di impulsi elettromagnetici.

Nella sonda è posto un solenoide cavo (l'aria fa da nucleo) trasmettente/ricevente, dotato di bilanciamento per azzerare gli effetti dei campi elettromagnetici parassiti. Grazie al nucleo cavo vengono superate le limitazioni (la sensibilità alle variazioni di temperatura, alle interferenze, all'umidità del calcestruzzo ed alla presenza di aggregati con proprietà ferromagnetiche) che affliggono i pachometri tradizionali, realizzati con solenoidi con nucleo in materiale ferromagnetico e impostati sulla tecnica dell'induzione di corrente elettrica mediante campi magnetici continuamente variabili. Impegnando impulsi elettromagnetici indipendenti dalla frequenza ed analizzando l'eco susseguente a ciascun impulso è possibile, all'interno di un campo magnetico di una barra d'armatura, acquisire un segnale stabile, preciso e ripetibile. La tecnica convenzionale di localizzazione delle barre d'armatura mediante correnti parassite impiega campi magnetici continuamente variabili, di media frequenza e presenta varie limitazioni già citate sopra.

La tecnica ad induzione di impulsi invece sfrutta due fasi distinte: prima viene generato un campo magnetico di intensità e successivamente il campo viene annullato (riducendo rapidamente la forza magneto-motrice a zero) e viene acquisito il flusso residuo, in fase di decadimento, in un oggetto ferro magnetico (la barra d'armatura) posto all'interno della area indagata. Le caratteristiche di questo segnale riflesso, come eco, sono strettamente correlate con quelle dell'oggetto stesso: massa, distanza dal sensore, aspetti dimensionali e geometrici, permeabilità magnetica e conduttività elettrica. Mediante elaborazione del segnale, noti tutti gli altri parametri, è possibile risalire, in maniera attendibile, alla distanza dell'oggetto dalla sonda. Gli effetti parassiti vengono depurati mediante campionamento ed elaborazione del segnale. La tecnica ad induzione di impulsi fornisce letture molto stabili ed è insensibile alle interferenze elettriche e agli effetti delle variazioni termiche. L'attrezzatura è costituita da:

1. Pachometro P331 mod. S;
2. Sonda trasmettente/ricevente;
3. Cavo di collegamento per sonda.

LIMITI STRUMENTALI	
campo operativo	da 8 mm a 95 mm
accuratezza	±2 mm
T° esercizio	da 0°C a 50°C

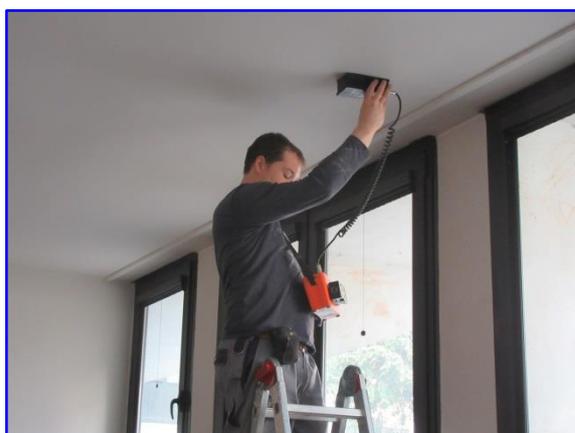


Foto 5: Indagine su trave



Foto 6: Indagine su pilastro

3.1.2 Risultati delle indagini

Tutte le armature rilevate sono lisce. I diametri rilevati sono Ø 16 mm per le barre verticali dei pilastri e Ø 20 mm per le armature orizzontali delle travi mentre le staffe sono sempre da 6 mm.

Tutti i copriferri indicati non comprendono l'intonaco e in tabella sono state inserite tre colorazioni:

 intonaco presente e misurato;  intonaco presente ma non misurato.

Zona (N°)	Elemento	Barre (mm)		Staffe (mm)		Intonaco (mm)	Note
		(Ø)	(copriferro medio)	(Ø / passo medio)	(copriferro medio)		
L-1 - 9	Pilastro	16	faccia N 35 faccia S 34 faccia W - faccia E -	6/160	faccia N 29 faccia S 20 faccia W - faccia E -	25 25 20 20	Indagine eseguita 125÷140 cm da terra zona in cui è stato rimosso l'intonaco per le SonReb. Faccia W ed E non indagate per presenza di tramezza ed intonaco.
L-1 - 12	Trave	20	intrados 27	6/170	intrados 13		Indagine eseguita tra 0 e 90 cm da pilastro est. Rilevate 5 barre all'intradosso invece delle 7 trovate nella zona del rilievo in cui si sono messe a nudo; tra i due travetti di barre se ne notano solo 3.
L-1 - 13	Trave	20	intrados 18	6/250	intrados 9		Indagine eseguita tra 140 e 200 cm da pilastro ovest. Rilevate 7 barre all'intradosso. Le barre laterali non si vedono dove piegano le staffe.
L0 - 2	Pilastro	16	faccia W 32 faccia E 35	6/150	faccia W 24 faccia E 28	20 20	Indagine eseguita tra 90 e 115 cm da terra zona in cui è stato rimosso l'intonaco per le SonReb. Rilevate 2 barre nel lato lungo (per simmetria si ipotizza la presenza di 6 totali).
L0 - 6	Pilastro	16	faccia S - faccia W 32 faccia E 38	6/150	faccia S - faccia W 21 faccia E 30	20 20 20	Indagine eseguita tra 70 e 115 cm da terra zona in cui è stato rimosso l'intonaco per le SonReb. Rilevate 2 barre nel lato lungo (per simmetria si ipotizza la presenza di 6 totali).
L0 - 7	Pilastro	16	faccia W 36 faccia E 33	6/160	faccia W 26 faccia E 24	20 20	Indagine eseguita tra 90 e 135 cm da terra zona in cui è stato rimosso l'intonaco per le SonReb. Rilevate 2 barre nel lato lungo (per simmetria si ipotizza la presenza di 6 totali).
L0 - 11	Pilastro	16	faccia W 35	6/140	faccia W 26	20	Indagine eseguita tra 90 e 135 cm da terra zona in cui è stato rimosso l'intonaco per le SonReb. Rilevate 2 barre nel lato lungo (per simmetria si ipotizza la presenza di 6 totali).

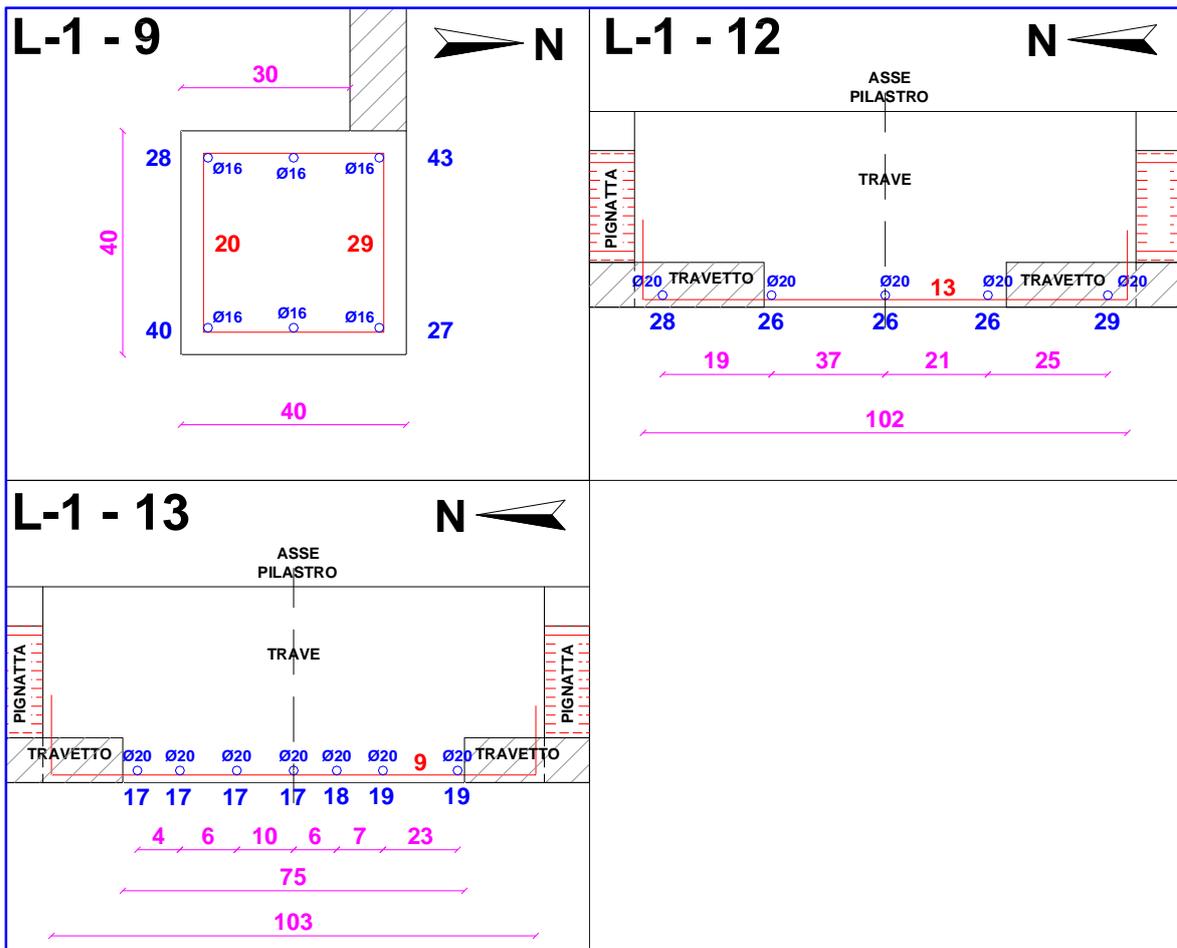


Fig. 6: *Schemi delle indagini pachometriche eseguite in L-1*

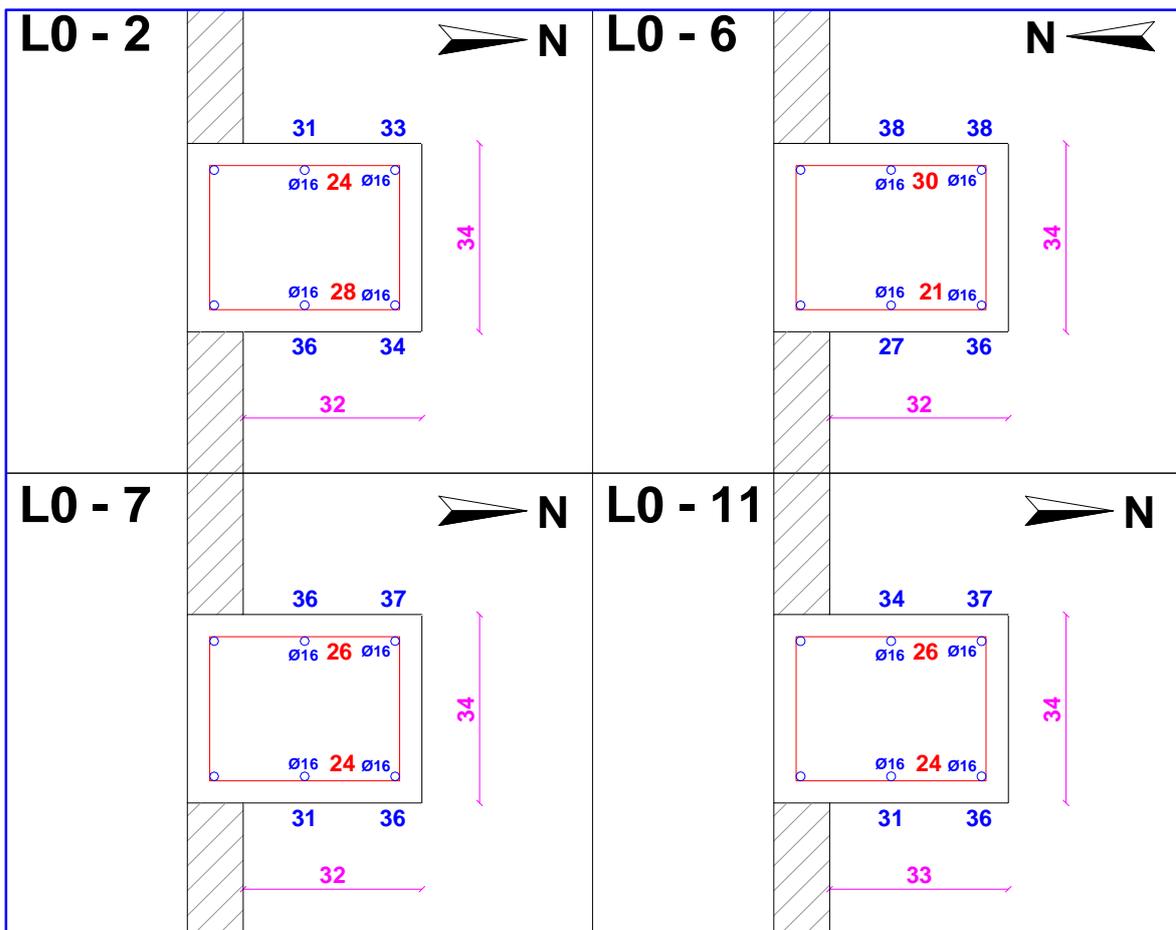


Fig. 7: *Schemi delle indagini pachometriche eseguite in L0*

3.2 Saggi distruttivi È Prova n° 5017-B/VR

A completamento delle indagini pachometriche si sono eseguiti alcuni saggi distruttivi di cui riportiamo schemi risultanti e fotografie.



Foto 7: *Rimozione di intonaco e copriferro*



Foto 8: *Armature in vista*

3.2.1 Risultati delle indagini

Tutte le armature rilevate sono lisce. I diametri rilevati sono $\varnothing 16$ mm per le barre verticali dei pilastri, e $\varnothing 20$ mm per le armature orizzontali delle travi e $\varnothing 24$ mm all'intonaco della trave a mensola mentre le staffe sono $\varnothing 6$ mm eccetto che nella mensola esterna dove sono $\varnothing 8$ mm.

Tutti i copriferri indicati non comprendono l'intonaco.

Zona (N°)	Elemento	Barre (mm)		Staffe (mm)		Intonaco (mm)	Note
		(\varnothing)	(copriferro medio)	(\varnothing / passo medio)	(copriferro medio)		
L-1 - 2	Trave a sbalzo	24	faccia N 65 faccia S - intrados 20	8/200	faccia N 45 faccia S - intrados 5	15 15 15	Indagine eseguita nella parte centrale dello sbalzo. E' stata individuata una barra che piega verso il solaio soprastante proveniente dal pilastro.
L-1 - 3	Trave	20	intrados 15	8/150	intrados <5	15	Indagine eseguita tra 200 e 210 cm da pilastro est. Rilevate 7 barre all'intonaco. Lo spessore del materiale fonoassorbente è di circa 30 mm.
L-1 - 4	Trave	20	intrados 10	6/160	intrados <5	20	Indagine eseguita tra 335 e 345 cm da pilastro ovest. Rilevate 8 barre all'intonaco. Lo spessore del materiale fonoassorbente è di circa 30 mm.
L-1 - 5	Pilastro	16	faccia N 30 faccia S - faccia W 40	6/200	faccia N 25 faccia S - faccia W 35	30 25 30	Indagine eseguita tra 125 e 135 cm da terra zona in cui è stato rimosso l'intonaco per le SonReb. Rilevate 3 barre nel lato W, 2 a N (per simmetria si ipotizza la presenza di 6 totali). Il lato E ha un rivestim. In laterizio di 22 cm.
L-1 - 8	Pilastro	16	faccia N - faccia S 30 faccia E 25	6/180	faccia N - faccia S 20 faccia E 15	20 20 20	Indagine eseguita tra 120 e 130 cm da terra zona in cui è stato rimosso l'intonaco per le SonReb. Rilevate 3 barre nel lato E, 2 a S (per simmetria si ipotizza la presenza di 6 totali).
L-1 - 11	Trave	20	intrados 10	6/220	intrados <5	15	Indagine eseguita tra 230 e 240 cm da pilastro est. Rilevate 8 barre all'intonaco. Le staffe della trave ed il getto di cls compenetrano nello spazio tra i travetti del solaio.
L-1 - 12	Trave	20	intrados <11	6/200	intrados <5	15	Indagine eseguita tra 190 e 200 cm da pilastro ovest. Rilevate 7 barre all'intonaco. Le staffe della trave ed il getto di cls compenetrano nello spazio tra i travetti del solaio.
L-1 - 16	Trave	10	intrados 20 faccia E 30	8/210	intrados 5 faccia E 20	15 -	Indagine eseguita tra 70 e 85 cm da trave a mensola sud. Rilevate 2 barre all'intonaco. Sul lato est non c'è intonaco ma un rivestimento in laterizio e malta per uno spessore totale di 7 cm.

Zona	Elemento	Barre (mm)		Staffe (mm)		Intonaco (mm)	Note
		(\varnothing)	(copriferro medio)	(\varnothing / passo medio)	(copriferro medio)		
L0 - 3	Pilastro	16	faccia N 55 faccia E 30	6/150	faccia N 45 faccia E 20	20 15	Indagine eseguita tra 110 e 120 cm da terra. Rilevate 2 barre nel lato corto (per similitudine con gli altri si ipotizza la presenza di 6 barre totali).
L0 - 8	Pilastro	16	faccia W 35	6/150	faccia W 25	20	Indagine eseguita tra 130 e 140 cm da terra. Rilevate 3 barre nel lato lungo (per simmetria si ipotizza la presenza di 6 totali).
L0 - 9	Trave inclinata	24	estrados 45 intrados 30 faccia We 26 faccia Wi 75 faccia Ee 30 faccia Ei 75	8/200	estrados 32 intrados 10 faccia We 15 faccia Wi 60 faccia Ee 20 faccia Ei 65	0 15 0 30 0 10	Indagine eseguita tra 60 e 70 cm da intradosso solaio e da estradosso copertura. Rilevate 8 barre all'estradosso e 3 all'intradosso (11 totali). L'inclinazione dell'infisso è differente da quella della trave. Nella porzione superiore della trave non è presente intonaco.
L0 - 10	Pilastro	16	faccia S - faccia E 30	6/150	faccia S - faccia E 20	25 25	Indagine eseguita tra 130 e 140 cm da terra. Rilevate 3 barre nel lato lungo (per simmetria si ipotizza la presenza di 6 totali).

Zona	Elemento	Travetti (mm)			Pignatte (mm)		Intonaco (mm)	Note
		Largh.	Int.	Armat.	Spessore	Largh.		
L-1 - 17	Solaio H = 50	120	500	5 trefoli da 5 mm	380	380	20	All'estradosso è presente una cappa di 8 cm ed un pavimento di 2 cm per un totale di 10 cm. Nella cappa c'è un ferro trasversale all'andamento dei travetti che appartiene presumibilmente ad una rete.
L0 - 1	Solaio H = 48	120	500	5 trefoli da 5 mm	300	380	30	All'estradosso è presente una cappa di 5÷6 cm ed un pacchetto di impermeabilizzazione di 9÷10 cm per un totale di 15 cm.

Seguono schemi indicativi e foto dei saggi eseguiti:



Foto 9: Zona L-1 - 2

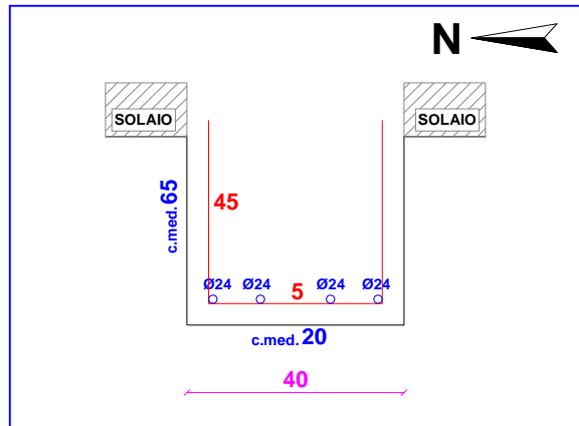


Fig. 8: Schema della mensola



Foto 10: Zona L-1 - 3

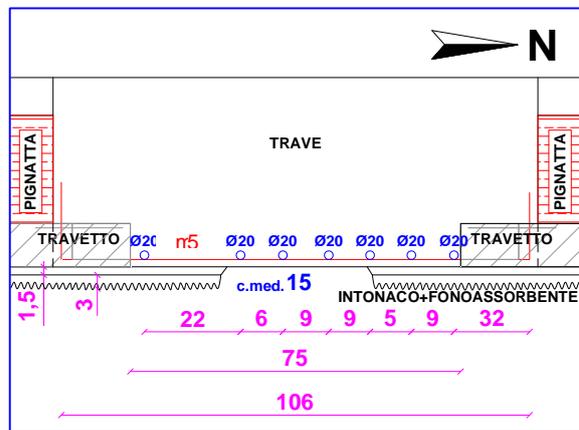


Fig. 9: Schema della trave



Foto 11: Zona L-1 - 4

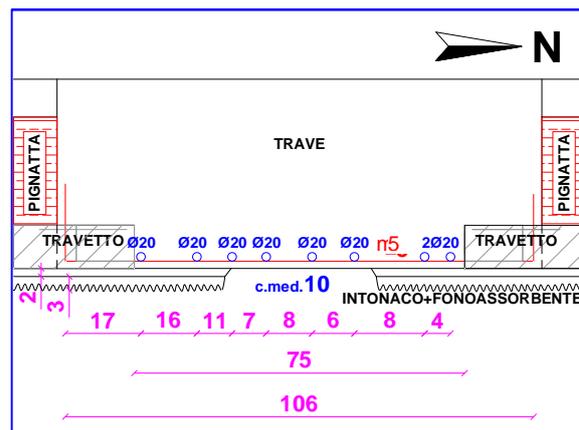


Fig. 10: Schema della trave



Foto 12: Zona L-1 - 5

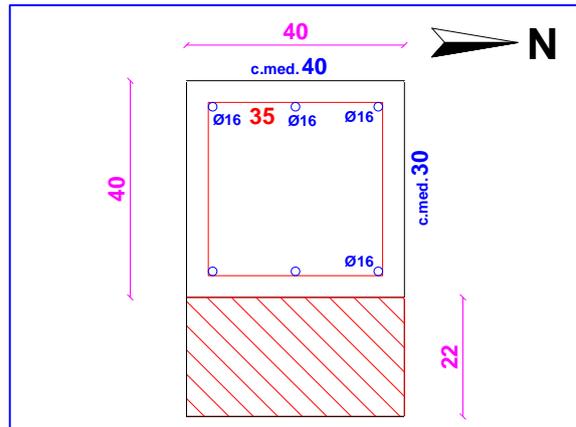


Fig. 11: Schema del pilastro



Foto 13: Zona L-1 - 8

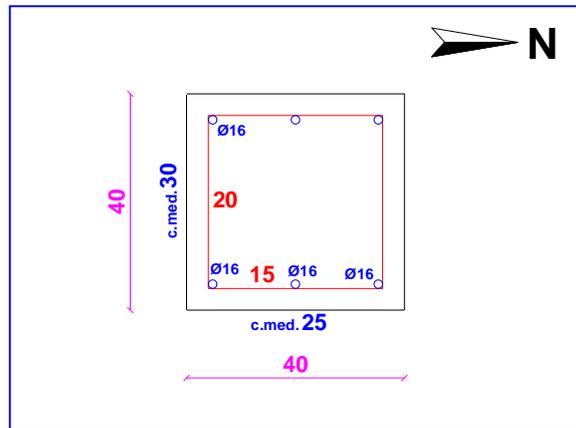


Fig. 12: Schema del pilastro

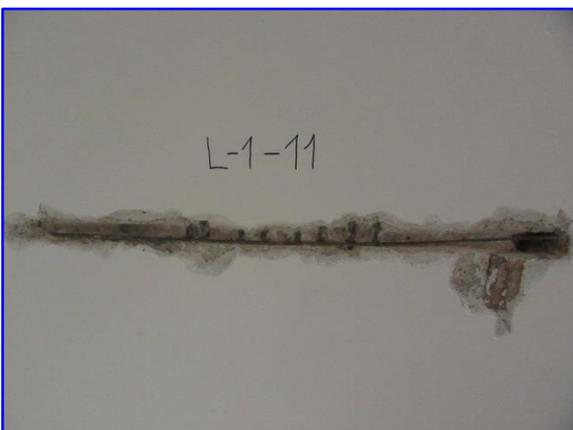


Foto 14: Zona L-1 - 11

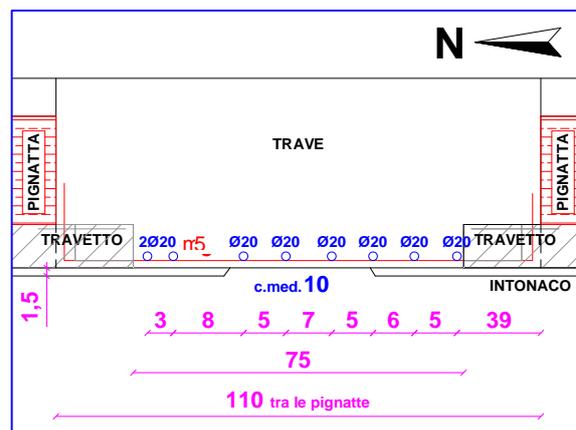


Fig. 13: Schema della trave



Foto 15: Zona L-1 - 12

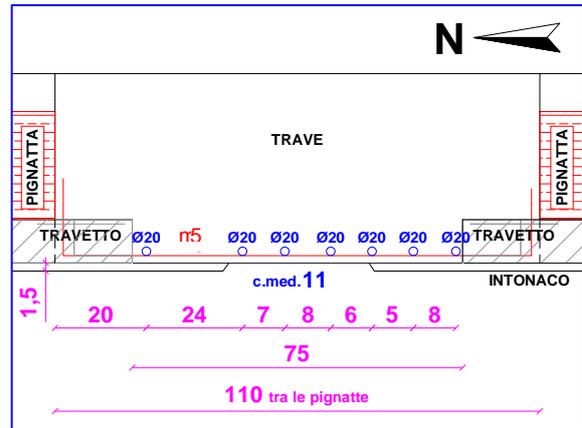


Fig. 14: Schema della trave



Foto 16: Zona L-1 - 16

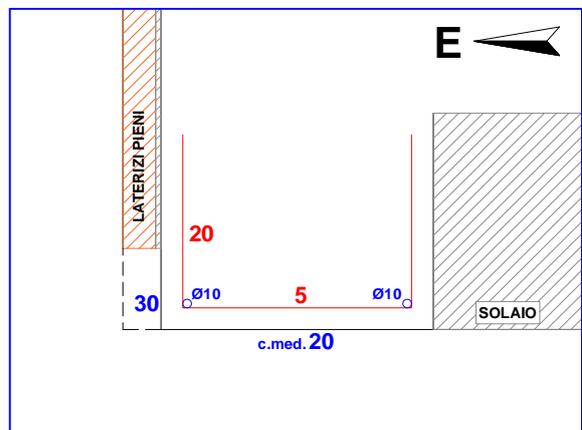


Fig. 15: Schema della trave



Foto 17: Zona L-1 - 17

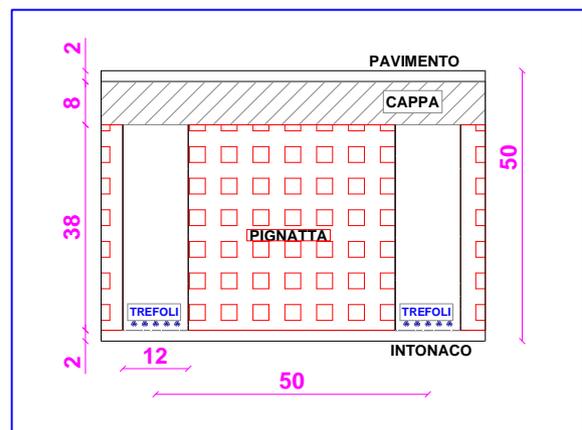


Fig. 16: Schema del solaio



Foto 18: Zona L0 - 1

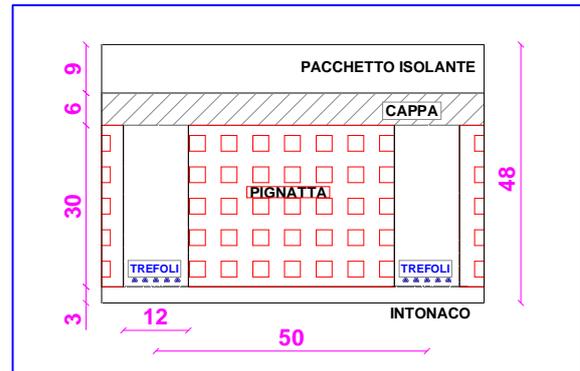


Fig. 17: Schema del solaio



Foto 19: Zona L0 - 3

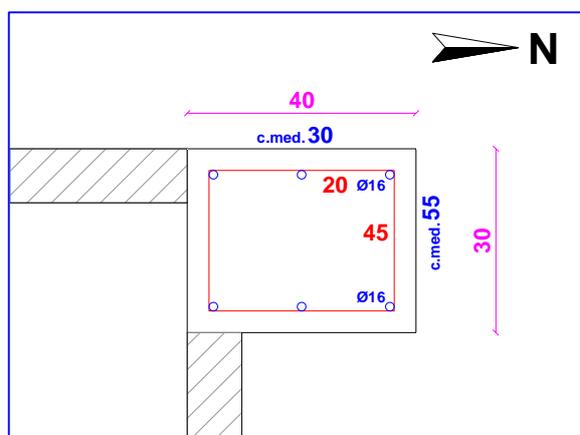


Fig. 18: Schema del pilastro



Foto 20: Zona L0 - 8

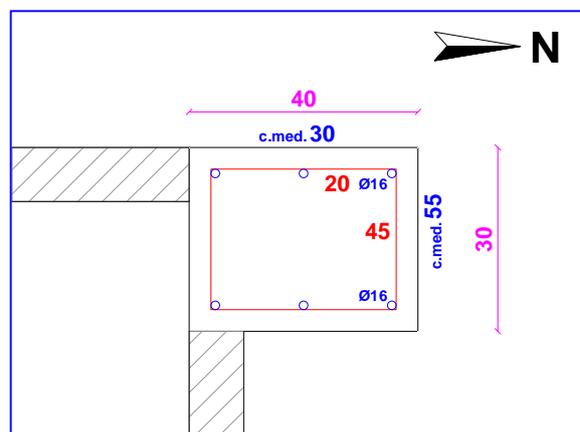


Fig. 19: Schema del pilastro



Foto 21: Zona L0 - 9 (intradosso)



Foto 22: Zona L0 - 9 (estradosso)

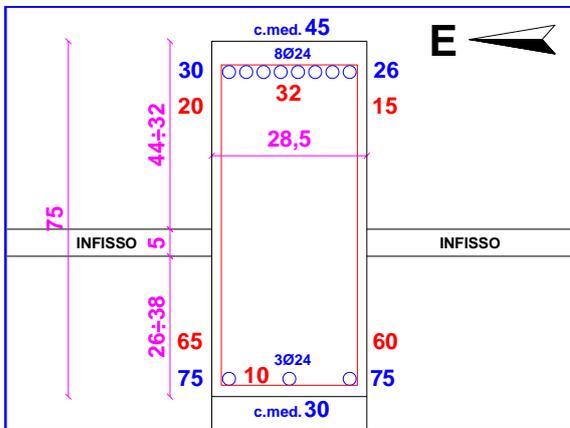


Fig. 20: Schema della trave obliqua



Foto 23: Zona L0 - 10

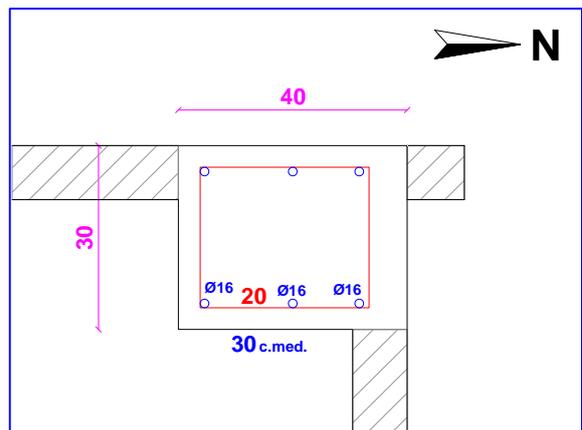


Fig. 21: Schema del pilastro

3.3 Prelievi barre e prove a trazione È Prova n° 5017-C/VR

Per il prelievo delle armature si è rimosso il copriferro su una porzione delle strutture ed in seguito si è provveduto all'asportazione del ferro con flessibile.



Foto 24: Taglio di una barra di pilastro



Foto 25: Taglio di una barra in fondazione



Foto 26: Zona L-1 - 6



Foto 27: Barra prelevata in L-1 - 6



Foto 28: Zona L-1 - 8



Foto 29: Barra prelevata in L-1 - 8



Foto 30: Zona L-1 - 14



Foto 31: Barra prelevata in L-1 - 14



Foto 32: Zona L-1 - 15

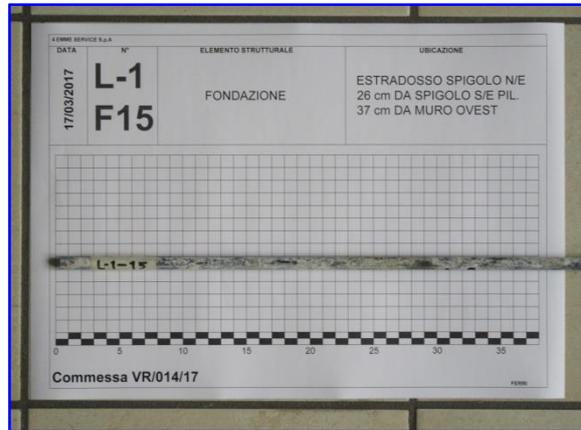


Foto 33: Barra prelevata in L-1 - 15



Foto 34: Zona L0 - 3



Foto 35: Barra prelevata in L0 - 3



Foto 36: Zona L0 - 8



Foto 37: Barra prelevata in L0 - 8

3.3.1 Risultati delle prove di Laboratorio

Zona (N°)	Ø nom. (mm)	Ø eff. (mm)	Tipo di acciaio	Riferimento struttura	f_y	f_t	Allungamento
					(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
L-1 - 6	16	15,76	liscio	pilastro	405,2	636,9	12,3
L-1 - 8	16	15,71	liscio	pilastro	403,6	635,4	16,6
L-1 - 14	22	21,89	liscio	pilastro	360,0	556,6	18,9
L-1 - 15	10	9,96	liscio	fondazione	393,0	575,5	14,7
L0 - 3	16	15,80	liscio	pilastro	390,1	605,9	19,2
L0 - 8	16	15,76	liscio	pilastro	401,4	616,6	16,3

Vedi in allegato il certificato n° 10229 del 28/03/2017.

3.4 Durezza Vickers È Prova n° 5017-D/VR

3.4.1 Descrizione della strumentazione

È stato utilizzato il Microdurometro portatile %Krautkrämer MIC 10+ con le seguenti caratteristiche tecniche:

- **Metodo di misura:** penetrazione con diamante Vickers, valutazione dell'impronta con metodo UCI (Impedenza Ultrasonica al Contatto);
- **Carico di prova:** 10,0 N - 50,0 N - 98,0 N;
- **Penetratore:** diamante Vickers piramidale, angolo al vertice 136°;
- **Tolleranze:** 5% da 200 HV a 900 HV; deviazione massima $\pm 3,6\%$ dal valore medio al valore del campione di riferimento;
- **Campi di misura:** Vickers: da 20 HV a 1740 HV;
- **Risoluzione:** 1,0 HV;
- **Visualizzazione:** grafica LCD a 4 cifre con retroilluminazione continua o disinseribile dopo 5+60 secondi.

La valutazione dell'impronta Vickers è effettuata per via elettronica con il metodo UCI. La misura della durezza si ottiene premendo la punta sulla superficie; il penetratore è montato sull'estremità di una barretta metallica a sezione circolare che viene eccitata a vibrare longitudinalmente con la sua frequenza di risonanza di circa 78 kHz. Nel contatto tra il diamante Vickers ed il provino, la frequenza di risonanza subisce una variazione che dipende dalla superficie dell'impronta, che costituisce a sua volta una misura della durezza del materiale preso in esame.

I valori di durezza Vickers (HV) ottenuti, possono essere convertiti nelle scale %Rockwell B+(41,0 ÷ 105,0 HRB), %Rockwell C+(20,3 ÷ 68,0 HRC) e %Brinell+(76,0 ÷ 618,0 HB), secondo le norme DIN 50150 e ASTM E 140.

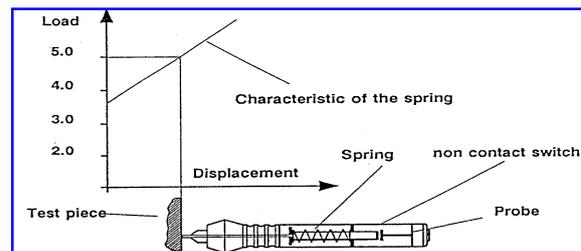


Fig. 22: *Schema prova di microdurezza*

3.4.2 Metodologia di prova

L'area di indagine è stata preparata eliminando dapprima il copriferro, con trapano demolitore, e successivamente levigando l'armatura al fine di ottenere una superficie piana idonea alla misurazione della durezza.

Si è eseguito un set di 15 misure di cui è stata fatta la media scartando il valore più alto e quello più basso.



Foto 38: *Smerigliatura armatura su pilastro*



Foto 39: *Acquisizione dei dati su pilastro*

L'indagine con il microdurometro è stata eseguita su una barra verticale liscia; di seguito la tabella riassuntiva dei dati rilevati:

Zona (N°)	Elemento	Spigolo	Posizione (cm)	Ø barra (mm)	Ø staffa (mm)
L0 - 8	Pilastro	N/W	H _T =75÷85	16	6 /15cm

3.4.3 Risultati dell'Indagine

L0 - 8																
N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	HV
HV	191	187	192	193	188	199	180	203	187	188	191	193	181	184	183	190

N.B.: In azzurro sono indicati il valore più alto e più basso registrati e non considerati nel calcolo della media che viene approssimata al più prossimo multiplo di 5.

Nella tabella di seguito è presentato il riepilogo delle medie HV con la conversione dei dati in scala Brinell, secondo la norma DIN 50150 e la stima della resistenza a trazione (Tensile strenght):

Zona	Vickers	Brinell	Tensile strength (MPa)
L0 - 8	190	181	610

In riferimento a quanto indicato dal D.M. 09/01/1996 (Norme Tecniche per il c.a. in vigore prima del D.M.14/09/2005 e delle NTC 2008):

BARRE	lisce FeB22K (MPa)	lisce FeB32K (MPa)	ad. migliorata FeB38K (MPa)	ad. migliorata FeB44K (MPa)
Tensione di rottura a trazione (MPa)	>335	>490	>450	>540

3.5 Metodo SonReb È Prova n° 5017-E/VR

Il SonReb è un procedimento in cui si combina l'utilizzo di prove sclerometriche e di prove ad ultrasuoni per ridurre gli errori commessi dalle stesse (SONic + REBound = ultrasuoni + sclerometro), si è infatti notato che il contenuto di umidità fa sottostimare l'indice sclerometrico e sovrastimare la velocità ultrasonica, e che, all'aumentare dell'età del calcestruzzo, l'indice sclerometrico aumenta mentre la velocità ultrasonica diminuisce; l'uso combinato delle due prove consente quindi di compensare in parte gli errori commessi utilizzando singolarmente le due metodologie.

L'applicazione del metodo SonReb richiede la valutazione dei valori locali della velocità ultrasonica V e dell'indice di rimbalzo IR , a partire dai quali è possibile ottenere la resistenza del calcestruzzo R_c mediante le seguenti formule:

- | | |
|--|--|
| a) formula fornita da A. Di Leo e G. Pascale: | $R_c = 1,2 \cdot 10^{-9} \cdot IR^{1,058} \cdot V^{2,446}$ |
| b) formula fornita da R. Giacchetti e L. Lacquaniti: | $R_c = 7,695 \cdot 10^{-11} \cdot IR^{1,4} \cdot V^{2,6}$ |
| c) formula fornita da J. Gazparik: | $R_c = 8,06 \cdot 10^{-8} \cdot IR^{1,246} \cdot V^{1,85}$ |
| d) formula fornita da RILEM 43 CND: | $R_c = 9,27 \cdot 10^{-11} \cdot IR^{1,4} \cdot V^{2,6}$ |

3.5.1 Descrizione della strumentazione sclerometrica

La prova è stata eseguita con uno sclerometro *DRC* modello *ectha PRO 15D0134A* per calcestruzzo con dispositivo automatico incorporato che registra su memoria SD i valori di rimbalzo.

Lo sclerometro è costituito da una massa battente in acciaio, azionata da una molla, che contrasta una molla di percussione a contatto sulla superficie di prova del calcestruzzo dell'elemento indagato; il valore di rimbalzo della massa battente è misurato mediante un indice di lettura trascinato su una scala lineare alloggiata nella cassa dello sclerometro.

La tecnica è unificata nelle norme UNI EN 12504-2: 2001, e prevede di eseguire le battute in n° 9 su una area ristretta (es. 30x30 cm) dell'elemento strutturale, previa rimozione dell'intonaco, individuazione dei ferri con pachometro e pulitura della stessa con apposita pietra abrasiva. L'indice di rimbalzo, IR , è ricavato mediando tutti i valori acquisiti ed è correlabile con la resistenza cubica a compressione in base a curve di correlazione sperimentali indicate dal costruttore dello strumento.



Foto 40: Indagine su pilastro

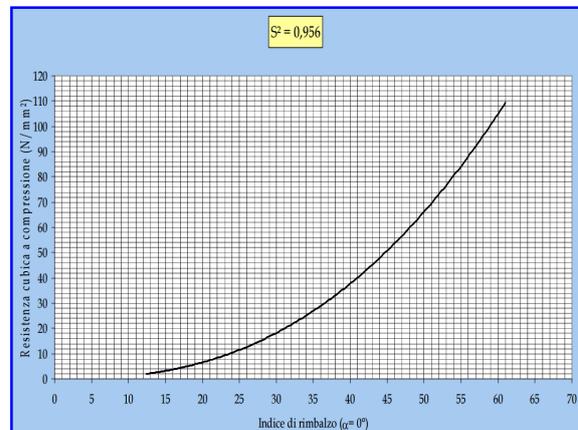


Foto 41: Grafico di conversione $\alpha=0^\circ$

3.5.2 Risultati delle battute sclerometriche

Zona (N°)	Elemento	Posizione indagine	α (°)	Battute sclerometriche					Media
L-1 - 5	Pilastro	h terra 130 cm faccia nord	0	49	51	45	53	52	Media 49
				47	51	49	48	45	
L-1 - 6	Pilastro	h terra 140 cm faccia sud	0	55	54	50	55	54	Media 55
				57	58	56	57	54	
L-1 - 8	Pilastro	h terra 115 cm faccia ovest	0	52	46	53	55	53	Media 51
				51	49	48	47	52	
L-1 - 9	Pilastro	h terra 135 cm faccia nord	0	57	58	53	51	51	Media 56
				58	53	59	59	58	
L-1 - 10	Pilastro	h terra 130 cm faccia nord	0	54	57	49	49	56	Media 53
				53	48	50	57	52	
L0 - 2	Pilastro	h terra 105 cm faccia est	0	53	54	56	54	55	Media 53
				53	48	48	53	53	
L0 - 5	Trave	50 cm da spig. inf. faccia ovest	0	53	52	52	52	56	Media 51
				46	47	49	48	56	
L0 - 6	Pilastro	h terra 120 cm faccia ovest	0	50	49	50	53	51	Media 49
				49	50	47	48	45	
L0 - 7	Pilastro	h terra 90 cm faccia ovest	0	54	49	51	54	48	Media 53
				55	54	55	55	52	
L0 - 9	Trave	45 cm da spig. sup. faccia ovest	0	51	45	43	46	50	Media 47
				46	43	49	47	49	
L0 - 10	Pilastro	h terra 140 cm faccia ovest	0	48	47	48	43	43	Media 47
				48	51	48	49	43	
L0 - 11	Pilastro	h terra 110 cm faccia ovest	0	47	54	50	56	47	Media 51
				56	47	49	52	55	

3.5.3 Descrizione della strumentazione ultrasonica

Per la prosecuzione delle prove è stata utilizzata l'apparecchiatura ultrasonica modello **IMG 5100CSD**, con energia di trasmissione selezionabile tra 0,9 e 1,8 kV, e sonde da 50 kHz.

Il metodo ad ultrasuoni è basato sulla rilevazione di treni d'onde immessi in un manufatto. Applicando un impulso ad un corpo rigido si producono vari tipi di treni d'onde (longitudinali, trasversali e di superficie). Le onde con velocità maggiore e quindi le più facilmente individuabili sono quelle di tipo longitudinale che sono utilizzate nella diagnostica dei materiali.

La velocità delle onde longitudinali che si trasmettono in un mezzo elastico omogeneo ed isotropo è data dalla seguente formula:

$$V_p = \sqrt{\frac{g \cdot E_d \cdot (1 - \mu)}{\rho \cdot (1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu)}}$$

Da questa si risale al modulo elastico:

$$E_d = V_p^2 \cdot \rho \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{g(1 - \mu)}$$

dove:

- g = accelerazione di gravità (9,81 m/s²);
- E_d = modulo elastico dinamico del mezzo;
- V_p = velocità rilevata (m/s);
- μ = coefficiente di Poisson (0,15÷0,35);
- ρ = densità del mezzo (kN/m³).

Il metodo consiste nel propagare dei treni di impulsi ultrasonici nel campo delle frequenze 15÷200 kHz. Il segnale è emesso da una sonda posta a contatto col materiale e nel misurare il tempo di transito per raggiungere la sonda ricevente posta ad una distanza nota.

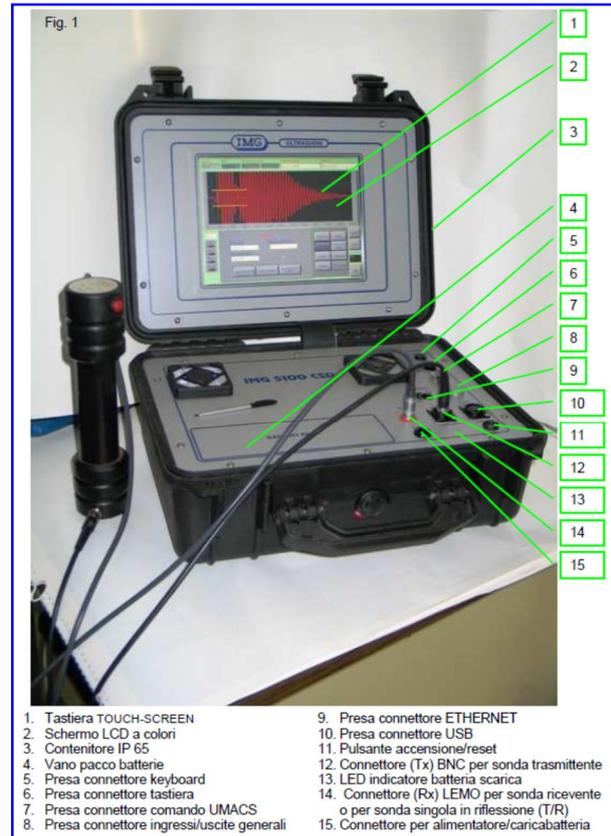


Foto 42: IMG 5100CSD

Con riferimento alla normativa UNI EN 12504. 4: 2005, seguita nel corso delle indagini, è stato adottato sia il metodo di misura **%diretto+** (con i trasduttori posizionati su due superfici opposte dello stesso elemento) sia **%semidiretto+** (con i trasduttori posizionati su due superfici perpendicolari tra loro). La misura **%+** rappresenta la distanza tra le sonde.

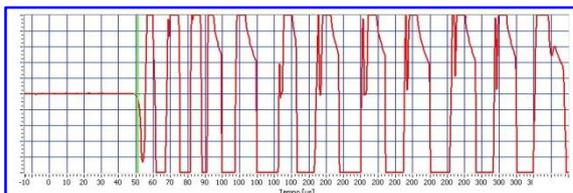


Fig. 23: Segnale acquisito durante la taratura dello strumento

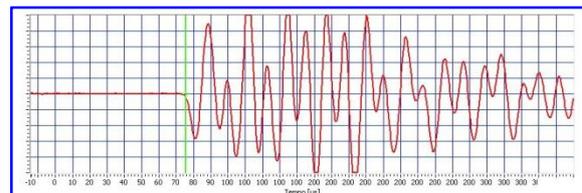


Fig. 24: Esempio di segnale acquisito durante un'indagine

Alcune indagini sono state eseguite negli elementi dove previsto il carotaggio al fine di ricostruire una curva di conversione specifica dell'edificio.



Foto 43: Taratura della strumentazione



Foto 44: Indagine diretta su pilastro



Foto 45: Indagine diretta su trave



Foto 46: Indagine semidiretta su pilastro

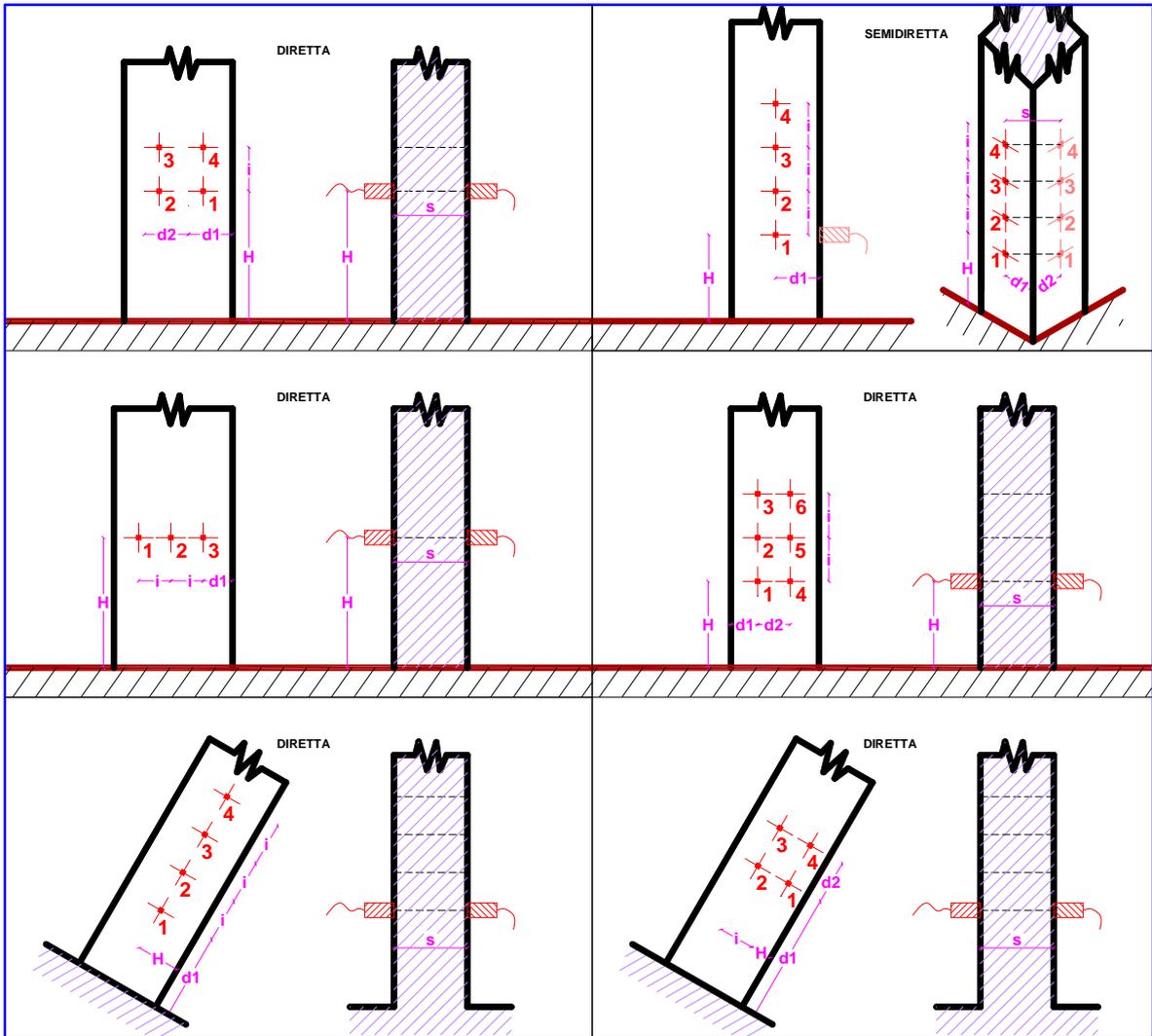


Fig. 25: Schemi posizione punti d'indagine sugli elementi (metodi %diretto+e %semidiretto+)

3.5.4 Risultati delle indagini ultrasoniche

Zona (N°)	Elemento	Metodo	H (cm)	d ₁ /d ₂ (cm)	i (cm)	n°	Gain (dB)	T _{of} (μs)	s (cm)	V (m/s)	V _{media} (m/s)
L-1 - 5	Pilastro	D	130	10/-	10	1	42	97,8	40	4091	4050
						2	46	100,5		3979	
						3	42	98,1		4079	
L-1 - 6	Pilastro	D	130	10/15	15	1	38	96,3	40	4156	4192
						2	38	95,6		4185	
						3	38	95,5		4189	
						4	38	94,4		4237	
L-1 - 8	Pilastro	D	115	10/-	10	1	44	99,3	40	4030	4032
						2	44	98,3		4071	
						3	40	100,1		3996	
L-1 - 9	Pilastro	D	135	10/-	10	1	40	96,8	40	4133	4104
						2	40	97,7		4096	
						3	40	98		4082	
L-1 - 10	Pilastro	D	120	10/10	15	1	40	96,3	40	4154	4179
						2	40	96,1		4161	
						3	38	95,5		4187	
						4	40	94,9		4215	
L0 - 2	Pilastro	D	100	10/15	10	1	40	72,1	30	4159	4045
						2	46	75,2		3991	
						3	42	75,7		3961	
						4	48	73,7		4069	
L0 - 5	Trave	D	6	20/-	15	1	58	92,6	39	4213	4211
						2	58	92,6		4212	
						3	68	92,8		4204	
						4	62	92,5		4214	
L0 - 6	Pilastro	D	110	10/10	10	1	46	76,2	30	3939	3974
						2	44	76,4		3929	
						3	40	73,8		4066	
						4	44	76,6		3914	
						5	38	74,6		4020	
						6	42	75,5		3975	
L0 - 7	Pilastro	D	80	10/15	10	1	38	76,1	30	3944	3892
						2	46	77,9		3854	
						3	46	78,3		3830	
						4	40	74,4		4033	
						5	38	76,1		3943	
						6	38	80		3750	
L0 - 9	Trave	D	4	40/12	8	1	60	90,1	38	4218	4226
						2	48	87,8		4328	
						3	48	90,2		4213	
						4	66	91,7		4146	

Zona (N°)	Elemento	Metodo	H (cm)	d ₁ /d ₂ (cm)	i (cm)	n°	Gain (dB)	T _{of} (μs)	s (cm)	V (m/s)	V _{media} (m/s)
L0 - 10	Pilastro	D	130	15/15	10	1	40	77,5	30	3871	3942
						2	36	75,1		3997	
						3	36	75,2		3989	
						4	40	76,7		3911	
L0 - 11	Pilastro	SD	105	25/20	10	1	62	78,5	32	4075	4033
						2	52	80,1		3994	
						3	52	78,9		4053	
						5	54	79,8		4008	

3.5.5 Risultati delle indagini SonReb

Combinando i risultati degli sclerometri con le velocità degli ultrasuoni si determinano infine le resistenze del calcestruzzo R_c con le 4 formule precedentemente riportate ($a-d$):

Zona (N°)	IR _{medio}	V _{media} (m/s)	R _c (MPa)			
			a	b	c	d
L-1 - 5	49	4050	49,1	42,8	48,5	51,6
L-1 - 6	55	4192	60,4	55,1	59,7	66,3
L-1 - 8	51	4032	50,3	44,3	50,1	53,4
L-1 - 9	56	4104	58,1	53,0	58,4	63,9
L-1 - 10	53	4179	57,1	51,2	56,1	61,7
L0 - 2	53	4045	52,9	47,3	53,0	57,0
L0 - 5	51	4211	56,5	50,3	55,0	60,6
L0 - 6	49	3974	47,1	41,0	47,1	49,4
L0 - 7	53	3892	48,1	42,8	49,4	51,5
L0 - 9	47	4226	52,0	45,0	49,7	54,2
L0 - 10	47	3942	43,8	37,4	43,6	45,1
L0 - 11	51	4033	51,0	45,2	51,0	54,4

3.6 Carotaggi e prove a compressione È Prova n° 5017-FVR

3.6.1 Descrizione della strumentazione

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.

Le carote sono state inviate al **Laboratorio Prove Materiali** della 4 EMME Service S.p.A. a Bolzano in via L. Zuegg, 20 dove sono state tagliate, rettificate e sottoposte alla prova di compressione tramite appositi macchinari. Il valore della resistenza cubica è ottenuta da quella cilindrica attraverso le seguenti espressioni (NTC 14/01/2008):

$$(H/\varnothing=2/1) R_{cub} = f_c/0,83$$

Dove $\lambda = H/\varnothing$ (altezza/diametro del provino).



Foto 47: Carotatrice Hilti utilizzata



Foto 48: Carotaggio su pilastro



Foto 49: Carotaggio su trave



Foto 50: Carotaggio su fondazione

3.6.2 Misura della profondità di carbonatazione

La prova ha lo scopo di misurare la profondità di carbonatazione dello strato superficiale del calcestruzzo. Il calcestruzzo ha un carattere fortemente alcalino, perché possiede un valore di pH circa 12.5, che costituisce una protezione naturale contro la corrosione dell'armatura. Il fenomeno chimico è dovuto all'anidride carbonica dell'aria che, penetrando nei pori del calcestruzzo, neutralizza la calce libera presente. Il pH del calcestruzzo scende a valori inferiori a 9 provocando il fenomeno della carbonatazione che fornisce allo strato superficiale maggiore durezza ingannando così i risultati delle prove sclerometriche e pull-out.

L'indagine, eseguita possibilmente subito dopo il prelievo, consiste nello spruzzare sulla carota la soluzione di fenoftaleina, al 1% di alcool etilico, che reagisce con il calcestruzzo; se carbonatato quest'ultimo rimane inalterato viceversa tende a colorarsi di viola.

3.6.3 Dati dei provini estratti in cantiere

Zona (N°)	Elemento	Lunghezza (mm)	Ø (mm)	Carbonat. (mm)		Esposizione faccia	Posizione
				($d_{k\ media}$)	($d_{k\ max}$)		
L-1 - 2	Mensola	193÷204	100	19	23	nord	h terra 140 cm 22 cm da spigolo est
L-1 - 5	Pilastro	211÷223	100	16	23	nord	15 cm da intradosso 44 cm da pilastro est
L-1 - 7	Muro	215÷219	100	17	20	est	h terra 127 cm 126 cm da spigolo sud
L-1 - 8	Pilastro	202÷214	100	15	18	est	h terra 134 cm 15 cm da spigolo sud
L-1 - 14	Pilastro	263÷272	100	0	0	est	h fondazione 67 cm 15 cm da spigolo sud
L-1 - 15	Fondazione	240÷265	100	0	0	estradosso	24 cm da muro ovest 12 cm da spigolo SE pil.
L-1 - 16	Trave	262÷268	100	12	25	est	15 cm da intradosso 112 cm da mensola sud
L0 - 5	Trave	207÷219	100	38	44	intradosso	17 cm da spig. Intr. E 11 cm da solaio cop.
L0 - 6	Pilastro	202÷221	100	16	19	sud	h terra 113 cm 17 cm da spigolo ovest
L0 - 8	Pilastro	257÷268	100	10	14	ovest	h terra 167 cm 66 cm da porta nord
L0 - 9	Trave	210÷215	100	31	36	ovest	13 cm da intradosso 15 cm da solaio cop
L0 - 10	Pilastro	250÷261	100	8	12	est	h terra 152 cm 17 cm da spigolo sud

N.B. Le altezze da terra si riferiscono sempre alla quota solaio del livello indagato.



Foto 51: Foro della carota L-1 - 2



Foto 52: Carota L-1 - 2



Foto 53: Foro della carota L-1 - 5



Foto 54: Carota L-1 - 5

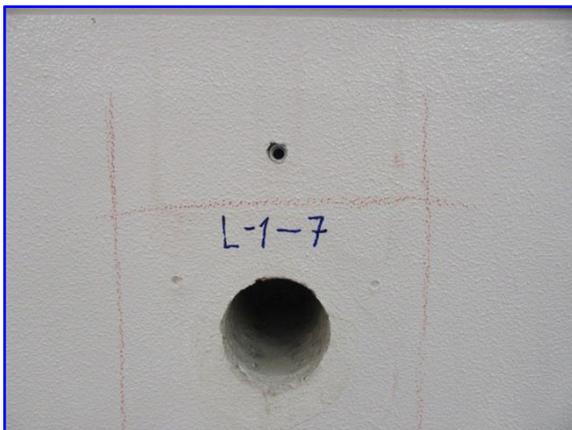


Foto 55: Foro della carota L-1 - 7



Foto 56: Carota L-1 - 7



Foto 57: Foro della carota L-1 - 8



Foto 58: Carota L-1 - 8



Foto 59: Foro della carota L-1 - 14



Foto 60: Carota L-1 - 14



Foto 61: Foro della carota L-1 - 15

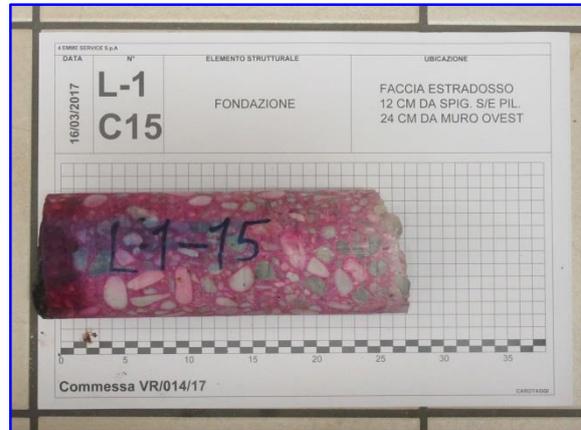


Foto 62: Carota L-1 - 15



Foto 63: Foro della carota L-1 - 16



Foto 64: Carota L-1 - 16



Foto 65: Foro della carota L0 - 5



Foto 66: Carota L0 - 5



Foto 67: Foro della carota L0 - 6



Foto 68: Carota L0 - 6



Foto 69: Foro della carota L0 - 8



Foto 70: Carota L0 - 8



Foto 71: Foro della carota L0 - 9



Foto 72: Carota L0 - 9

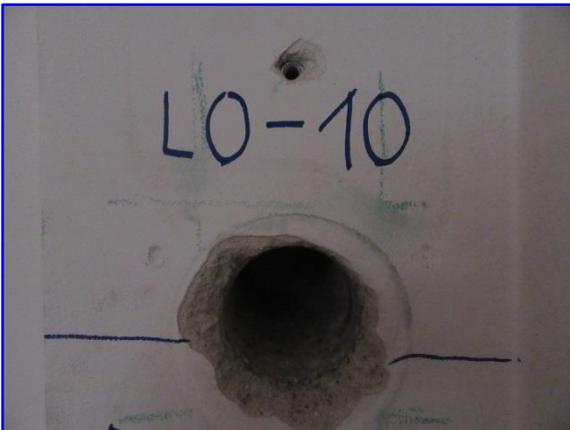


Foto 73: Foro della carota L0 - 10



Foto 74: Carota L0 - 10

3.7 Risultati delle prove di Laboratorio

Zona	Peso spec.	Ø	H*	H/Ø	f _{cil}	R _{cub}	Max inerte
(N°)	(kg/m ³)	(mm)	(mm)		(N/mm ²)	(N/mm ²)	Ø (mm)
L-1 - 2	2305	95	189	2/1	26,4	31,8	24
L-1 - 5	2284	95	187	2/1	26,8	32,3	26
L-1 - 7	2286	95	187	2/1	33,6	40,5	38
L-1 - 8	2298	95	189	2/1	28,6	34,5	28
L-1 - 14	2366	95	190	2/1	48,7	58,7	29
L-1 - 15	2337	95	192	2/1	24,5	29,5	32
L-1 - 16	2294	95	190	2/1	44,1	53,1	28
L0 - 5	2251	95	188	2/1	26,3	31,7	38
L0 - 6	2273	95	192	2/1	22,9	27,6	23
L0 - 8	2260	95	190	2/1	25,2	30,4	26
L0 - 9	2296	95	190	2/1	29,3	35,3	30
L0 - 10	2258	95	191	2/1	29,7	35,8	25

* dopo rettifica

Vedi in allegato il certificato n° 10228 del 28/03/2017.

3.8 Indagini videoendoscopiche e saggi distruttivi È Prova n° 5017-G/VR

3.8.1 Descrizione della strumentazione

Allo scopo di verificare la geometria degli elementi strutturali ispezionati, sono state eseguite delle indagini endoscopiche attraverso la prosecuzione di un foro \varnothing 20 mm successivamente ispezionato mediante endoscopio VideoProbe VP300, dotato di testa mobile di diametro \varnothing = 6 mm, telecomandata tramite joystick e con trasmissione delle immagini mediante fibre ottiche.

L'immagine viene visualizzata su un monitor a colori e può essere registrata o fotografata.

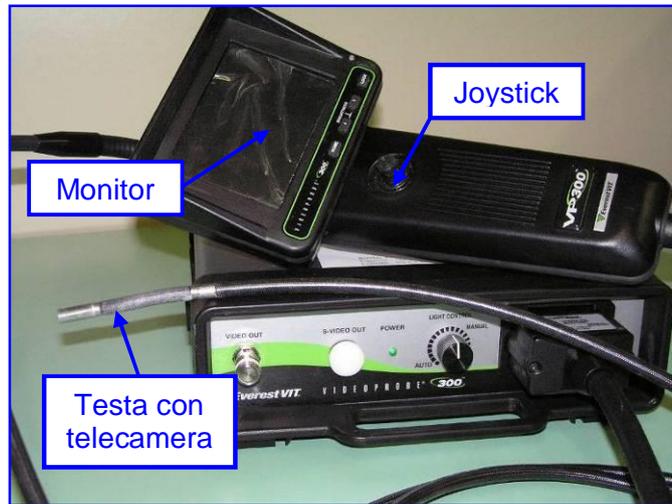


Foto 75: VideoProbe VP300



Foto 76: Indagine con videoendoscopio

3.8.2 Risultati delle indagini videoendoscopiche

Di seguito riportiamo anche alcune immagini delle zone ispezionate mediante videoendoscopio:

Zona (N°)	Endoscopia	Elemento	Spessore (cm)	Profondità d'indagine (cm)
L-1 - 1	VID0337	Muro perimetrale ovest	45	30

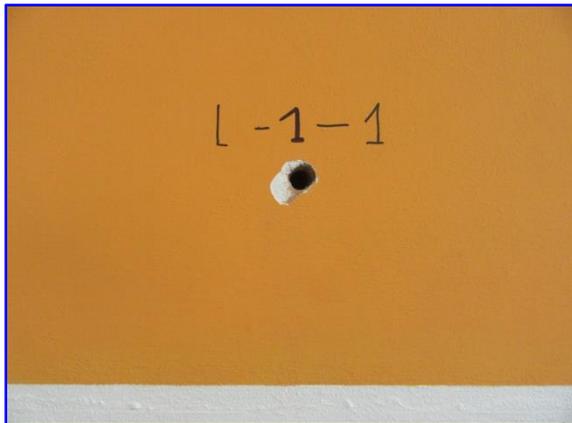


Foto 77: Muro perimetrale del piano interrato



Foto 78: Intonaco superficiale



Foto 79: Laterizio



Foto 80: Porzione terminale

Zona (N°)	Endoscopia	Elemento	Spessore (cm)	Profondità di indagine (cm)
L-1 - 17	VID0341	Solaio del piano rialzato	50	45



Foto 81: Solaio del piano rialzato



Foto 82: Intonaco all'indietro



Foto 83: Pignatte



Foto 84: Pignatte



Foto 85: Rete superficiale



Foto 86: Cappa

Zona (N°)	Endoscopia	Elemento	Spessore (cm)	Profondità di indagine (cm)
L0 - 1	VID0339	Solaio di copertura	48	48



Foto 87: Intradosso del solaio di copertura



Foto 88: Trefoli del travetto



Foto 89: Pignatte



Foto 90: Cappa



Foto 91: Porzione superficiale



Foto 92: Guaina all'estradosso

Zona (N°)	Endoscopia	Elemento	Spessore (cm)	Profondità di indagine (cm)
L0 - 4	VID0338	Muro perimetrale ovest	42	38



Foto 93: Muro perimetrale del piano rialzato



Foto 94: Intonaco superficiale



Foto 95: Laterizio e cemento



Foto 96: Intercapedine tra laterizio e cemento



Foto 97: Calcestruzzo



Foto 98: Laterizio nella porzione esterna

Di seguito una descrizione di quanto visualizzato con le videoendoscopie zona per zona:

Zona (N°)	Commento
L-1 - 1	muro perimetrale di spessore 45 cm con 2 cm d'intonaco sul lato interno, circa 40 cm di laterizio forato ed infine l'intonaco esterno
L-1 - 17	soffitto in latero-cemento di spessore 50 cm con travetti di larghezza 12 cm e 50 cm d'interasse tra loro, le armature dei travetti sono composte da 5 trefoli di 5 mm complessivi di sezione l'uno. Le pignatte hanno altezza di circa 38 cm e larghezza 38 cm; all'intradosso si hanno 2 cm d'intonaco ed all'estradosso circa 8 cm di cappa e 2 cm di pavimento
L0 - 1	soffitto in latero-cemento di spessore 48 cm con travetti di larghezza 12 cm e 50 cm d'interasse tra loro, le armature dei travetti sono composte da 5 trefoli di 5 mm complessivi di sezione l'uno. Le pignatte hanno altezza di circa 30 cm e larghezza 38 cm; all'intradosso si hanno 3 cm d'intonaco ed all'estradosso 5÷6 cm di cappa e 9÷10 cm di pacchetto isolante
L0 - 4	muro perimetrale di 42 cm di spessore con 1,5 cm d'intonaco sul lato interno, 10 cm di laterizio forato, circa 3 cm d'intercapedine, 20 cm di calcestruzzo, 1 cm di malta e 6 cm di mattoni pieni di rivestimento esterno

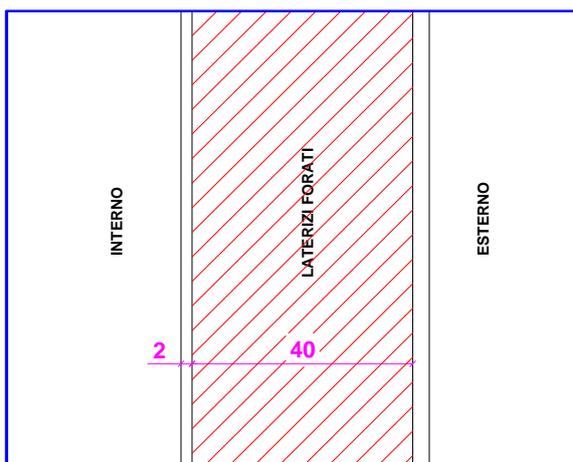


Fig. 26: Muro zona L-1 - 1

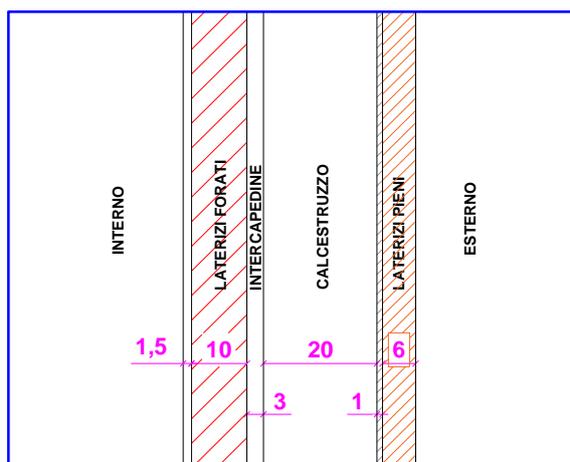


Fig. 27: Muro zona L0 - 4

Per i solai si vedano gli schemi riportati in paragrafo 3.2.1

3.9 Analisi termografica È Prova n° 5017-H/VR

3.9.1 Descrizione della strumentazione e metodologia ad infrarossi

Le indagini sono state eseguite utilizzando una termocamera Flir, modello **ThermaCam P65** con le seguenti caratteristiche:

<i>Risoluzione spaziale</i>	1,3 mrad;
<i>Accuratezza</i>	$\pm 2^{\circ}\text{C}$ o $\pm 2\%$ della lettura;
<i>Intervallo spettrale</i>	7,5 . 13,0 μm ;
<i>Rilevatore</i>	FPA (Focal Plane Array), micro bolometro 320x240.

L'indagine è stata condotta per rilevare in sito, attraverso l'acquisizione di termogrammi, le caratteristiche degli elementi costruttivi della struttura.

Le acquisizioni sono state effettuate in condizioni di transitorio termico accettabile, sfruttando sia la fase di assorbimento sia la fase di cessione di calore tra interno ed esterno dell'edificio.

A seguire si riportano le immagini nelle frequenze infrarosse. La chiave di lettura delle immagini termiche, così come indicata in legenda, è improntata sulla scala del ferro+, dove vengono associate a zone di emissione termica superiore colori più chiari e a zone di emissione termica inferiore colori progressivamente più scuri.

Per ogni immagine, si riporta la zona ed il riferimento del file termografico memorizzato ed archiviato presso la nostra sede (IR_XXXX).



Foto 99: Thermacami P65



Foto 100: Esecuzione di una termografia

3.9.2 Risultati delle indagini termografiche

Di seguito le immagini termografiche acquisite con indicata la zona ed il numero della termografia:

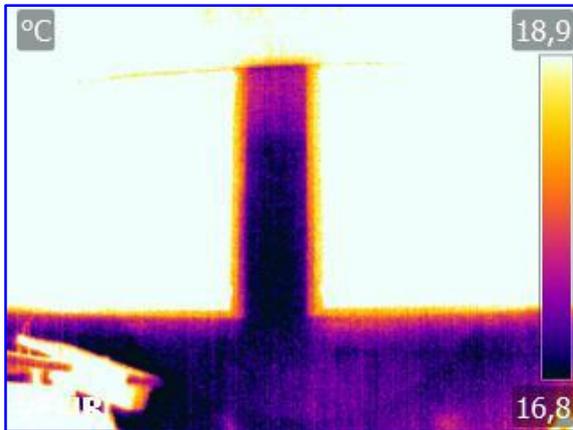


Fig. 28: *Muro zona L-1 . 1 (IR_0346)*

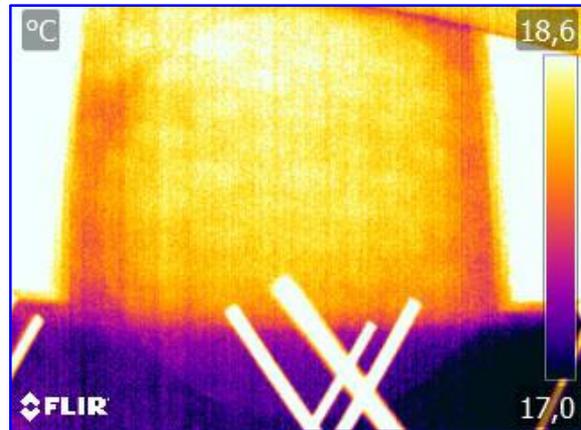


Fig. 29: *Muro zona L-1 . 1 (IR_0345)*

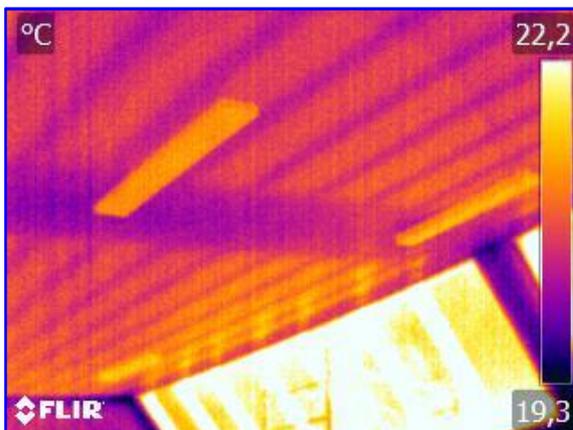


Fig. 30: *Solaio zona L0 . 1 (IR_0344)*

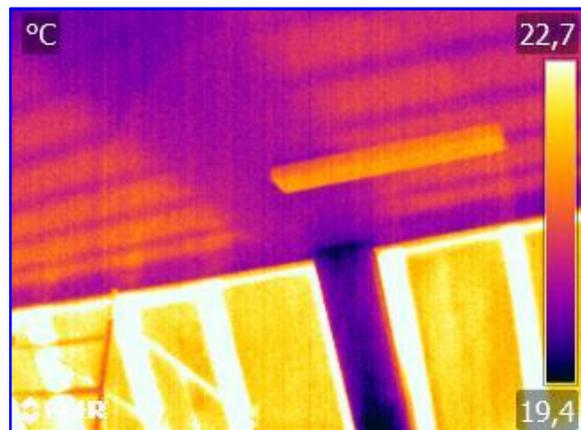


Fig. 31: *Solaio zona L0 . 1 (IR_0343)*

Quanto emerge dalle indagini eseguite risulta che al piano interrato (zona L-1 - 1) il muro perimetrale è composto da un setto in c.a. nella porzione inferiore fino all'altezza del davanzale mentre nella porzione superiore sono presenti pilastri in c.a. e murature in mattoni (nelle parti più larghe); il solaio di copertura (zona L0 - 1) presenta una trave in spessore in corrispondenza della trave inclinata tra le finestre e travetti in direzione est-ovest.

4 CONSIDERAZIONI TECNICHE FINALI

Solaio in latero-cemento:

Le deformazioni rilevate a carico massimo risultano contenute con residui nulli al termine della prova e parametri di controllo che rientrano nei limiti statistici indicati testimoniando così un comportamento elastico del solaio esaminato.

Elementi in c.a.:

Le prove di Laboratorio sulle armature lisce prelevate e la prova con microdurometro eseguita sull'armatura liscia permettono di stimare che l'acciaio utilizzato sia del tipo **FeB32K**.

Le prove di Laboratorio nelle carote estratte hanno evidenziato una certa variabilità delle caratteristiche del calcestruzzo e valutando le 6 indagini con ultrasuoni eseguite sugli stessi elementi (vedi tabella di seguito)

Piano	Zona	Velocità	Resistenza
	(n°)	(m/s)	(Mpa)
Seminterrato	L-1 - 5	4050	32,3
	L-1 - 8	4032	34,5
Rialzato	L0 - 5	4211	31,7
	L0 - 5	3974	27,6
	L0 - 9	4226	35,3
	L0 - 10	3942	35,8

...si è potuto elaborare un grafico di correlazione tra velocità e resistenze caratteristico della sala dell'edificio scolastico:

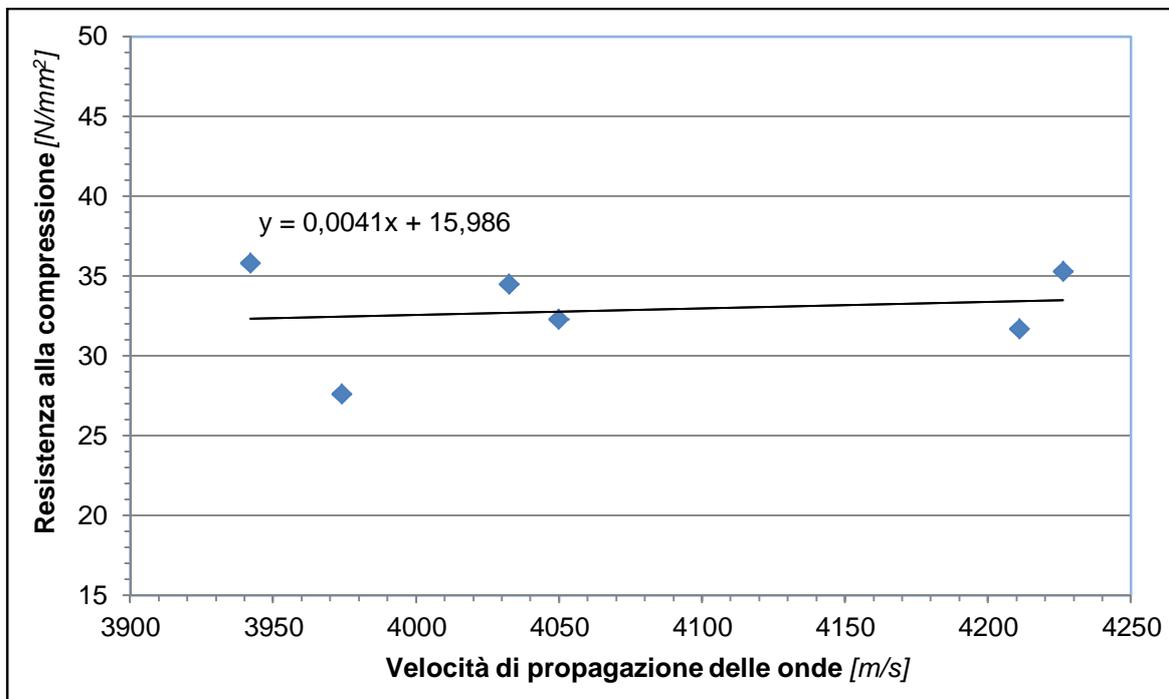


Fig. 32: *Grafico di correlazione tra velocità e resistenze caratteristico dell'edificio*

Dal grafico si possono stimare le resistenze nelle zone in cui sono state eseguite le prove con ultrasuoni e non considerando le battute sclerometriche a causa dell'elevata carbonatazione superficiale presente nel cls (la quale incide in maniera preponderante sul calcolo della resistenza col metodo SonReb):

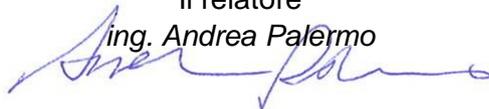
Piano	Zona (n°)	Velocità (m/s)	Resistenza (Mpa)
Seminterrato	L-1 - 6	4191	33,2
	L-1 - 9	4103	32,8
	L-1 - 10	4179	33,1
Rialzato	L0 - 2	4045	32,6
	L0 - 7	3892	31,9
	L0 - 11	4032	32,5

Le medie delle resistenze ricavate dalle indagini di Laboratorio e dal grafico di correlazione risultano alquanto variabili e ci fanno notare una certa differenza tra zone anche dello stesso livello (la media del piano seminterrato è più alta rispetto al piano rialzato); premesso ciò, si stima che il calcestruzzo utilizzato in sito sia un R_{ck} **35,0**.

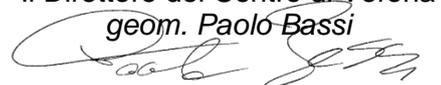
Le rimozioni del copriferro hanno sostanzialmente confermato quanto individuato con le indagini pachometriche, termografiche e videoendoscopiche.

Verona, 06 aprile 2017

Il relatore
ing. Andrea Palermo



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



REVISIONATA DA
geom. Simone Marcolini

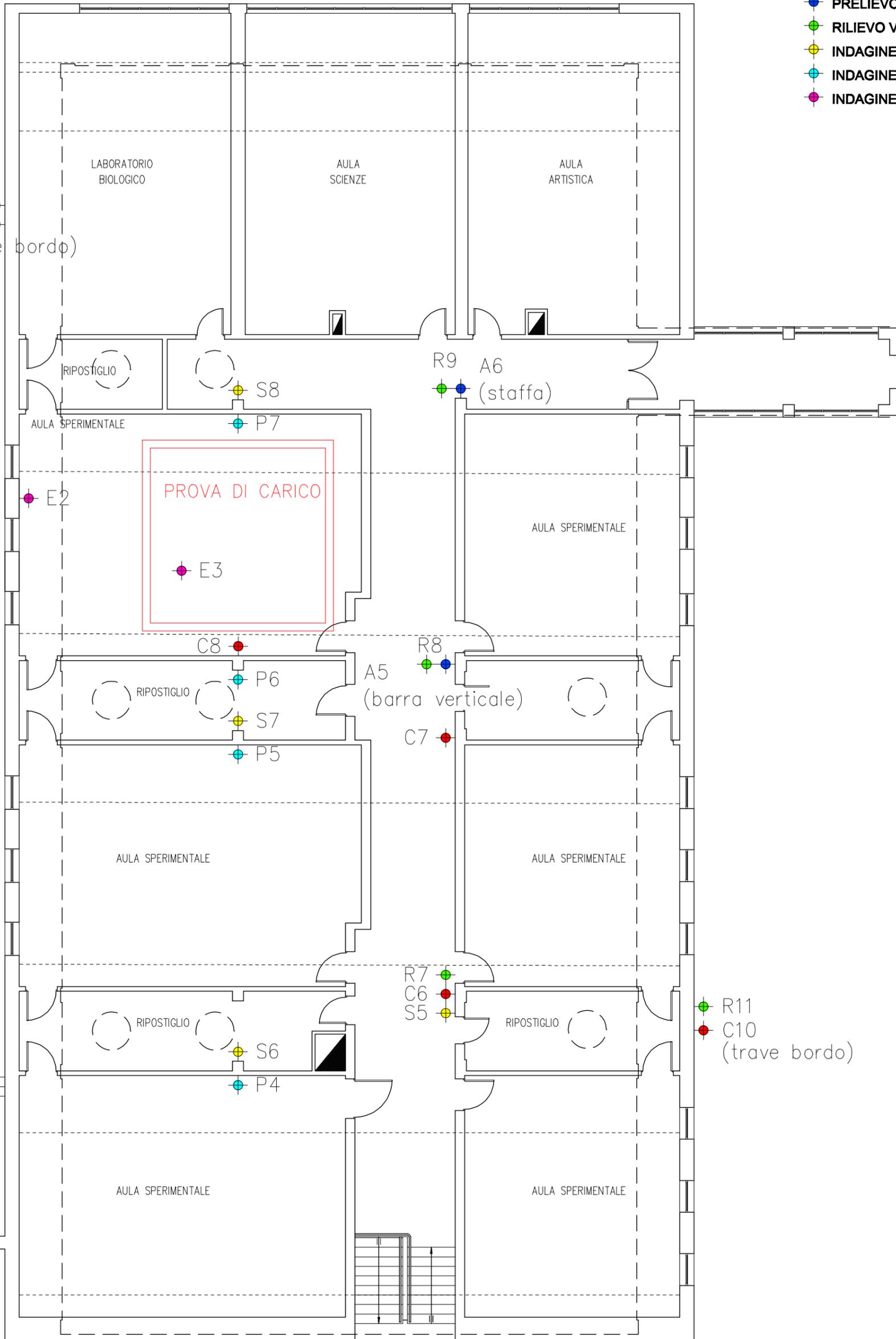


PIANTA PIANO RIALZATO

LEGENDA

- PRELIEVO CAROTE CLS
- PRELIEVO SPEZZONI ARMATURA
- RILIEVO VISIVO ARMATURE
- INDAGINE SON-REB
- INDAGINE CON PACHOMETRO
- INDAGINE CON ENDOSCOPIO

R10 ●
 C9 ●
 (trave bordo)



R9 ● ●
 A6 (staffa)

PROVA DI CARICO

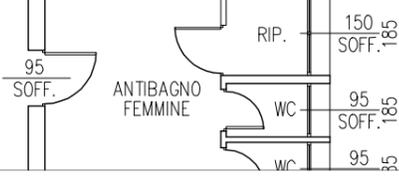
E3

R8 ● ●
 A5 (barra verticale)

C7 ●

R7 ●
 C6 ●
 S5 ●

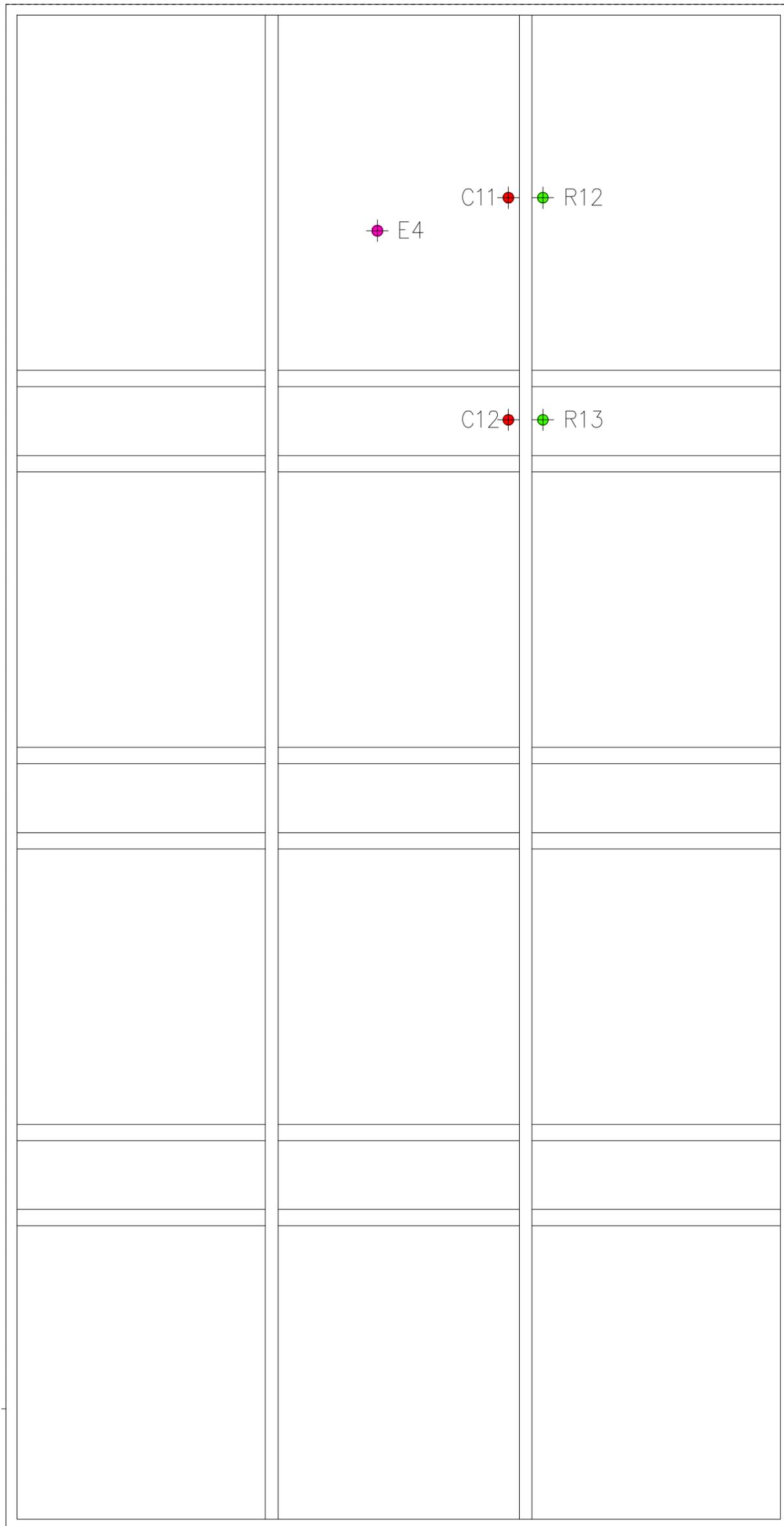
R11 ●
 C10 ●
 (trave bordo)



PIANTA COPERTURA

LEGENDA

- PRELIEVO CAROTE CLS
- PRELIEVO SPEZZONI ARMATURA
- RILIEVO VISIVO ARMATURE
- INDAGINE SON-REB
- INDAGINE CON PACHOMETRO
- INDAGINE CON ENDOSCOPIO



ACCESSO IN COPERTURA A CARICO DEL COMUNE

