



PROVE IN SITO - LABORATORIO PROVE MATERIALI

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



**INDAGINI SPERIMENTALI**  
**“CAPANNONE INDUSTRIALE INCENDIATO**  
**XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX**  
**XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX**

**PROVE N. 3626÷3628/VR**

**01 dicembre 2009**

Committente: **XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX**

Tecnico Inc.: **dott. ing. XXXXXXXXXXXXXXXXX**

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



Lato ovest del capannone industriale della XXXXXXXXXXXX (MN)



## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>PROVA DI CARICO SU TEGOLO IN C.A.P. - PROVA N° 3626/VR</b>	<b>4</b>
2.1	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	4
2.2	PARAMETRI DI CONTROLLO	5
2.3	UBICAZIONE PROVA DI CARICO	6
2.4	DESCRIZIONE DELLA PROVA	7
2.5	SCHEMA UBICAZIONE CARICO E SENSORI	8
2.6	RISULTATI DELLA PROVA – III° CICLO DI CARICO/SCARICO	9
2.7	CURVA DI ISTERESI PER IL CARICO DISTRIBUITO	9
2.8	GRAFICO CARICO-DEFORMAZIONI	10
2.9	TABULATI ORIGINALI DELLA PROVA	10
<b>3</b>	<b>CAROTAGGI Ø100 MM - PROVA N° 3627/VR</b>	<b>11</b>
3.1	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	11
3.2	MISURA DELLA PROFONDITA' DI CARBONATAZIONE	12
3.3	UBICAZIONE CAROTAGGI	13
3.4	RISULTATI DELLE PROVE DI LABORATORIO	14
<b>4</b>	<b>INDAGINI ULTRASONICHE - PROVA N° 3628/VR</b>	<b>15</b>
4.1	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	15
4.2	UBICAZIONE INDAGINI ULTRASONICHE	17
4.3	RISULTATI DELLE INDAGINI ULTRASONICHE	18

### ALLEGATI :

RAPPORTO DI PROVA N° 554 DEL 14/12/2009



## 1 PREMESSA

La Società *4 EMME Service S.p.A.* specializzata nell'esecuzione di prove sperimentali su strutture in sito è stata incaricata dalla **XXXXXXXXXXXXX** di eseguire alcune indagini sperimentali presso il proprio **capannone industriale interessato da incendio** sito in via **XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX**.

Le indagini sperimentali sono le seguenti:

- Prova n° 3626/VR: prova di carico su tegolo in c.a.p.;
- Prova n° 3627/VR: 3 carotaggi Ø 100 mm su pilastri in c.a.;
- Prova n° 3628/VR: 5 indagini ultrasoniche su pilastri in c.a.

Attraverso queste indagini s'intende verificare la capacità portante del tegolo in c.a.p. e le caratteristiche meccaniche degli elementi in calcestruzzo presi in esame.

La scelta degli elementi strutturali da sottoporre a verifica, la determinazione e la disposizione dei carichi, le modalità di rilevazione ed i punti di misura sono stati preventivamente concordati con il Tecnico Incaricato **dott. ing. XXXXXXXXXXXXX**.

Le indagini sperimentali sono state eseguite in data **01 dicembre 2009**.

### Alle indagini sperimentali ha assistito:

dott. ing. **XXXXXXXXXXXXXXXXXX** Tecnico Incaricato

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

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



## 2 PROVA DI CARICO SU TEGOLO IN C.A.P. - PROVA N° 3626/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><math>\pm 250</math> kN</i>
<i>sensibilità</i>	<i>10 daN</i>
<i>linearità</i>	<i>99,4%</i>

#### Calibrazione

La calibrazione è stata effettuata in data 09 giugno 2009 e documentata col Certificato di Taratura n. 606/09. 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 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.

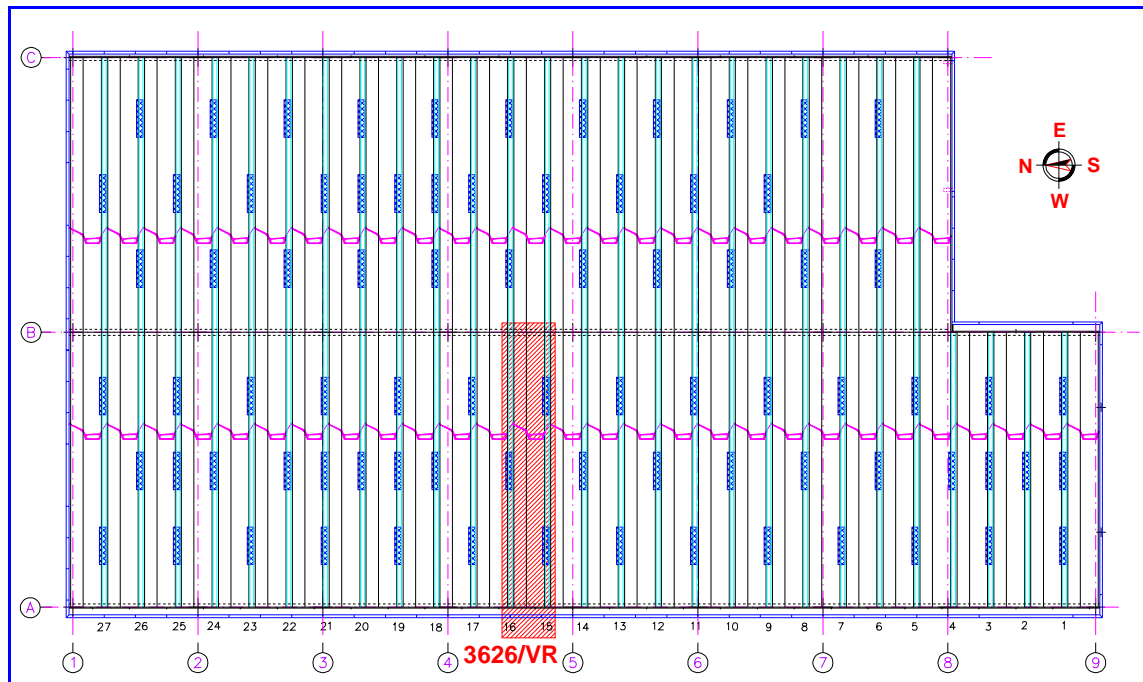
Questi parametri con:

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

non rappresentano un limite invalicabile ma un'analisi statistica su una grande quantità di prove eseguite. Non superando questi limiti, si rientra in un comportamento d'insieme che corrisponde a strutture progettate per resistere ad un determinato carico.



### 2.3 UBICAZIONE PROVA DI CARICO



*Fig. 1: Planimetria con ubicazione della prova di carico*



## 2.4 DESCRIZIONE DELLA PROVA

La prova di carico è stata eseguita per verificare l'idoneità statica del 13° tegolo da nord in c.a.p. -campata W- appartenente alla copertura; il tegolo ha una luce netta di 21,50 m ed un interasse di 2,90 m.

Il carico previsto e concordato preventivamente con il Tecnico Incaricato dott. ing. xxxxxxxxxxxxxxxx è pari a  $q = 1,60 \text{ kN/m}^2$ .

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.

Il carico è stato applicato a "tiro" in 4 cicli di prova mediante l'utilizzo di tre martinetti oleodinamici posizionati in mezzeria ed ai terzi luce del tegolo esaminato e contrastati dal massetto in calcestruzzo a pavimento tramite basi in acciaio.



*Foto 1: Martinetti oleodinamici utilizzati per l'applicazione del carico*



*Foto 2: Cella di carico su pistone*

In funzione dei parametri utilizzati la forza equivalente risulta essere:

$$F_{eq} = C_v \times b \times q \times L = 63,85 \text{ kN} / 3 = 21,28 \text{ kN per martinetto}$$

dove:

carico previsto  $q = 1,60 \text{ kN/m}^2$ ;  
coefficiente di vincolo  $C_v = 0,64$ ;  
fascia collaborante  $b = 2,90 \text{ m}$ ;  
luce  $L = 21,50 \text{ m}$ .





## 2.5 SCHEMA UBICAZIONE CARICO E SENSORI

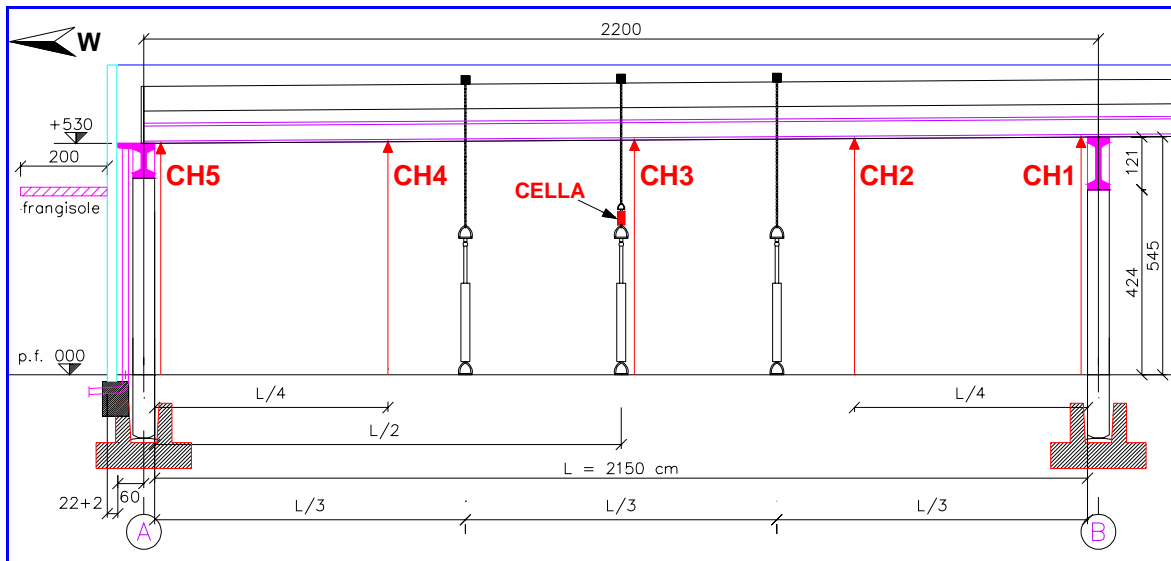


Fig. 2: Schema con ubicazione martinetti e sensori



Foto 3: Panoramica della prova di carico



Foto 4: Sensori per rilevare i cedimenti in tempo reale





## 2.6 RISULTATI DELLA PROVA – III° CICLO DI CARICO/SCARICO

Forza (kN)	Carico (kN/m <sup>2</sup> )	Frecce (mm)					Tempo (h.min)	Linearità % (CH 3) L/2
		CH 1 App. E	CH 2 L/4 E	CH 3 L/2	CH 4 L/4 W	CH 5 App. W		
0,0	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00	13.06.07	-
18,0	0,45	0,22	3,85	<b>5,53</b>	4,24	0,46	13.07.30	-
36,0	0,90	0,43	7,95	<b>11,39</b>	8,72	0,93	13.09.07	97
54,0	1,35	0,65	12,28	<b>17,70</b>	13,41	1,47	13.10.23	94
<b>72,0</b>	<b>1,80</b>	<b>0,88</b>	<b>16,80</b>	<b>24,29</b>	<b>18,32</b>	<b>1,98</b>	<b>13.12.09</b>	<b>91</b>
54,0	1,35	0,68	12,77	<b>18,40</b>	13,94	1,54	13.14.35	-
36,0	0,90	0,50	8,55	<b>12,25</b>	9,35	1,03	13.16.06	-
18,0	0,45	0,26	4,43	<b>6,32</b>	4,83	0,53	13.17.17	-
0,0	0,00	0,05	0,37	<b>0,50</b>	0,37	0,06	13.18.59	-

Ripetibilità	Linearità media	Linearità minima	Permanenza	Area ist./carico
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
<b>99</b>	<b>94</b>	<b>91</b>	<b>2</b>	<b>5,16</b>

## 2.7 CURVA DI ISTERESI PER IL CARICO DISTRIBUITO

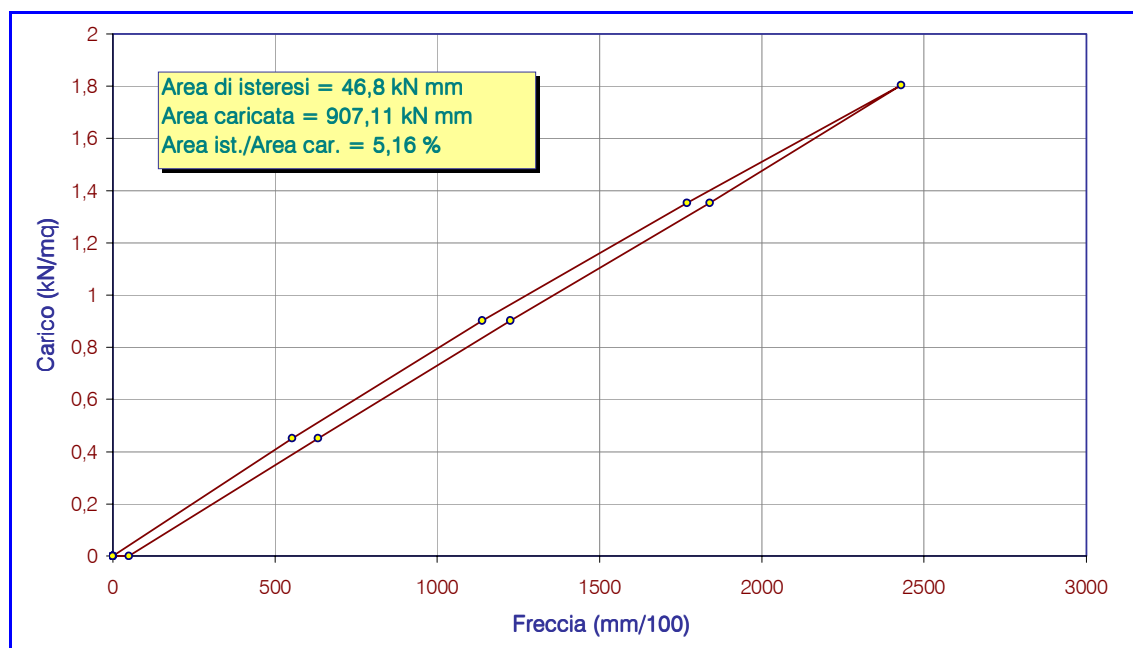


Fig. 3: Grafico relativo all'area d'isteresi per il carico raggiunto - CH3



## 2.8 GRAFICO CARICO-DEFORMAZIONI

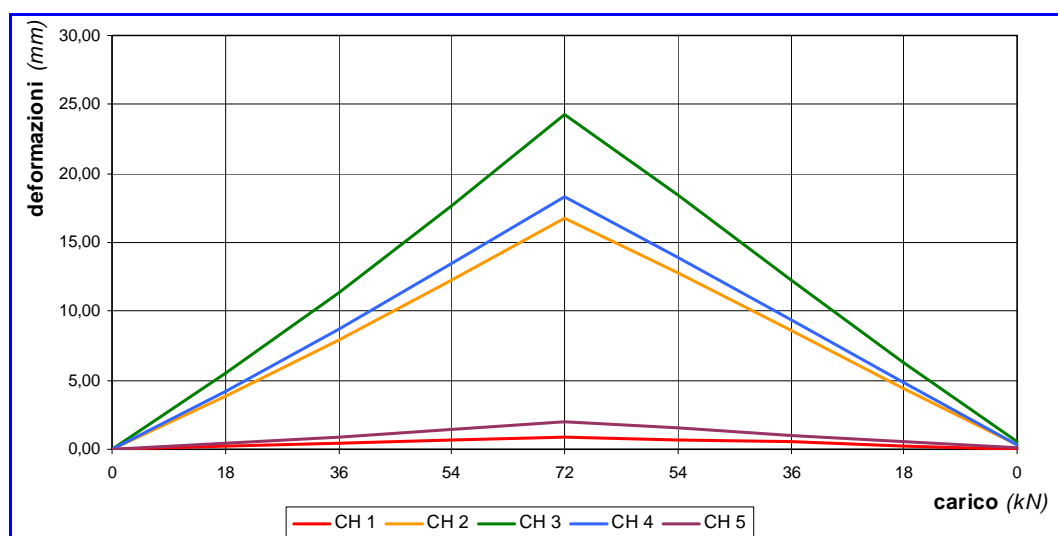


Fig. 4: Grafico Carico-Deformazioni

## 2.9 TABULATI ORIGINALI DELLA PROVA

Ciclo Fase	Forza	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5	Commento	Ora
N°	(kN)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	Ciclo N°	h.min.sec
C=001F=001	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	I° CICLO	11.58.47
C=001F=002	4	0,08	2,48	3,59	2,75	0,26		12.00.18
C=001F=003	8	0,20	4,95	7,12	5,43	0,55		12.01.40
C=001F=004	12	0,35	7,73	11,12	8,50	0,89		12.03.17
C=001F=005	0	0,01	0,36	0,50	0,37	0,01		12.05.07
C=001F=006	0	0,00	0,32	0,45	0,36	0,00		12.07.04
C=002F=001	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	II° CICLO	12.07.13
C=002F=002	4	0,09	2,40	3,44	2,58	0,25		12.09.19
C=002F=003	8	0,22	4,99	7,19	5,45	0,57		12.10.43
C=002F=004	12	0,35	7,66	11,04	8,41	0,90		12.11.53
C=002F=005	16	0,52	10,68	15,35	11,68	1,25		12.13.31
C=002F=006	20	0,67	14,04	20,22	15,29	1,65		12.15.37
C=002F=007	24	0,85	17,48	25,28	19,02	2,02		12.17.56
C=002F=008	24	0,92	18,13	26,18	19,65	2,07		12.33.41
C=002F=009	0	0,00	0,52	0,72	0,46	0,00		12.42.17
C=003F=001	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	III° CICLO	13.06.07
C=003F=002	6	0,22	3,85	5,53	4,24	0,46		13.07.30
C=003F=003	12	0,43	7,95	11,39	8,72	0,93		13.09.07
C=003F=004	18	0,65	12,28	17,70	13,41	1,47		13.10.23
C=003F=005	24	0,88	16,80	24,29	18,32	1,98		13.12.09
C=003F=006	18	0,68	12,77	18,40	13,94	1,54		13.14.35
C=003F=007	12	0,50	8,55	12,25	9,35	1,03		13.16.06
C=003F=008	6	0,26	4,43	6,32	4,83	0,53		13.17.17
C=003F=009	0	0,05	0,37	0,50	0,37	0,06		13.18.59
C=004F=001	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	IV° CICLO	13.19.06
C=004F=002	24	0,83	16,69	24,17	18,22	1,93		13.22.09
C=004F=003	0	0,01	0,11	0,13	0,10	0,02		13.24.36



### 3 CAROTAGGI Ø100 MM - PROVA N° 3627/VR

#### 3.1 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.

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 la seguente formula di conversione (British Standards):

$$R_{cub} = R_{cil} \times 2,5/(1,5+1/\lambda)$$

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



*Foto 5: Carotaggio su pilastro in c.a.*



*Foto 6: Foro lasciato dalla carota C2*



### 3.2 MISURA DELLA PROFONDITA' DI CARBONATAZIONE

La prova ha lo scopo di misurare la profondità di carbonatazione dello strato superficiale del calcestruzzo.

Il calcestruzzo possiede un valore di pH circa 12.5, cosa che gli conferisce un carattere fortemente alcalino. Questa forte alcalinità di fatto costituisce una protezione naturale dell'acciaio dell'armatura contro la corrosione (passivazione).

Il fenomeno chimico è conseguente all'anidride carbonica dell'aria che penetrando nei pori del calcestruzzo, neutralizza la calce libera presente. Il pH dello strato superficiale del calcestruzzo si abbassa fino a scendere a valori inferiori a 9 provocando il fenomeno della carbonatazione.

In questo stato il calcestruzzo è fortemente permeabile e riduce la capacità protettiva; fornisce, inoltre, allo strato superficiale, una durezza superiore che tende ad ingannare i metodi di determinazione della resistenza a compressione misurati con sclerometro o pull-out.

L'indagine consiste nello spalmare il liquido sulla superficie della carota dopo averla pulita accuratamente con uno straccio. La soluzione di fenoftaleina, all'1% di alcool etilico, reagisce con il calcestruzzo provocando un cambiamento di colore nella parte non carbonatata da bianco trasparente a rosso violetto. In presenza di carbonatazione il cls. manterrà inalterata la sua colorazione.

L'analisi va condotta subito dopo il prelievo della carota per evitare che si formi un film superficiale carbonatato lungo tutta la superficie che impedirebbe la reazione con la fenolftaleina.

La prova di carbonatazione è stata eseguita sui provini in cls. asportati attraverso i carotaggi.



### 3.3 UBICAZIONE CAROTAGGI

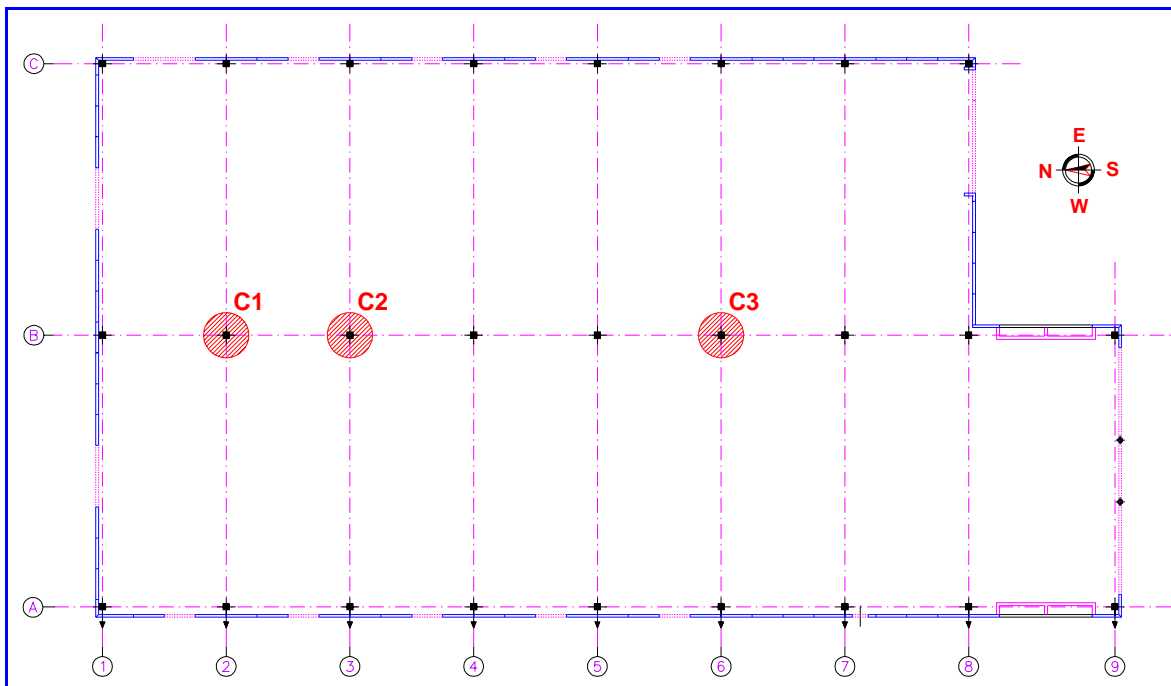


Fig. 5: Planimetria con ubicazione carotaggi

Di seguito riportiamo i dati rilevati in cantiere delle carote:

CAROTE N°	LUNGH. (mm)	CARBONAT. (mm)	ELEMENTO ZONA	POSIZIONE - NOTE (cm)
C1	210÷220	-	II Pilastro da N, faccia E	Altezza da terra = 128
C2	165÷220	-	III Pilastro da N, faccia N	Altezza da terra = 154
C3	55÷100 120÷165	0÷6	VI Pilastro da N, faccia E	Altezza da terra = 146



Foto 7: Carotaggio su pilastro in c.a.



Foto 8: Carota C1



Foto 9: Carota C2



Foto 10: Carota C3

### 3.4 RISULTATI DELLE PROVE DI LABORATORIO

Di seguito riportiamo i risultati delle prove di Laboratorio:

Carota	Peso (g)	H (mm)	Ø (mm)	H/Ø	$R_{cil}$	$R_{cub}$	Tipo di Rottura
					( $N/mm^2$ )	( $N/mm^2$ )	
C 1	1573	94,5	94,0	1,005	36,00	36,08	Soddisfacente
C 2	1564	94,2	94,0	1,002	48,30	48,34	Soddisfacente
C 3	1579	94,7	94,0	1,007	46,00	46,14	Soddisfacente

Vedi in allegato il rapporto di prova a compressione n° 554 del 14/12/09



## 4 INDAGINI ULTRASONICHE - PROVA N° 3628/VR

### 4.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

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/s<sup>2</sup>);
- $E_d$  = modulo elastico dinamico del mezzo;
- $V_p$  = velocità rilevata (m/s);
- $\mu$  = coefficiente di Poisson (0,15÷0,35);
- $\rho$  = densità del mezzo (kN/m<sup>3</sup>).

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.

Analizzando i tempi di arrivo degli impulsi si può valutare qualitativamente lo stato di degrado del materiale.

Per l'esecuzione delle prove è stata utilizzata l'apprecchiatura ultrasonica modello **Cms**, con tensione di eccitazione del trasmettore pari a 1,6 kV.

La strumentazione è costituita da:

- trasduttori piezoelettrici con frequenza 55 kHz;
- ricevitore preamplificato.

Con riferimento alla normativa UNI EN 12504 – 4 : 2005, seguita nel corso delle indagini, è stato adottato il metodo di misura “diretto”, con i trasduttori posti su due superfici opposte.

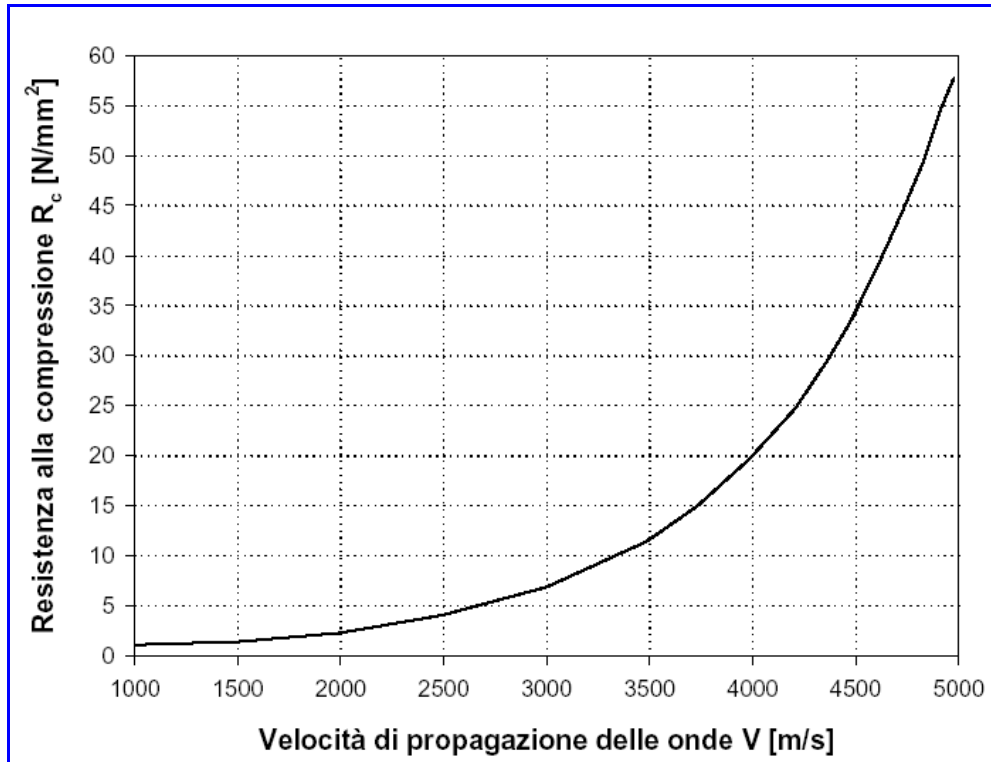


Foto 11: Cms della Boviar S.r.l.

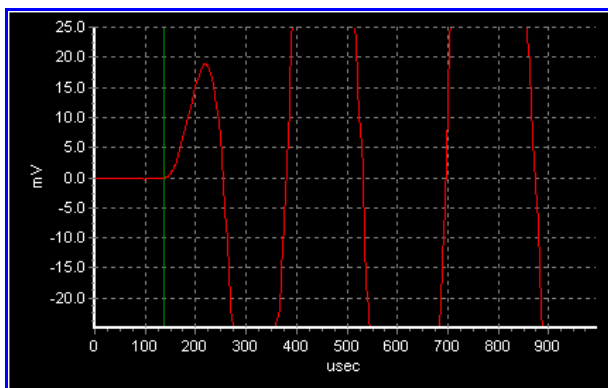




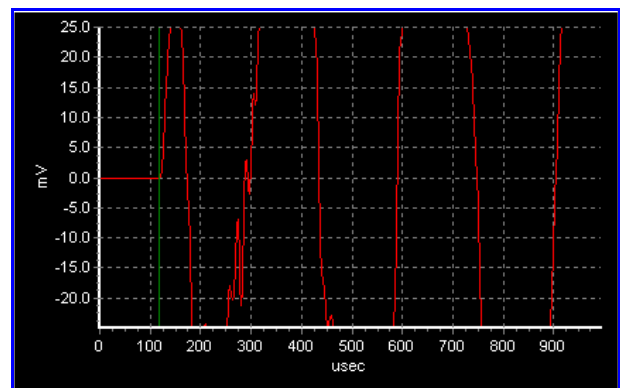
Dalle “**Linee guida** per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive (febbraio 2008)” è stato estratto il seguente grafico:



*Fig. 6: Andamento tipico della correlazione tra velocità di propagazione delle onde elastiche e resistenza a compressione*



*Fig. 7: Grafico ultrasuoni U2-1*



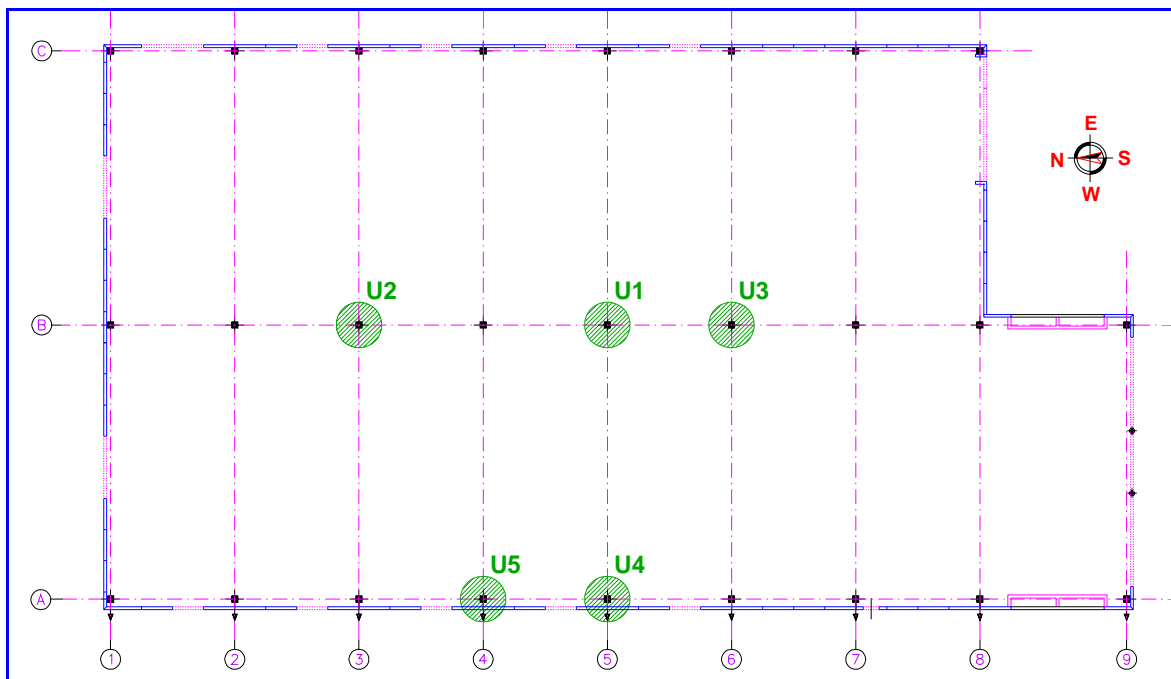
*Fig. 8: Grafico ultrasuoni U5-1*



## 4.2 UBICAZIONE INDAGINI ULTRASONICHE

I punti in cui sono state eseguite le indagini con ultrasuoni sono:

Indagine	Pilastrata <i>n</i> <sup>o</sup>	Elemento	Distanza sonde ( <i>cm</i> )	Ht ( <i>cm</i> )
<i>U 1</i>	CENTRALE	V Pilastro da N	50,0	150
<i>U 2</i>	CENTRALE	III Pilastro da N	50,0	150
<i>U 3</i>	CENTRALE	VI Pilastro da N	50,0	130
<i>U 4</i>	OVEST	IV Pilastro da N	50,0	140
<i>U 5</i>	OVEST	V Pilastro da N	50,0	140



*Fig. 9: Planimetria con ubicazione delle indagini ultrasoniche*



### 4.3 RISULTATI DELLE INDAGINI ULTRASONICHE

Per ognuna delle indagini si sono eseguite 5 acquisizioni tutte alla stessa quota da terra come da schema successivo:

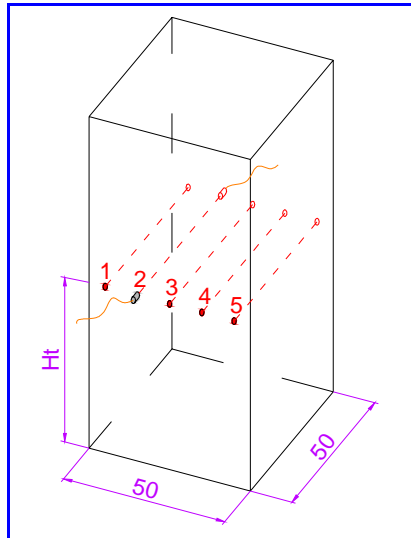


Fig. 10: Schema delle acquisizioni

Di seguito riportiamo i risultati delle 5 indagini con ultrasuoni:

Indagine	Velocità					Velocità
	1	2	3	4	5	media
	(m/s)					(m/s)
U 1	4255,3	4524,9	4484,3	4405,3	4149,4	4363,8
U 2	3672,4	4364,8	4260,0	4127,9	3227,3	3930,5
U 3	2754,8	3174,6	3921,6	3584,2	2544,5	3195,9
U 4	3745,3	4329,0	4219,4	4405,3	3984,1	4136,6
U 5	4291,9	4484,3	4444,4	4524,9	4444,4	4438,0

Verona, 18 dicembre 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