

Corso di aggiornamento

## Verifica sismica degli edifici esistenti in c.a.

3c - Altro esempio di indagine su una struttura in c.a.  
(lasciato come documentazione)

Forlì

29-31 gennaio 2015

Aurelio Gheresi

Esempio preparato dall'ing. Piero Sciacca,  
del Laboratorio Ufficiale Prove Materiali e Strutture  
del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (ora DICAR),

## IMPIEGO DI TECNICHE COMBinate - Edifici esistenti in c.a.

- ❑ CASO DI STUDIO: caratterizzazione del calcestruzzo in opera di edifici multipiano in c.a. attraverso un metodo di stima indiretto delle proprietà meccaniche.
  
- ❑ METODOLOGIA: impiego di tecniche combinate PD – PND.
  
- ❑ TARATURA DEL METODO:
  1. Prove di laboratorio su N campioni prelevati.
  2. PND lungo l'asse dei campioni prima e dopo il prelievo.
  3. Determinazione di Curve di Correlazione.
  
- ❑ ESTENSIONE DELLE INDAGINI:.....ad un numero di elementi » N.

# INTRODUZIONE - scelta dell'indagine PND

---

....Ricordando l'O.P.C.M. 3274:

- ☐ La misura delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo si ottiene mediante estrazione di campioni ed esecuzione di prove di compressione fino a rottura.
- ☐ Sono ammessi metodi di indagine non distruttiva di documentata affidabilità, che non possono essere impiegati in completa sostituzione di quelli distruttivi, ma sono consigliati a loro integrazione, purché i risultati siano tarati su quelli ottenuti con prove distruttive.
- ☐ Vanno adottati metodi non distruttivi che limitino l'influenza della carbonatazione degli strati superficiali sui valori di resistenza del calcestruzzo.

## Indagine non distruttiva individuata: ULTRASUONI

- ☐ Buona rappresentatività
- ☐ Nessun danno
- ☐ Affidabilità e ripetibilità
- ☐ Legame con le proprietà elastiche

# IL RILIEVO ULTRASONICO

- ❑ Il suono: una successione di compressioni e rarefazioni delle particelle del mezzo in cui si propaga.
- ❑ Gli ultrasuoni: sono onde elastiche in tutto simili a quelle udibili, con frequenza  $> 20\text{kHz}$ .

$$\text{velocità} = V = \lambda * f$$

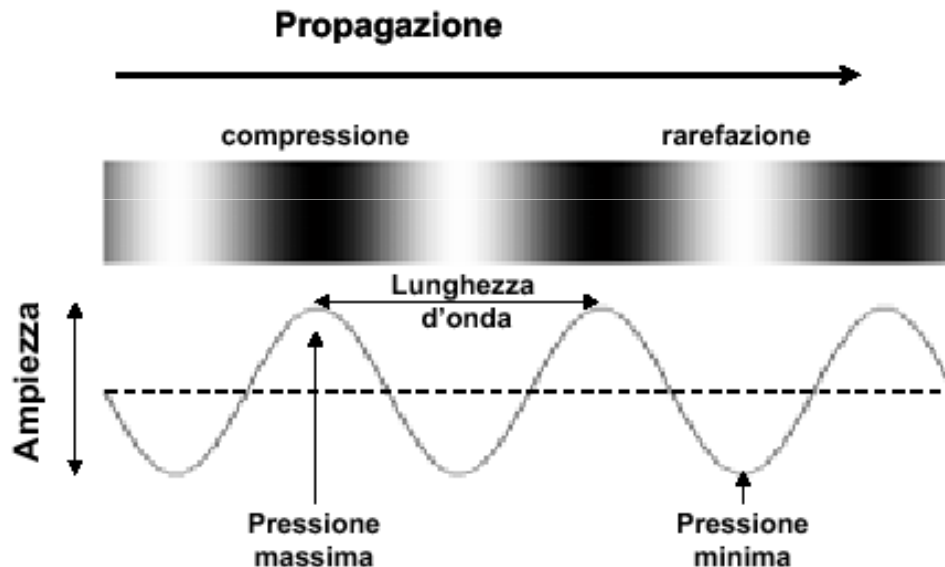
Diagram showing the equation  $V = \lambda * f$  with arrows pointing from  $\lambda$  to "lunghezza d'onda" and from  $f$  to "frequenza".

lunghezza d'onda

Principio del metodo:

Mezzo: elastico, omogeneo, isotropo

Onde: longitudinali



Rappresentazione di un'onda sonora

$$E_d = \rho V^2 \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

# Edifici oggetto di indagine

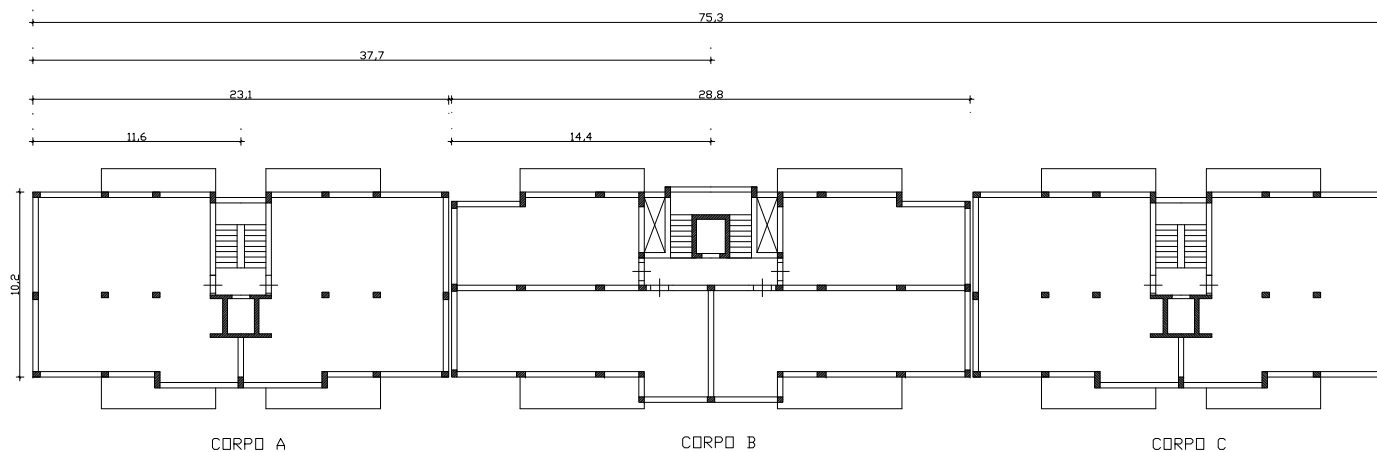


Edificio 1

Edificio 2



- ❑ Tipologia: Edifici in c.a. con 5 elev. f.t.
- ❑ Località: Siracusa.
- ❑ Costruzione: anni '80.
- ❑ Proprietà: IACP SR.
- ❑ 3 corpi indipendenti per edificio.
- ❑ Sup. corpi laterali A e C: 250 m<sup>2</sup>/impalcato.
- ❑ Sup. corpo centrale B: 305 m<sup>2</sup>/impalcato .
- ❑ Sup. complessiva: 800 m<sup>2</sup>/impalcato.
- ❑ N°appartamenti/imp.: 8 per edificio.



Schema planimetrico degli edifici

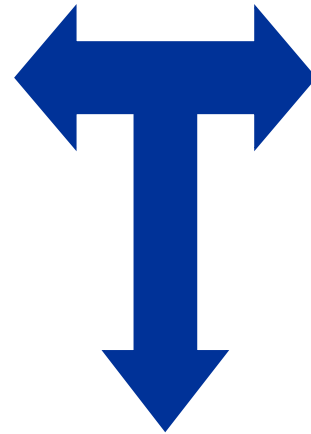
# FASE DI TARATURA - programma di indagine

## in situ

- ❑ Rilievo della velocità di propagazione  $V_{\text{situ}}$  delle onde longitudinali su N°18 elementi strutturali.
- ❑ Prelievo di N°18 carote di cls, lungo l'asse di rilievo delle velocità US.

## in laboratorio

- ❑ Rilievo della velocità  $V_{\text{car}}$  su N°18 provini cilindrici ricavati dalle carote prelevate, con rapporto  $h/d=2$ .
- ❑ Esecuzione di N°18 prove di compressione monoassiale con rilievo della curva  $\sigma-\varepsilon$ .



**RICERCA DI  
CORRELAZIONI tra  $V_{\text{situ}}$  e**

- ❑ Densità  $\rho$
- ❑ Resistenza cilindrica  $f_c$
- ❑ Resistenza cubica  $R_c$
- ❑ Modulo elastico  $E_0$

## Elementi strutturali indagati nella Fase di Taratura

Edificio	Corpo	Elevaz. I	Elevaz. II	Elevaz. III	Elevaz. IV	Elevaz. V	Totale
2	B	3	----	3	----	3	9
1	B	3	----	3	----	3	9



# FASE DI TARATURA - prove in situ e di laboratorio



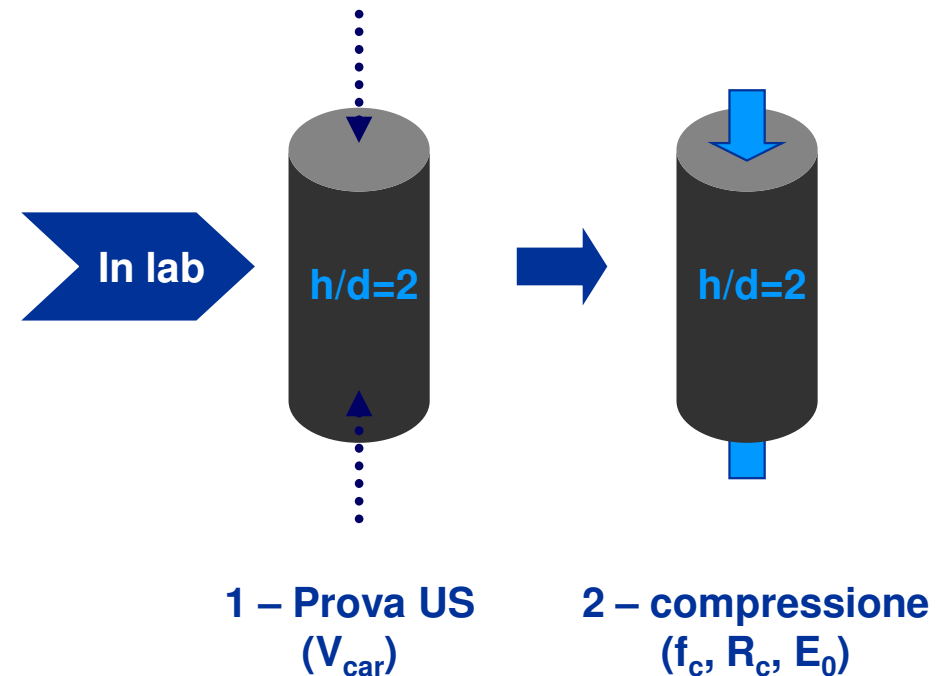
## Prove ultrasoniche in situ

- ❑ Sonde: piezoelettriche  $f=50$  kHz.
- ❑ Taratura: blocco di calibrazione
- ❑ Visualizzazione: A-scan
- ❑ Misure di distanza: precisione  $\pm 1\%$ .
- ❑ Modalità: per trasparenza.

Fasi di prova per il rilievo della velocità  $V_{\text{situ}}$



Fasi di estrazione di un campione





# FASE DI TARATURA - prove in situ e di laboratorio

## RISULTATI - confronto velocità

Elemento	Carotaggio	Elevaz. f.t.	$V_{\text{situ}}$ [m/s]	$V_{\text{car}}$ [m/s]	$V_{\text{car}}/V_{\text{situ}}$
Pilastro 40x40	C1	I	3875	3810	0,98
Pilastro 40x40	C2	I	3903	3875	0,99
Pilastro 40x40	C3	I	3681	3554	0,97
Pilastro 40x30	C4	III	3571	3259	0,91
Pilastro 40x30	C5	III	3450	3345	0,97
Pilastro 40x30	C6	III	3450	3238	0,94
Pilastro 30x30	C7	V	2884	2823	0,98
Setto 150x30	C8	V	2989	2760	0,92
Setto 150x30	C9	V	3023	3037	1,00
Pilastro 50x40	C10	I	3705	3582	0,97
Pilastro 50x40	C11	I	3672	3635	0,99
Pilastro 40x40	C12	I	3854	3715	0,96
Pilastro 30x40	C13	III	3622	3617	1,00
Pilastro 50x30	C14	III	3937	3720	0,94
Pilastro 50x30	C15	III	3563	3529	0,99
Pilastro 30x30	C16	V	3772	3647	0,97
Pilastro 30x30	C17	V	3454	3425	0,99
Pilastro 30x30	C18	V	3706	3659	0,99

# FASE DI TARATURA – prove di laboratorio

## RISULTATI – prove di compressione strumentate

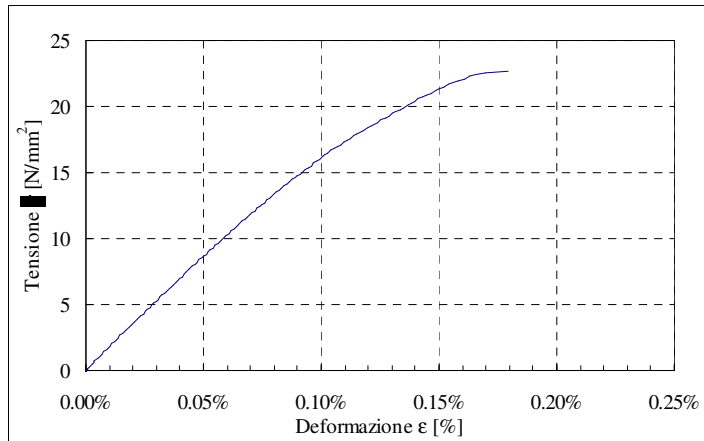


Diagramma  $\sigma$ – $\epsilon$



$f_c$



$$R_c = 2.5 \cdot f_c / (1.5 + \Phi/h)$$

(BS1881)

$E_0$

Car.	$\Phi$ [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Res. Cil. $f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Res. cub. $R_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Mod. elast. $E_0$ [N/mm <sup>2</sup> ]
C1	104	2038	22,7	28,1	17850
C2	104	2035	22,4	28,0	16550
C3	104	2001	21,5	26,7	15600
C4	79	2001	18,9	23,2	12450
C5	104	2007	18,8	23,3	12900
C6	79	2010	17,3	21,2	11500
C7	79	1920	12,5	15,6	8200
C8	79	1882	12,4	15,2	8700
C9	79	1919	14,3	17,6	11000
C10	104	2008	22,5	27,9	15050
C11	104	2001	22,8	28,2	16850
C12	79	1990	20,9	25,9	17400
C13	79	2042	20,1	24,7	16450
C14	104	2020	24,1	28,9	16900
C15	104	1981	19,3	24,0	14300
C16	104	2017	17,8	22,1	16550
C17	79	2008	20,1	24,7	12450
C18	104	2050	20,6	24,3	17000

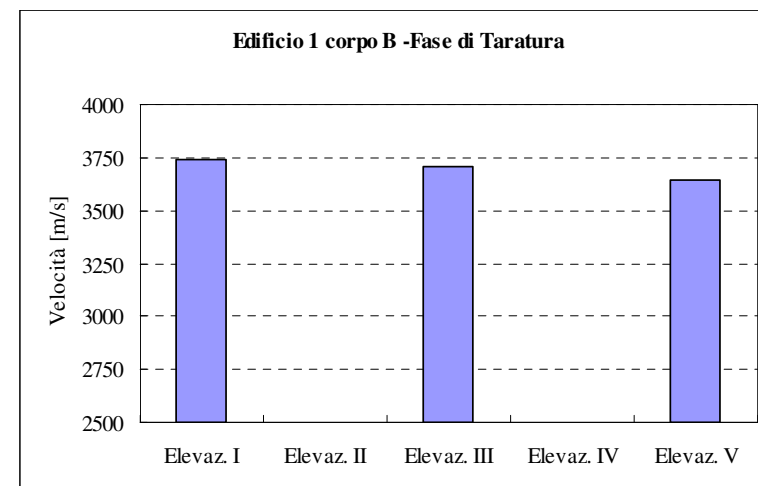
# FASE DI TARATURA - prove in situ e di laboratorio

## RIEPILOGO DEI RISULTATI

### Edificio 1

Grandezza	I elev.		III elev		V elev.		I-III-V elev.	
	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.
$V_{situ}$ [m/s]	3744	0.11	3707	0.05	3644	0.05	3698	0.04
$V_{cal}$ [m/s]	3644	0.01	3622	0.03	3577	0.04	3614	0.03
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	2000	0.00	2014	0.02	2025	0.01	2013	0.01
$f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	22.1	0.05	21.1	0.12	19.5	0.08	20.9	0.09
$R_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	27.3	0.05	25.9	0.10	23.7	0.06	25.6	0.09
$E_0$ [N/mm <sup>2</sup> ]	16430	0.07	15880	0.09	15330	0.16	15880	0.10

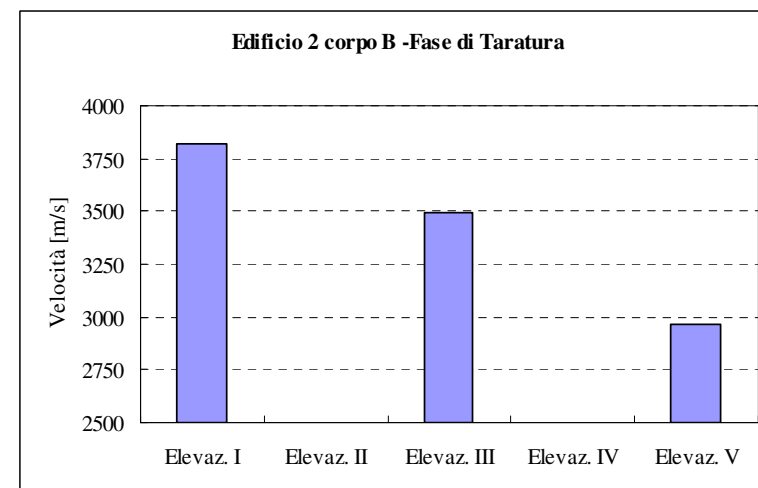
### Velocità media $V_{situ}$



### Edificio 2

Grandezza	I elev.		III elev		V elev.		I-III-V elev.	
	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.
$V_{situ}$ [m/s]	3820	0.03	3491	0.02	2965	0.02	3425	0.11
$V_{cal}$ [m/s]	3747	0.05	3281	0.02	2873	0.05	3300	0.12
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	2024	0.01	2006	0.00	1907	0.01	1979	0.03
$f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	22.2	0.03	18.3	0.05	13.1	0.08	17.9	0.23
$R_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	27.6	0.03	22.5	0.05	16.1	0.08	22.1	0.23
$E_0$ [N/mm <sup>2</sup> ]	16670	0.07	12280	0.06	9300	0.16	12750	0.26

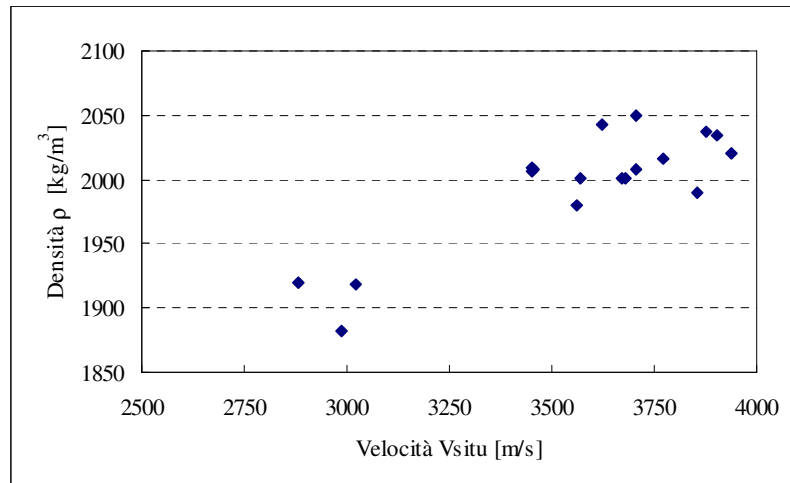
### Velocità media $V_{situ}$



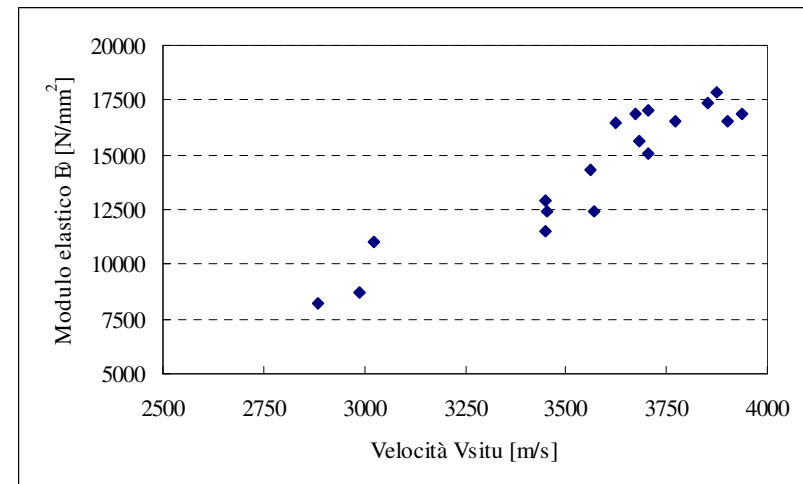
# FASE DI TARATURA - correlazioni

## DIAGRAMMI DI DISPERSIONE

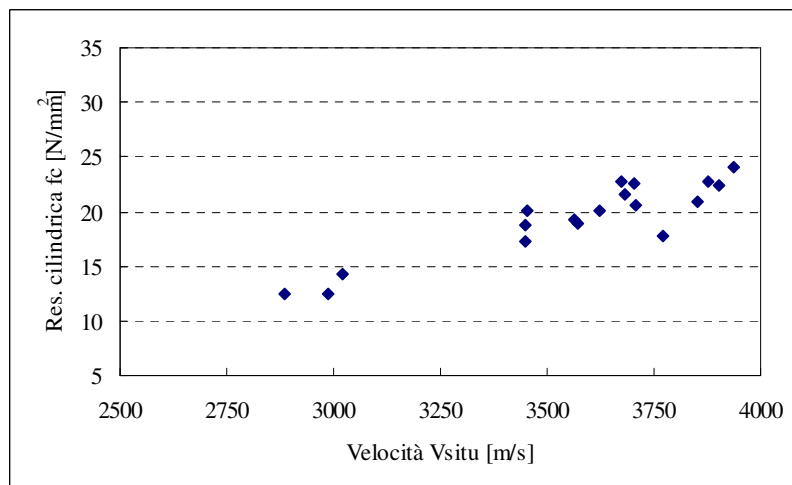
Velocità - Densità



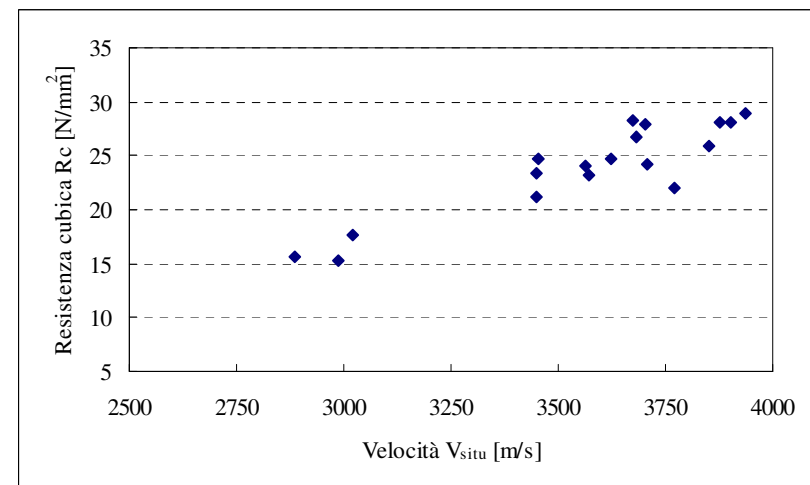
Velocità – Modulo elastico



Velocità – Res. cilindrica



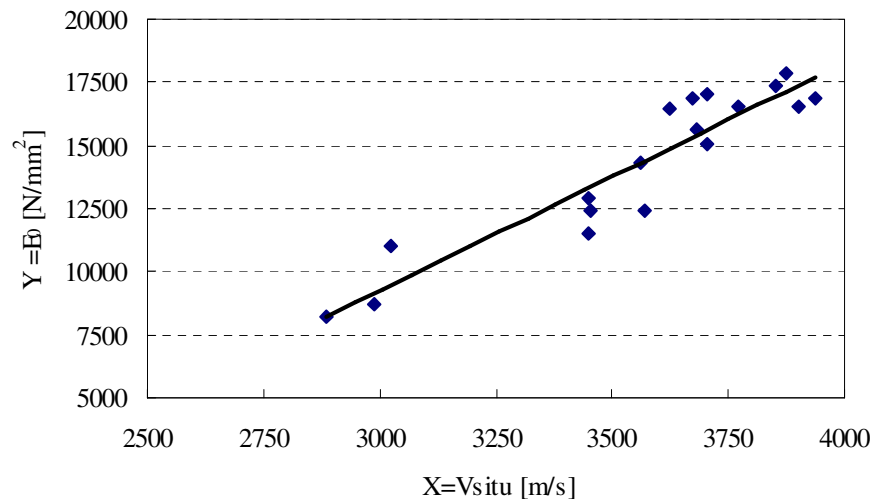
Velocità – Res. cubica



# FASE DI TARATURA - prove in situ e di laboratorio

## CORRELAZIONI

- ❑ Al fine dell'elaborazione statistica dei dati sono stati accorpati i risultati delle prove sui 2 edifici.
- ❑ Dall'interpolazione dei punti sperimentali, sono state determinate le rette di regressione dei minimi quadrati di Y su X.
- ❑ X è sempre la velocità, misurata in situ.
- ❑ Y è la generica grandezza ricercata:  $\rho$ ,  $f_c$ ,  $R_c$ ,  $E_0$



$$Y = a \cdot X + b$$

- ❑  $V_{\text{situ}}$  [m/s] -  $\rho$  [kg/m³]
- ❑  $V_{\text{situ}}$  [m/s] -  $f_c$  [N/mm²]
- ❑  $V_{\text{situ}}$  [m/s] -  $R_c$  [N/mm²]
- ❑  $V_{\text{situ}}$  [m/s] -  $E_0$  [N/mm²]

Coeff. di determinazione

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{i,stim} - Y_{med})^2}{\sum_{i=1}^N (Y_i - Y_{med})^2}$$

$$\underbrace{\sum_{i=1}^N (Y_i - Y_{med})^2}_{\text{Varianza totale}} = \underbrace{\sum_{i=1}^N (Y_i - Y_{i,stim})^2}_{\text{Varianza residua}} + \underbrace{\sum_{i=1}^N (Y_{i,stim} - Y_{med})^2}_{\text{Varianza spiegata}}$$

# FASE DI TARATURA – prove in situ e di laboratorio

## CORRELAZIONI – limiti di confidenza

$$s_{Y,X} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - Y_{stim})^2}{N}}$$

errore standard della stima di Y su X



$$s^{\wedge}_{Y,X} = s_{Y,X} * \sqrt{N/(N-2)}$$

errore standard della stima corretto

...Nell'ipotesi di distribuzione normale dei punti campionari attorno alla retta di regressione.....

$$Y^{(1s)}_{1,2} = a * X + b \pm s^{\wedge}_{YX}$$



Le 2 rette parallele alla retta di regressione a distanza verticale  $\pm s_{YX}$  racchiudono circa il 68% della popolazione.

$$Y^{(2s)}_{1,2} = a * X + b \pm 2s^{\wedge}_{YX}$$



Le 2 rette parallele alla retta di regressione a distanza verticale  $\pm 2s_{YX}$  racchiudono circa il 95% della popolazione.

$$Y^{(3s)}_{1,2} = a * X + b \pm 3s^{\wedge}_{YX}$$



Le 2 rette parallele alla retta di regressione a distanza verticale  $\pm 3s_{YX}$  racchiudono circa il 99% della popolazione.

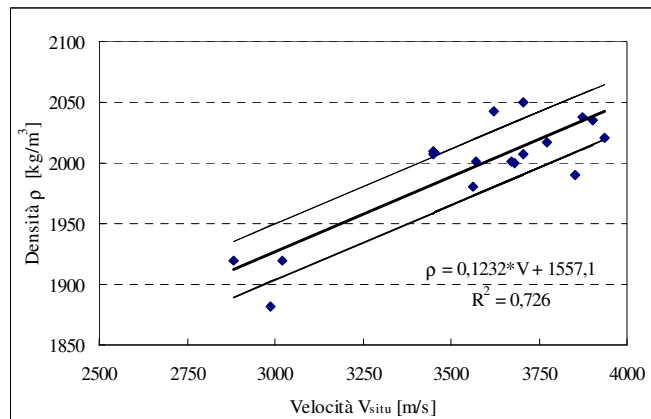
# FASE DI TARATURA - prove in situ e di laboratorio

## CORRELAZIONI - riepilogo

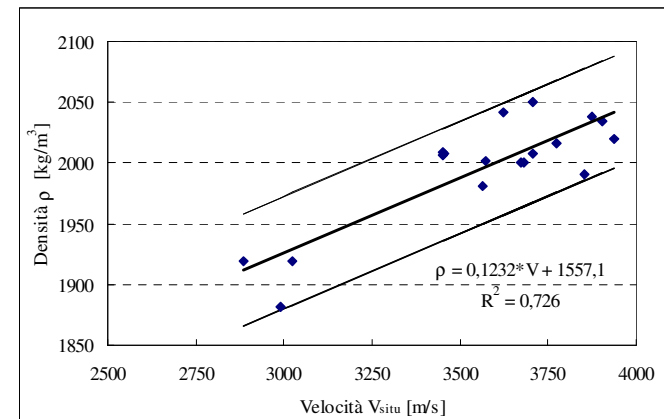
$$Y = a \cdot X + b$$

Grandezza	a	b	s	$\hat{s}$	$R^2$
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	0.1232	1557.1	23.077 [kg/m <sup>3</sup> ]	24,477 [kg/m <sup>3</sup> ]	0.7260
$f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0.0101	-16.637	1.318 [N/mm <sup>2</sup> ]	1,398 [N/mm <sup>2</sup> ]	0.8411
$R_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0.0123	-19.946	1.674 [N/mm <sup>2</sup> ]	1,776 [N/mm <sup>2</sup> ]	0.8338
E [N/mm <sup>2</sup> ]	9.0142	-17790	1072.447 [N/mm <sup>2</sup> ]	1137,502 [N/mm <sup>2</sup> ]	0.8718

### Velocità - Densità



$\rho_{stim} \pm 1s$



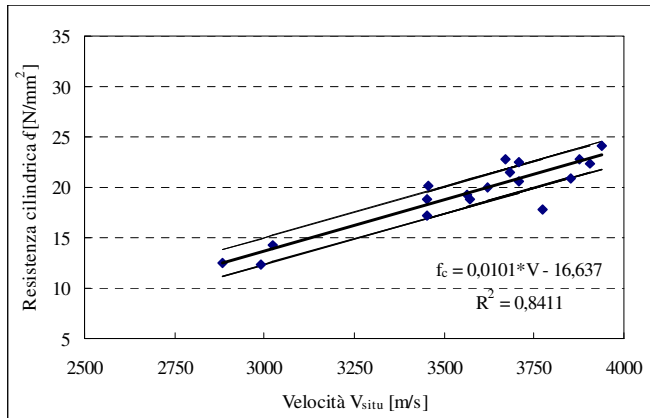
$\rho_{stim} \pm 2s$



# FASE DI TARATURA - prove in situ e di laboratorio

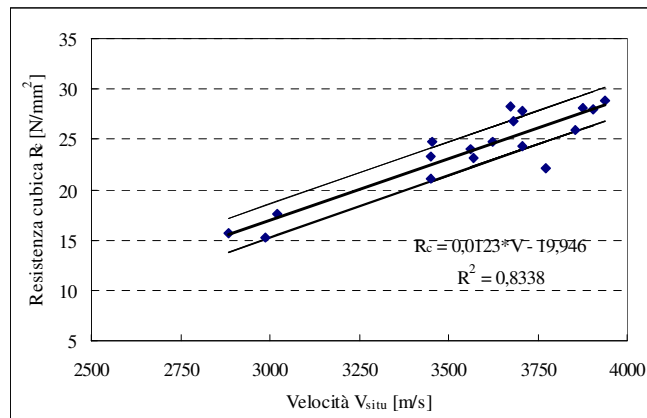
## CORRELAZIONI - riepilogo

Velocità – Resistenza cilindrica



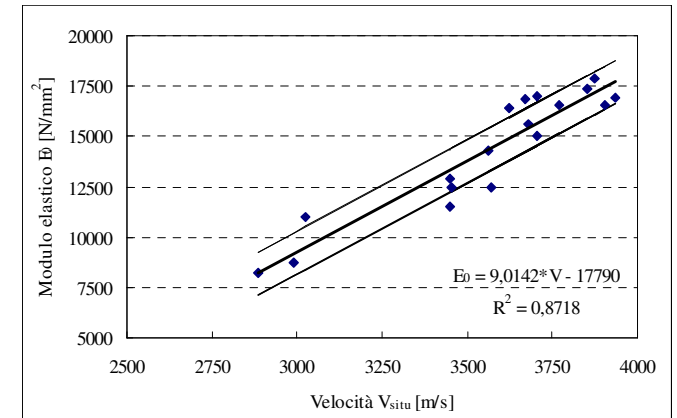
$f_{c,\text{stim}} \pm 1s$

Velocità – Resistenza cubica

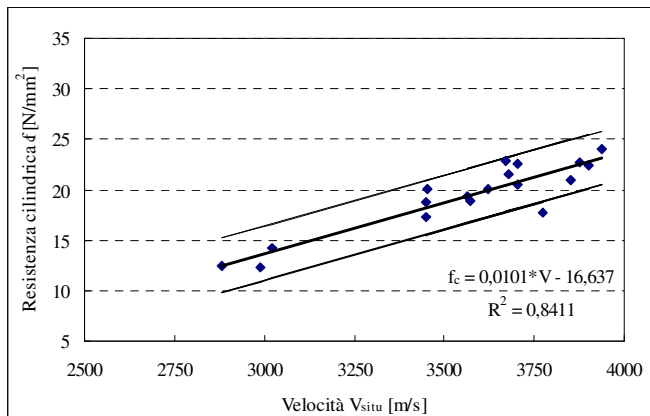


$R_{c,\text{stim}} \pm 1s$

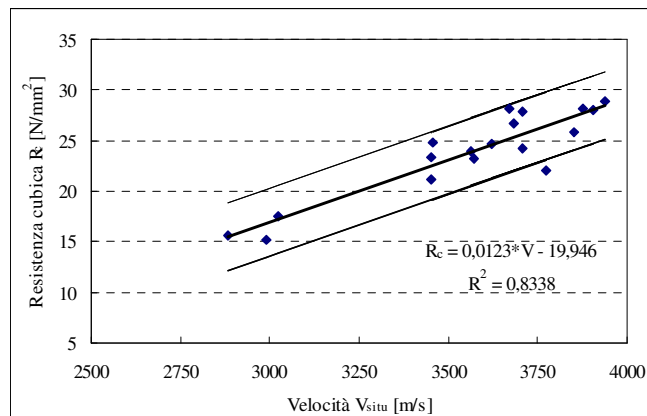
Velocità – Modulo elastico



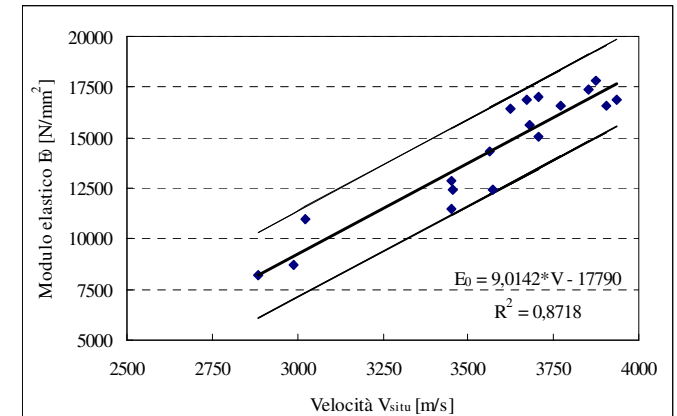
$E_{0,\text{stim}} \pm 1s$



$f_{c,\text{stim}} \pm 2s$



$R_{c,\text{stim}} \pm 2s$



$E_{0,\text{stim}} \pm 2s$



# FASE DI ESTENSIONE - prove in situ

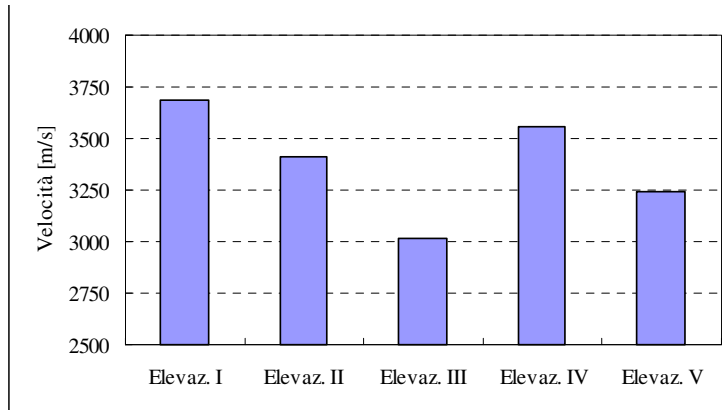
## Raccolta dei dati

### Palazzina 1 - corpo A Elevazioni I÷IV – Data misure: 14/09/06

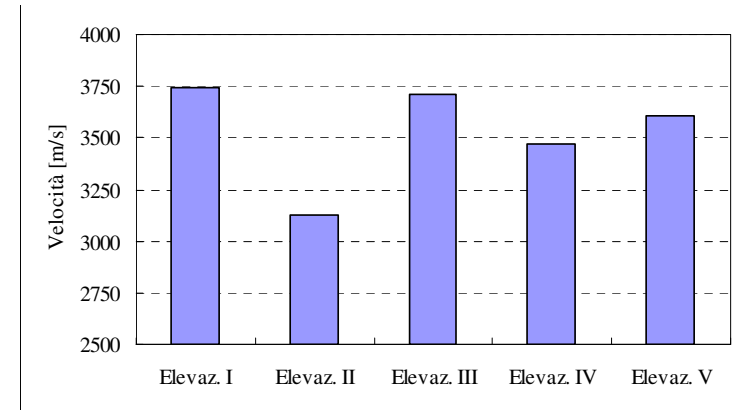
Identificazione prova						Ubicazione			Misure		Velocità V		
Elemento	Identif. elemento	Corpo scala	Elevaz. fuori terra	Direz. prova	Punto prova	dist. long.	dist. trasv.	quota	Spess. s	Tempo T	Prova singola	Media elemento	Media piano
						l [cm]	t [cm]	h [cm]	[cm]	[μs]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
Pilastro 40x40	P1	App. A	I	Trasv.	Punto 1	13	-----	88	39.8	105.6	3769	3739	3685
Pilastro 40x40	P1	App. A	I	Trasv.	Punto 2	13	-----	167	39.5	106.5	3709		
Pilastro 40x40	P2	App. A	I	Long.	Punto 1	-----	13	83	40.5	120.5	3361	3504	
Pilastro 40x40	P2	App. A	I	Long.	Punto 2	-----	13	147	40.2	110.2	3648		
Pilastro 40x40	P3	App. A	I	Trasv.	Punto 1	14	-----	83	39.5	102.7	3846	3813	
Pilastro 40x40	P3	App. A	I	Trasv.	Punto 2	16	-----	148	39.5	104.5	3780		
Pilastro 40x30	P4	App. A	II	Long.	Punto 1	-----	13	87	39.8	114.4	3479	3479	3408
Pilastro 40x30	P4	App. A	II	Long.	Punto 2	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
Pilastro 40x30	P5	App. A	II	Long.	Punto 1	-----	13	70	39.1	114.1	3427	3427	
Pilastro 40x30	P5	App. A	II	Long.	Punto 2	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
Pilastro 40x30	P6	App. A	II	Long.	Punto 1	-----	10	69	39.1	114.8	3406	3362	
Pilastro 40x30	P6	App. A	II	Long.	Punto 2	-----	13	147	38.6	116.3	3319		
Pilastro 40x30	P7	App. A	III	Trasv.	Punto 1	12	-----	70	29.8	99.5	2995	2973	3020
Pilastro 40x30	P7	App. A	III	Trasv.	Punto 2	12	-----	147	29.8	101.0	2950		
Pilastro 40x30	P8	App. A	III	Long.	Punto 1	-----	12	60	39.3	126.2	3114	3102	
Pilastro 40x30	P8	App. A	III	Long.	Punto 2	-----	14	150	39.2	126.9	3089		
Pilastro 40x30	P9	App. A	III	Long.	Punto 1	-----	13	75	39.6	131.9	3002	2986	
Pilastro 40x30	P9	App. A	III	Long.	Punto 2	-----	13	160	39.2	132.0	2970		
Pilastro 30x30	P10	App. A	IV	Trasv.	Punto 1	13	-----	86	29.7	82.2	3613	3571	3559
Pilastro 30x30	P10	App. A	IV	Trasv.	Punto 2	10	-----	152	29.5	83.6	3529		
Pilastro 30x30	P11	App. A	IV	Long.	Punto 1	-----	13	78	29.3	82.8	3539	3567	
Pilastro 30x30	P11	App. A	IV	Long.	Punto 2	-----	14	155	29.2	81.2	3596		
Pilastro 30x30	P12	App. A	IV	Trasv.	Punto 1	14	-----	79	29.3	82.6	3547	3538	
Pilastro 30x30	P12	App. A	IV	Trasv.	Punto 2	14	-----	156	29.0	82.2	3528		

# FASE DI ESTENSIONE - riepilogo dei risultati

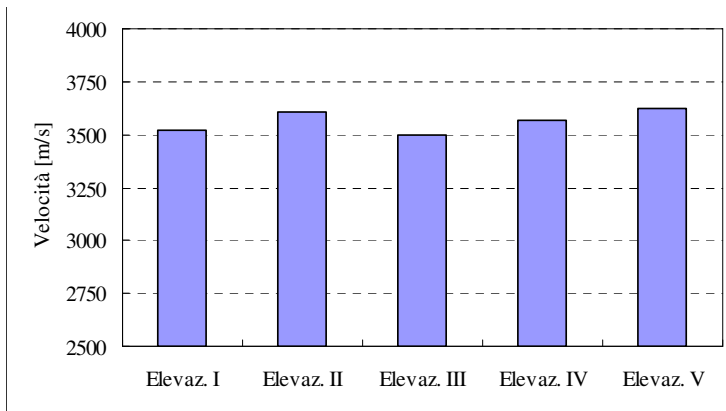
## Velocità $V_{\text{situ}}$ medie di piano



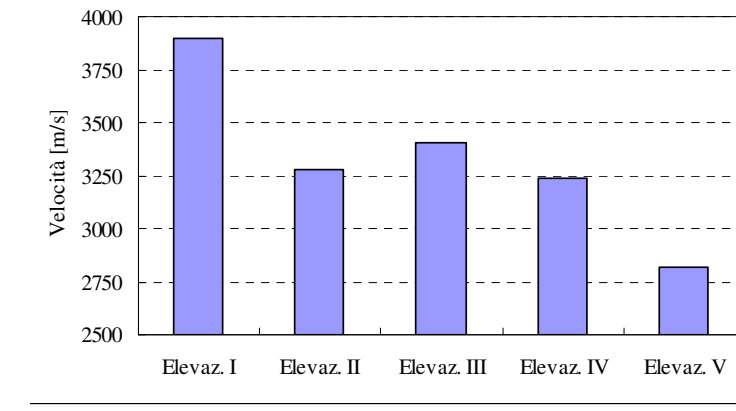
**Edificio 1 – corpo A**



**Edificio 1 – corpo B**



**Edificio 1 – corpo C**



**Edificio 2 – corpo C**

V [m/s]	I elev.		II elev.		III elev.		IV elev.		V elev.		I+V elev.	
	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.
Ed 1 - A	3685	0.04	3408	0.02	3020	0.02	3559	0.01	3245	0.02	3387	0.07
Ed 1 - B	3744	0.03	3122	0.11	3707	0.05	3469	0.01	3598	0.05	3528	0.07
Ed 1 - C	3520	0.01	3607	0.02	3494	0.01	3566	0.02	3617	0.02	3561	0.02
Ed 2 - C	3899	0.05	3274	0.05	3411	0.02	3239	0.04	2820	0.12	3329	0.11
Ed 2 - B	3820	0.03	-----	-----	3491	0.02	-----	-----	2965	0.02	3425	0.11

# FASE DI ESTENSIONE - riepilogo dei risultati

$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	I elev.		II elev.		III elev.		IV elev.		V elev.		I÷V elev.	
	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.
Ed. 1 - A	2011	0.01	1979	0.00	1929	0.00	1996	0.00	1957	0.00	1974	0.01
Ed. 1 - B	2000	0.00	1942	0.01	2014	0.02	1984	0.00	2007	0.01	1989	0.02
Ed. 1 - C	1991	0.00	2001	0.00	1988	0.00	1996	0.01	2003	0.01	1996	0.00
Ed. 2 - C	2037	0.01	1960	0.01	1977	0.00	1956	0.01	1905	0.02	1967	0.02
Ed. 2 - B	2024	0.01	-----	-----	2006	0.00	-----	-----	1907	0.01	1979	0.03

**DENSITÀ**

$f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	I elev.		II elev.		III elev.		IV elev.		V elev.		I÷V elev.	
	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.
Ed. 1 - A	20.6	0.08	18.0	0.14	13.9	0.05	19.3	0.01	16.2	0.04	17.6	0.13
Ed. 1 - B	22.1	0.05	14.9	0.23	21.1	0.12	18.4	0.02	19.5	0.08	19.2	0.13
Ed. 1 - C	18.9	0.02	19.8	0.04	18.7	0.01	19.4	0.04	19.9	0.05	19.4	0.04
Ed. 2 - C	22.8	0.08	16.5	0.09	17.9	0.04	16.1	0.07	11.9	0.28	17.0	0.22
Ed. 2 - B	22.2	0.03	-----	-----	18.3	0.05	-----	-----	13.1	0.08	17.9	0.23

**RESISTENZA  
CILINDRICA**

$R_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	I elev.		II elev.		III elev.		IV elev.		V elev.		I÷V elev.	
	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.
Ed. 1 - A	25.4	0.08	22.2	0.03	17.2	0.05	23.8	0.01	20.0	0.04	21.7	0.13
Ed. 1 - B	27.3	0.05	18.5	0.10	25.9	0.10	22.7	0.02	23.9	0.08	23.7	0.13
Ed. 1 - C	23.3	0.02	24.4	0.01	23.0	0.01	23.9	0.04	24.5	0.04	23.9	0.04
Ed. 2 - C	28.0	0.08	20.3	0.09	22.0	0.04	19.9	0.07	14.7	0.28	21.0	0.22
Ed. 2 - B	27.6	0.03	-----	-----	22.5	0.05	-----	-----	16.1	0.08	22.1	0.23

**RESISTENZA  
CUBICA**

$E_0$ [N/mm <sup>2</sup> ]	I elev.		II elev.		III elev.		IV elev.		V elev.		I÷V elev.	
	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.
Ed. 1 - A	15430	0.09	13063	0.04	9437	0.07	14290	0.01	11479	0.05	12740	0.16
Ed. 1 - B	16430	0.07	10360	0.13	15880	0.09	13480	0.03	14740	0.12	14180	0.16
Ed. 1 - C	13940	0.02	14720	0.01	13700	0.01	14350	0.05	14810	0.05	14310	0.05
Ed. 2 - C	17360	0.10	11720	0.11	12960	0.05	11410	0.09	7630	0.39	12210	0.28
Ed. 2 - B	16670	0.07	-----	-----	12280	0.06	-----	-----	9300	0.16	12750	0.26

**MODULO  
ELASTICO**

# CONCLUSIONI DELL'INDAGINE

---

- ❑ Dai grafici di dispersione l'ipotesi di distribuzione normale del campione appare confermata.
- ❑ Le grandezze appaiono ben correlate con coeff.  $R^2$  compresi tra 0.73 e 0.87.
- ❑ Il metodo appare sensibile per la misura delle variazioni nelle proprietà del materiale.
- ❑ Si è osservato in entrambe le fasi dell'indagine un decadimento delle proprietà meccaniche del cls con la quota dell'impalcato nell'edificio 2C con una riduzione max di V del 28% tra il I e il V impalcato.
- ❑ Meno eterogenea risulta invece la qualità del cls nell'edificio 1. Le riduzioni max delle velocità medie di piano variano dal 4 % nel corpo C, al 17 % nel corpo B, al 18 % nel corpo A.
- ❑ La qualità del cls appare nei 2 edifici abbastanza omogenea per impalcato, mentre significative variazioni si manifestano all'interno del blocco tra un impalcato e l'altro, come si evince dall'analisi dei c.v.
- ❑ Si è osservato, in entrambi gli edifici, un decadimento locale delle V, al crescere della quota nell'impalcato, con una riduzione media dal basso verso l'alto del 2% per metro.

# CONCLUSIONI DELL'INDAGINE

---

- ❑ Nell'indagine qui presentata sono stati estratti complessivamente 18 campioni di cls e sono state eseguite  $18+240$  prove n.d. complessivamente.
- ❑ Da un'analisi prezzi effettuata il rapporto dei costi di esecuzione della prova n.d. US rispetto ad una p.d. con estrazione del campione, ripristino, esecuzione della sola prova di compressione è pari a 1:8. Per prova strumentata tale rapporto tra PND e PD è 1:15.
- ❑ Nel caso di prove non strumentate, il costo complessivo di un'indagine estesa come in questo lavoro calcolato con riferimento al costo unitario della PD è di  $18*1+(18+240)*1/8 \cong 50$ .
- ❑ Nel caso di prove strumentate il costo complessivo dell'indagine calcolato con riferimento al costo unitario della PD strumentata è di  $18*1+(18+240)*1/15 \cong 35$ .
- ❑ Ciò significa che a parità di estrazioni l'indagine combinata diventa più conveniente quando l'obiettivo è la determinazione di più grandezze, in particolare del modulo elastico.