

---

L'Ordine degli Ingegneri di Cuneo  
In collaborazione con Engineering Controls Srl e DRC Srl  
Organizza il Convegno

***Vulnerabilità sismica degli edifici esistenti:  
Procedure di gestione e tecniche di indagine non invasive***

Cuneo, 25 Settembre 2015



*Con la collaborazione di:*



*Con il patrocinio di:*





***Vulnerabilità sismica degli edifici esistenti:  
Procedure di gestione e tecniche di indagine non invasive***

Cuneo, 25 Settembre 2015

## **Casi reali: Campagna di indagine non distruttiva mediante tecniche non invasive**

*Ing. Fabio Mattiauda – Laboratorio Prove Engineering Controls S.r.l.*

*Con la collaborazione di:*



*Con il patrocinio di:*



## Livelli di conoscenza di edifici in c.a.

Circolare 02 Febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. § C8A.1.B

**Il livello di conoscenza acquisito determina il metodo di analisi e i fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali**

Livello di conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca + <i>limitate verifiche in-situ</i>	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>limitate prove in-situ</i>	Analisi lineare statica o dinamica	1,35
LC2		Disegni costruttivi incompleti <i>con limitate verifiche in-situ</i> o <i>estese verifiche in-situ</i>	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali <i>con limitate prove in-situ</i> o <i>estese prove in situ</i>	Tutti	1,20
LC3		Disegni costruttivi completi <i>con limitate verifiche in-situ</i> o <i>esaustive verifiche in-situ</i>	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto <i>con estese prove in-situ</i> o <i>esaustive prove in situ</i>	Tutti	1,00

## Livelli di conoscenza di edifici in c.a.

DM 14-01-2008 § 8.2

	Rilievo (dei dettagli costruttivi)	Prove (sui materiali)
	<i>Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro...)</i>	
<i>Verifiche limitate</i>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il <b>15%</b> degli elementi	<b>1 provino</b> di cls. per <b>300 m<sup>2</sup></b> di piano dell'edificio; <b>1 campione</b> di armatura <i>per piano</i> dell'edificio
<i>Verifiche estese</i>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il <b>35%</b> degli elementi	<b>2 provini</b> di cls. per <b>300 m<sup>2</sup></b> di piano dell'edificio; <b>2 campioni</b> di armatura <i>per piano</i> dell'edificio
<i>Verifiche esaustive</i>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il <b>50%</b> degli elementi	<b>3 provini</b> di cls. per <b>300 m<sup>2</sup></b> di piano dell'edificio; <b>3 campioni</b> di armatura <i>per piano</i> dell'edificio

E' consentito sostituire alcune prove distruttive, **non più del 50%**, con un più ampio numero, **almeno triplo**, di **PROVE NON DISTRUTTIVE**, singole o combinate, tarate su quelle distruttive

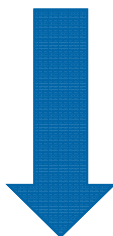
## Livelli di conoscenza di edifici in Muratura

Circolare 02 Febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. § C8A.1.A

**Il livello di conoscenza acquisito determina il metodo di analisi e i fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali**

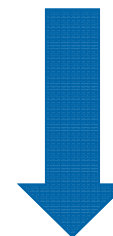
Livello di conoscenza	Geometria	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Rilievo muratura, volte, solai, scale. Individuazione carichi gravanti su ogni elemento di parete. Individuazione tipologia fondazioni. Rilievo eventuale quadro fessurativo e deformativo	<i>verifiche in-situ limitate</i>	<i>Indagini in-situ limitate.</i> Resistenza: valore minimo di Tab. C8A.2.1 Modulo elastico: valore medio intervallo di Tab. C8A.2.1	Tutti	1,35
LC2		<i>verifiche in-situ estese ed esaustive</i>	<i>Indagini in-situ estese.</i> Resistenza: valore medio intervallo di Tab. C8A.2.1 Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tab. C8A.2.1		1,20
LC3			<i>Indagini in-situ esaustive..</i> Caso a) (disponibili 3 o più valori sperimentali di resistenza). Resistenza: media dei risultati delle prove. Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tab. C8A.2.1  Caso b) (disponibili 2 valori sperimentali di resistenza). Resistenza: se valore medio sperimentale compreso in intervallo di Tab. C8A.2.1, valore medio dell'intervallo di Tab. C8A.2.1; se valore medio sperimentale maggiore di estremo superiore intervallo, quest'ultimo; se valore medio intervallo inferiore al minimo dell'intervallo; valore medio sperimentale. Modulo elastico: come LC3 - caso a)  Caso c) (disponibile 1 valore sperimentale di resistenza). Resistenza: se valore medio sperimentale compreso in intervallo di Tab. C8A.2.1, oppure superiore, valore medio dell'intervallo di Tab. C8A.2.1; se valore sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore sperimentale. Modulo elastico: come LC3 - caso a)		1,00

**Gli OBIETTIVI di una campagna di indagine sono essenzialmente due:**



## **SICUREZZA**

**Ottenere informazioni sullo stato di conservazione dei materiali e degli edifici al fine di evitare possibili dissesti strutturali.**



## **ECONOMICO**

**Valutare il reale stato di conservazione dell'opera oggetto di indagine al fine di ottenere indicazioni “tecniche e oggettive” sui materiali e sulla struttura.**

## CAMPAGNA DI INDAGINE CONOSCITIVA

**Obbiettivo delle campagna di indagine è quello di acquisire tutte le informazioni, possibilmente numeriche, sulle caratteristiche meccaniche, degrado dei materiali, stato di conservazione, variazioni geometriche, funzionalità di:**

- **TERRENO - FONDAZIONI**
- **MATERIALI**
- **STRUTTURA**
- **INVOLUCRO**

# **Casi Reali**

## **Strutture esistenti: Come procedere**



## PROCEDURA BASE

La procedura da seguire per il conseguimento di una campagna di indagine si compone dei seguenti passi:

- REPERIMENTO DEI DOCUMENTI (spesso non ci sono)
- ANALISI DOCUMENTALE
- RICOSTRUZIONE STORICA
- RILIEVO GEOMETRICO
- SOPRALUOGO ED ANALISI VISIVA
- PROGETTAZIONE DELLA CAMPAGNA DI PROVE
- ANALISI DEI MATERIALI: PROVE DISTRUTTIVE E NON DISTRUTTIVE
- DIAGNOSI STRUTTURALE

## PROGETTAZIONE INTERVENTI DI RIPRISTINO - CONSOLIDAMENTO







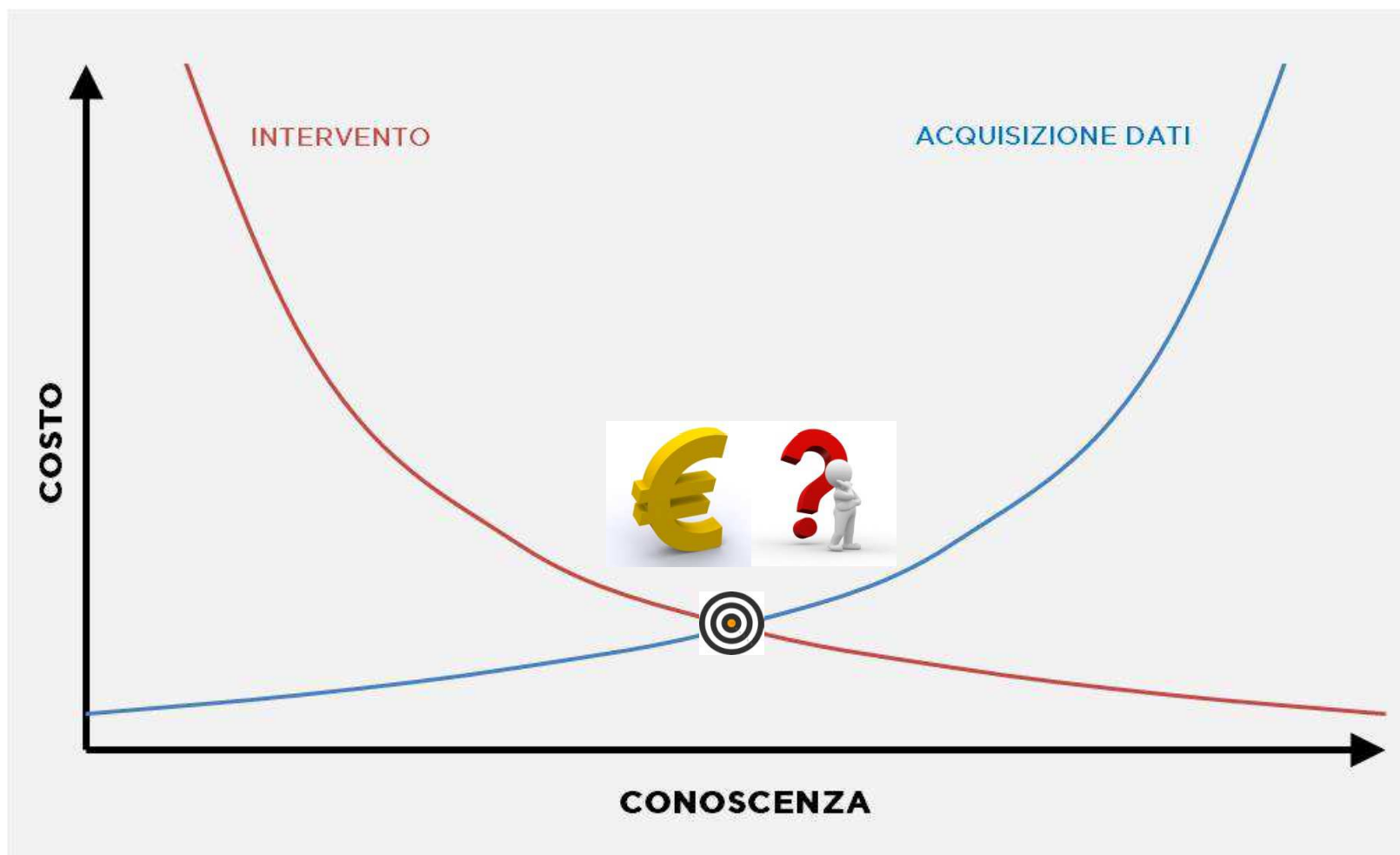


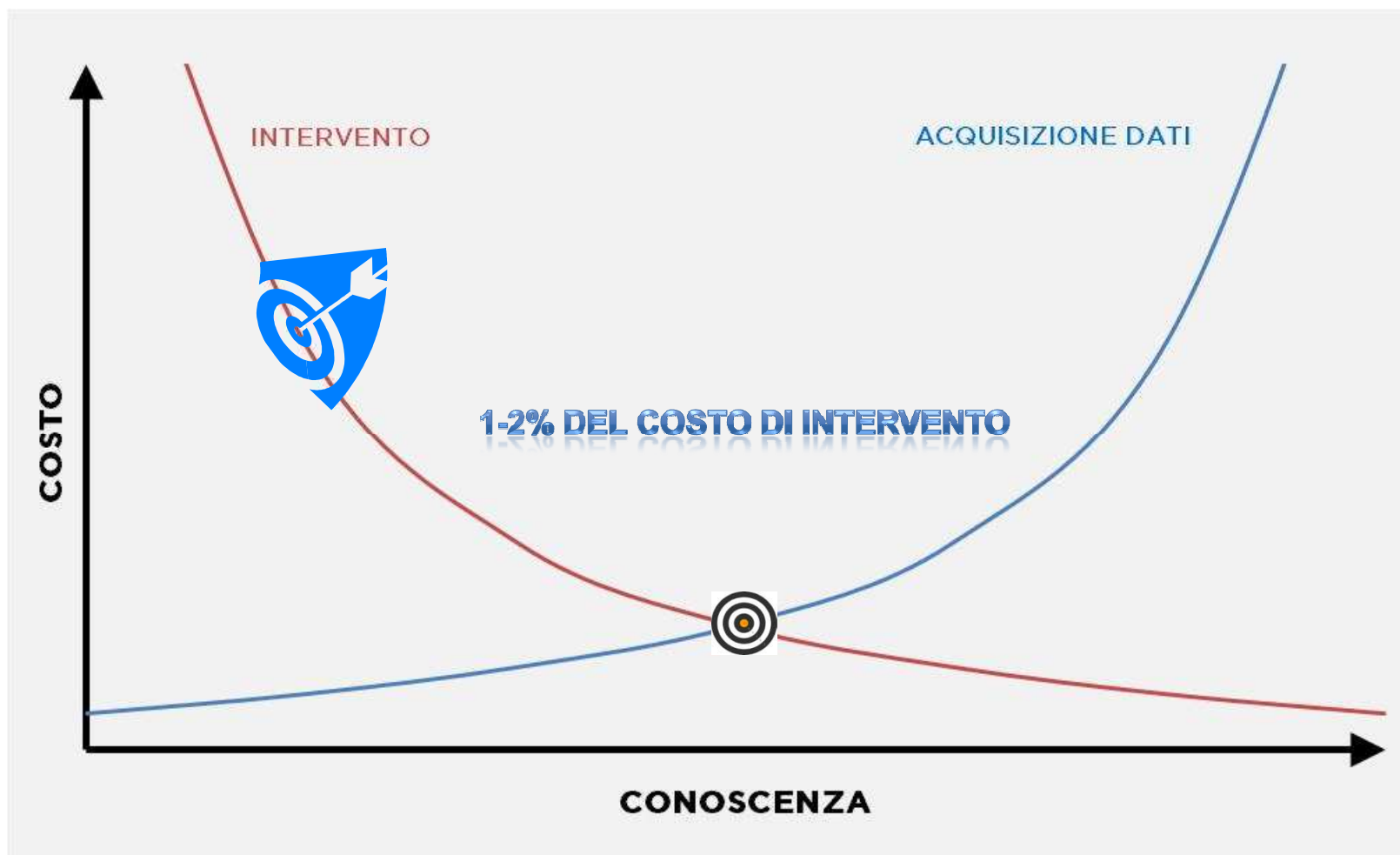
## ***Indicazioni generali***

- Occorre distribuire i controlli distruttivi e non distruttivi sull'intera struttura; analisi preliminari possono fornire indicazioni su possibili “famiglie” di caratteristiche meccaniche dei materiali e conseguentemente ridurre il numero di prove (e il costo dell'intervento);
- Sono corretti i razionali che prendono in considerazione le eventuali simmetrie dei fabbricati;
- E' preferibile (quando si può) eseguire i prelievi di barre di armatura e le prove molto invasive in genere da elementi che verranno rimossi nei lavori di adeguamento successivi; in ogni caso preferire gli elementi che si trovano ai piani alti dell'edificio;
- **Tarare sempre i risultati ottenuti dai controlli non distruttivi (CND) con i risultati ottenuti dalla compressione delle carote estratte in apposite postazioni di taratura.**







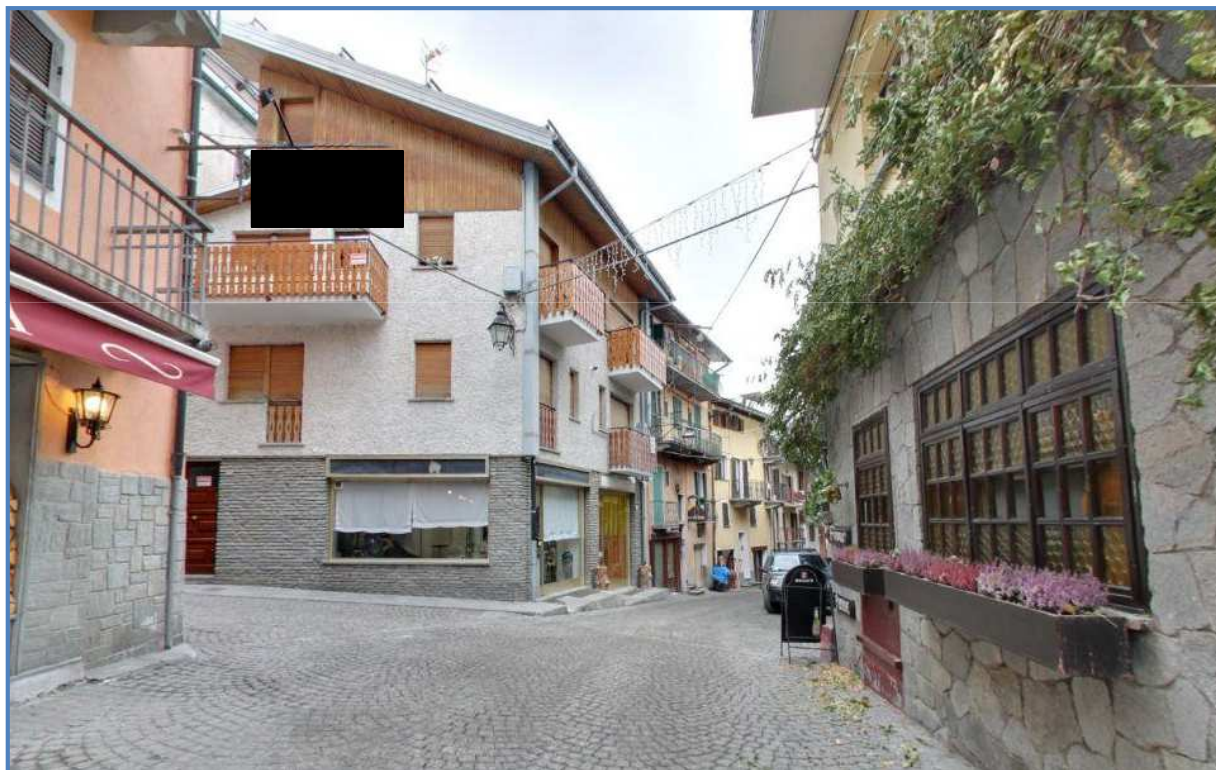




## ***Casi analizzati***

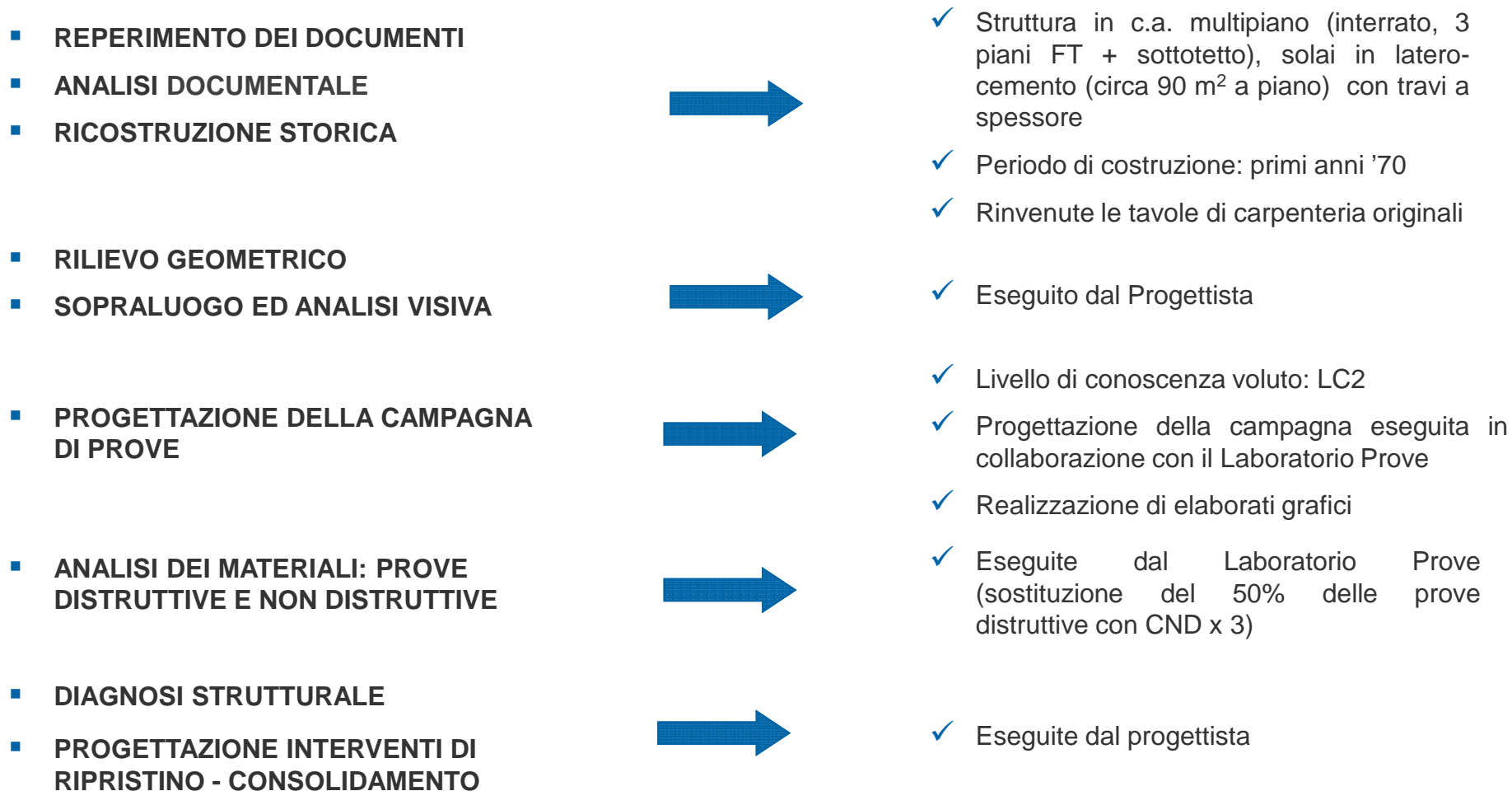
- Struttura ricettiva – intervento di ristrutturazione
- Centro commerciale – intervento di adeguamento sismico
- Autorimessa di civile abitazione – indagini sul calcestruzzo

# Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione



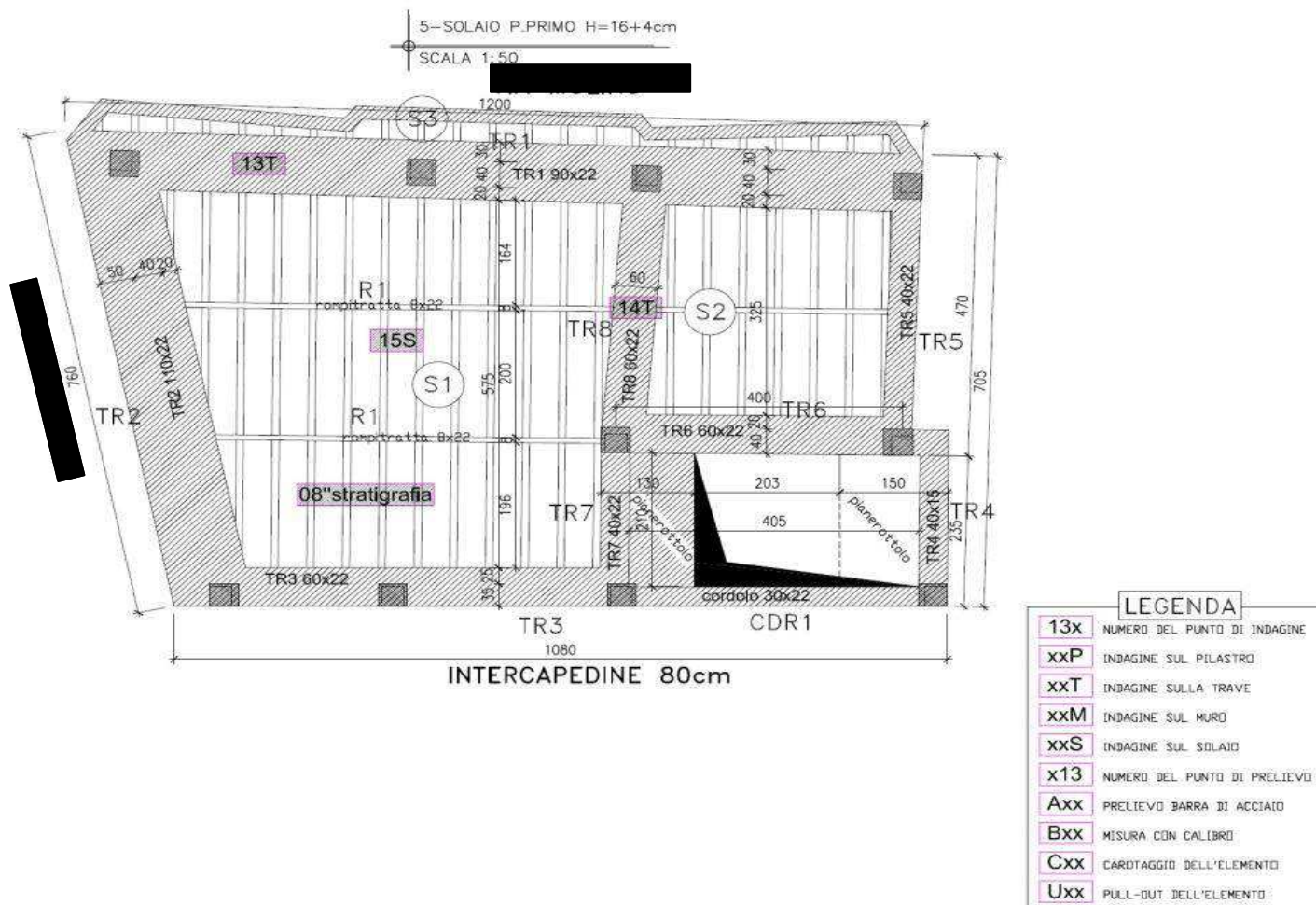
Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

## PROCEDURA BASE applicata al caso in esame



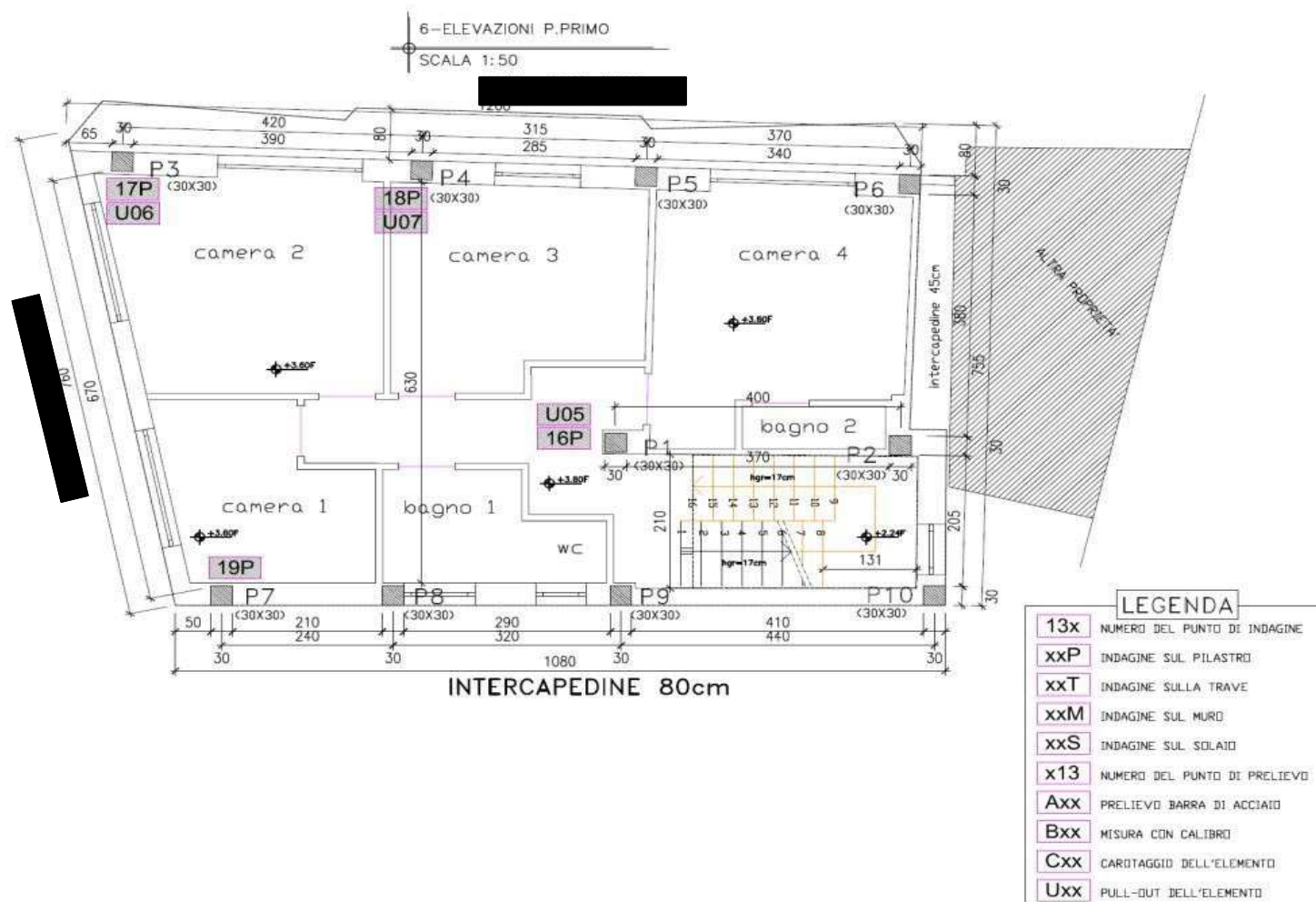
## Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Solaio piano tipo:



## Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Elevazioni piano tipo:





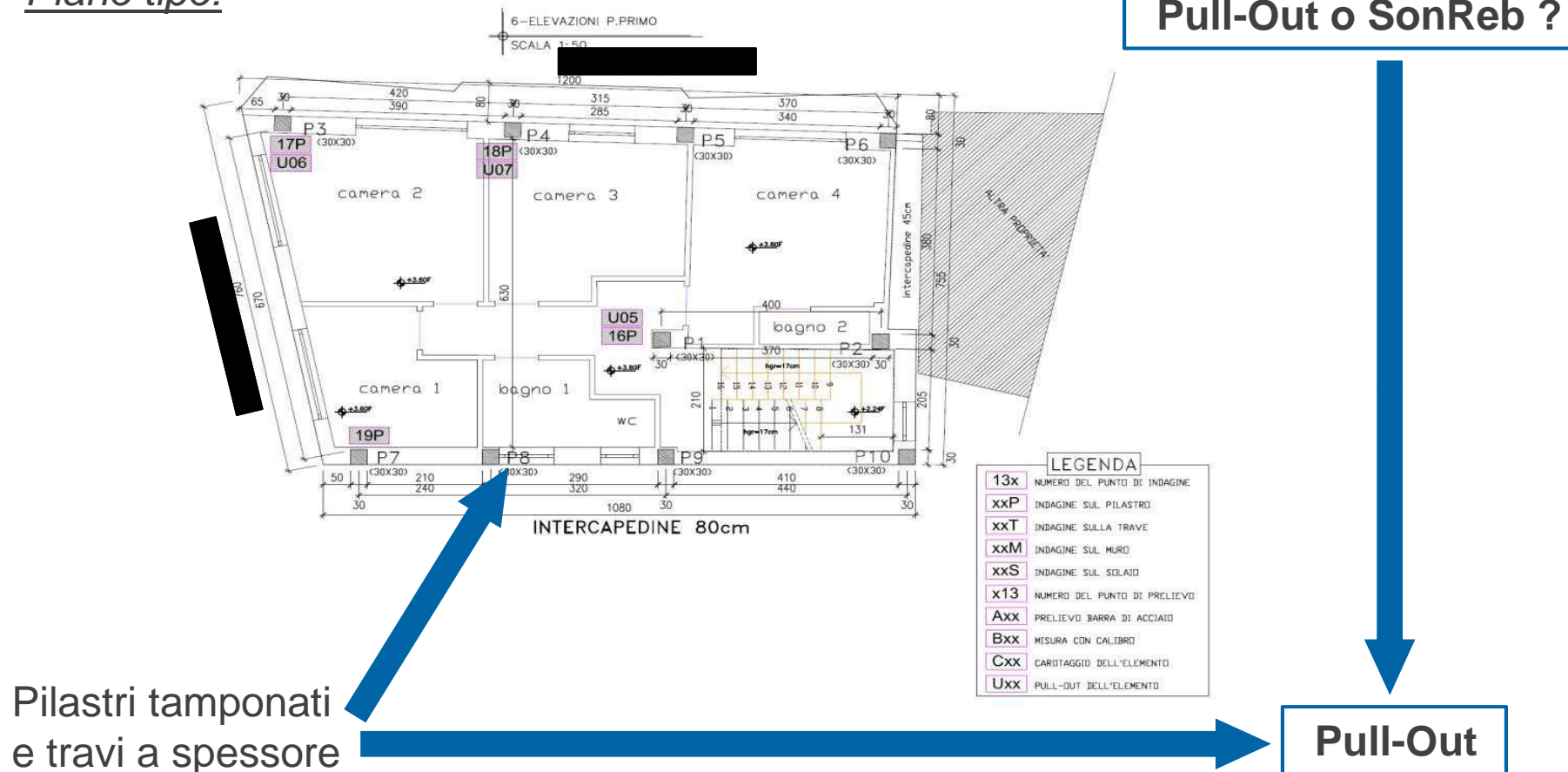
## Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Campagna di prove condivisa con il Progettista:

	PROVE SU STRUTTURE IN CLS	NORMA	quantità
2-A	Prelievo cls da pilastri e solai tramite <b>carotaggio</b> centrifugo di n. 1 provino cilindrico Ø 100 mm compresa analisi con pacometro per evitare barre di armature (6 pilastri)	UNI EN 12504-1	6
2-B	<b>Taglio</b> provini con lama diamantata + <b>rettifica</b>	UNI EN 12390-3	6
2-C	Determinazione della resistenza del calcestruzzo attraverso prova di <b>compressione</b> su n. 1 carota prelevata in situ	UNI EN 12390-3	6
2-D	Determinazione della forza di estrazione di inserti post-inseriti <b>Pull-Out</b>	UNI EN 12504-3 UNI EN 10157	18
3-A	<b>Prelievo</b> di spezzone di <b>barra</b> di armature da pilastri in c.a. per la prova di trazione	UNI EN 15630-1	6
3-B	Prova di <b>trazione</b> su <b>barra</b> di armatura prelevata dalle strutture	UNI EN 15630-1	6
4	<b>Indagine pacometrica</b> comprensiva di: - individuazione geometria, dimensione e profondità di rinforzi metallici (barre di armatura) - eventuale rimozione copriferro e misura diretta dei diametri con calibro - restituzione dei risultati in forma numerica e grafica con redazione di singole schede riassuntive con documentazione fotografica, schema geometrico dei ferri di armatura, posizionamento punti di misura, valori misurati (diametri, copriferri, passi staffe);	BS 1881	42
5	Relazione sulle prove		1

Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Piano tipo:



**Tarare sempre i CND con i risultati ottenuti dai carotaggi**

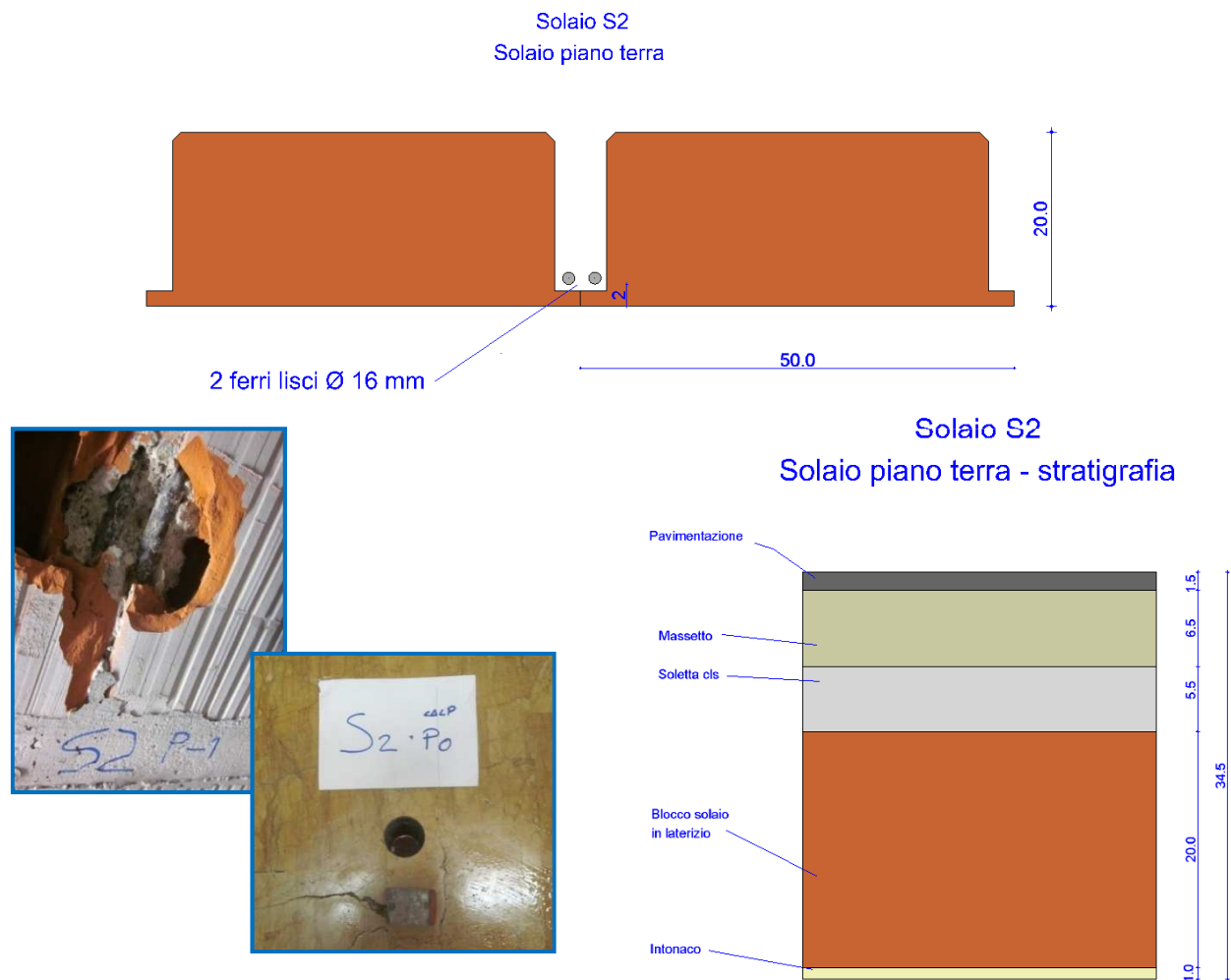
## Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Elemento n°	Tipo di elemento	Ubicazione	Carotaggio/stratigrafia	Pull-Out	Pacometro	Misura diretta dei ferri di armatura dopo scarifica	Prelievo barre di armatura	Note
M 1	Muro perimetrale	Elevazione piano interrato	x	x	x			Postazione di taratura
M 3	Muro perimetrale		x	x	x			Postazione di taratura
P 1	Pilastro	Solaio piano terra		x	x	x		
TR 6	Trave				x			
TR 7	Trave			x	x	x		
S 1	Solaio				x	x		
S 2	Solaio		x		x	x		
P 1	Pilastro	Elevazione piano terra			x			
P 4	Pilastro			x	x			
P 5	Pilastro			x	x	x		
P 9	Pilastro				x			
TR 1	Trave	Solaio piano primo			x			
TR 8	Trave				x			
S 1	Solaio	Elevazione piano primo	x		x			
P 1	Pilastro			x	x			
P 3	Pilastro			x	x			
P 4	Pilastro			x	x			
P 7	Pilastro	Solaio piano secondo			x			
TR 2	Trave				x			
TR 6	Trave			x	x	x		
S 2	Solaio				x			
P 1	Pilastro	Elevazione piano secondo			x	x	x	
P 6	Pilastro			x	x			
P 7	Pilastro			x	x			
P 9	Pilastro				x			
TR 3	Trave	Solaio piano terzo		x	x	x		
TR 7	Trave			x	x			
TR 1	Trave		x	x	x	x		Postazione di taratura
P 1	Pilastro	Elevazione piano terzo	x	x	x	x		Postazione di taratura
P 5	Pilastro			x	x	x		
P 6	Pilastro		x	x	x			Postazione di taratura
P 8	Pilastro				x	x		
P 9	Pilastro			x	x	x		
TR 1	Trave	Solaio piano sottotetto		x	x	x		
TR 2	Trave				x			
TR 6	Trave			x	x			
TR 7	Trave			x	x			
TR 8	Trave			x	x			
S 1	Solaio				x			
S 3	Solaio				x			
P 12	Pilastro	Elevazione piano	x	x	x			Postazione di taratura
P 13	Pilastro				x	x	x	



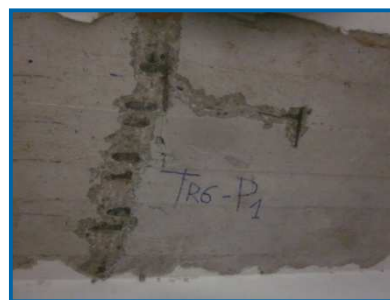
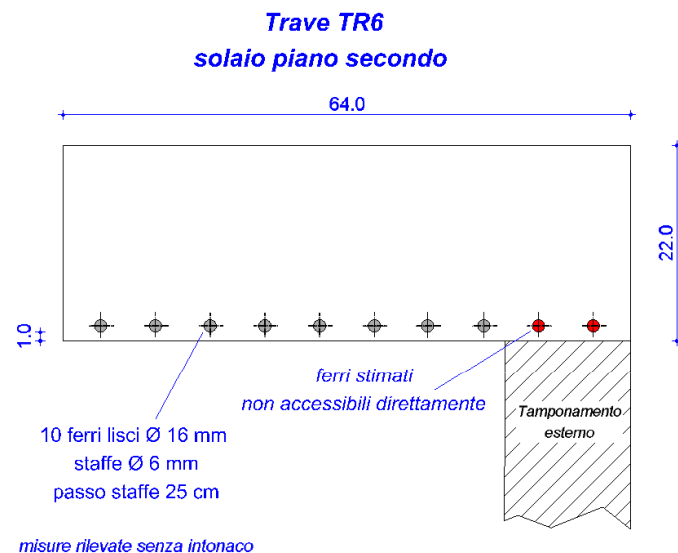
Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Restituzione dei risultati - esempi:

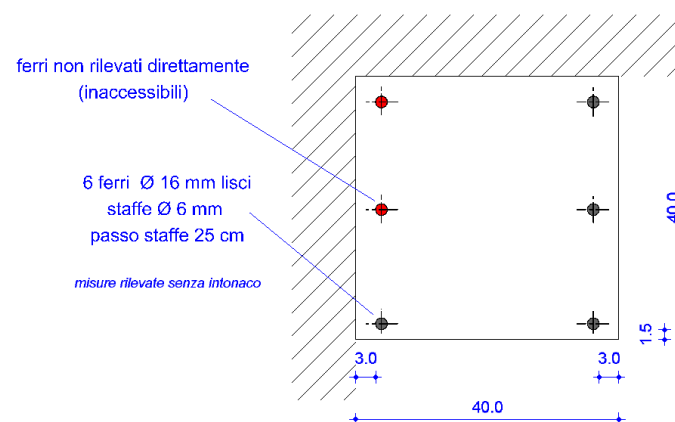


Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

## Restituzione dei risultati - esempi:



### **Pilastro P5** **elevazione piano terra**



Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Restituzione dei risultati - esempi:



Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Restituzione dei risultati - esempi:



**Vulnerabilità sismica degli edifici esistenti: procedure di gestione e tecniche di indagine non invasive.**

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

**Cuneo -25 Settembre 2015**

weareone



Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

### Elaborazione dei risultati:

- **Pull-Out:** stima della resistenza del calcestruzzo ( $R_c$ ) mediante l'estrazione di un tassello post inserito nell'elemento da analizzare. Ogni postazione Pull-Out è costituita da tre estrazioni.

**Descrizione del Metodo:** *Il tassello viene inserito in un foro appositamente svasato internamente; attraverso la battitura della testa del tassello si produce l'allargamento della parte radiale interna consentendo così una perfetta adesione alle pareti. Viene quindi applicato un martinetto oleodinamico che poggia su una superficie circolare. Il martinetto è collegato ad una pompa manuale oleodinamica e ad un manometro di precisione. Agendo sulla pompa si esercita una forza sul tassello fino alla sua estrazione determinata dalla rottura di un cono di calcestruzzo. La rottura della parte sottoposta a tensione avviene per compressione - taglio tra la parte allargata del tassello e la base del martinetto. Il manometro registra la pressione massima necessaria per l'estrazione.*

*La pressione letta sul manometro è legata alla forza di estrazione attraverso le caratteristiche geometriche del martinetto.*

La relazione che lega la forza di estrazione alla resistenza del calcestruzzo è del tipo seguente:

$$R_c = a \cdot F_{\text{estrazione}} + b \quad [a]$$

Una delle formulazioni più note è quella dell'Ing. Meneghetti:

$$R_c = 0.092 \cdot F_{\text{estrazione}} + 94.1 \quad [1]$$

I coefficienti “a” e “b” della [1] non sono “universalmente validi”:

**Meglio ricavarli attraverso una correlazione diretta con prove distruttive (compressione su provini cilindrici ottenuti tramite carotaggi) eseguite in apposite postazioni di taratura.**

## Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

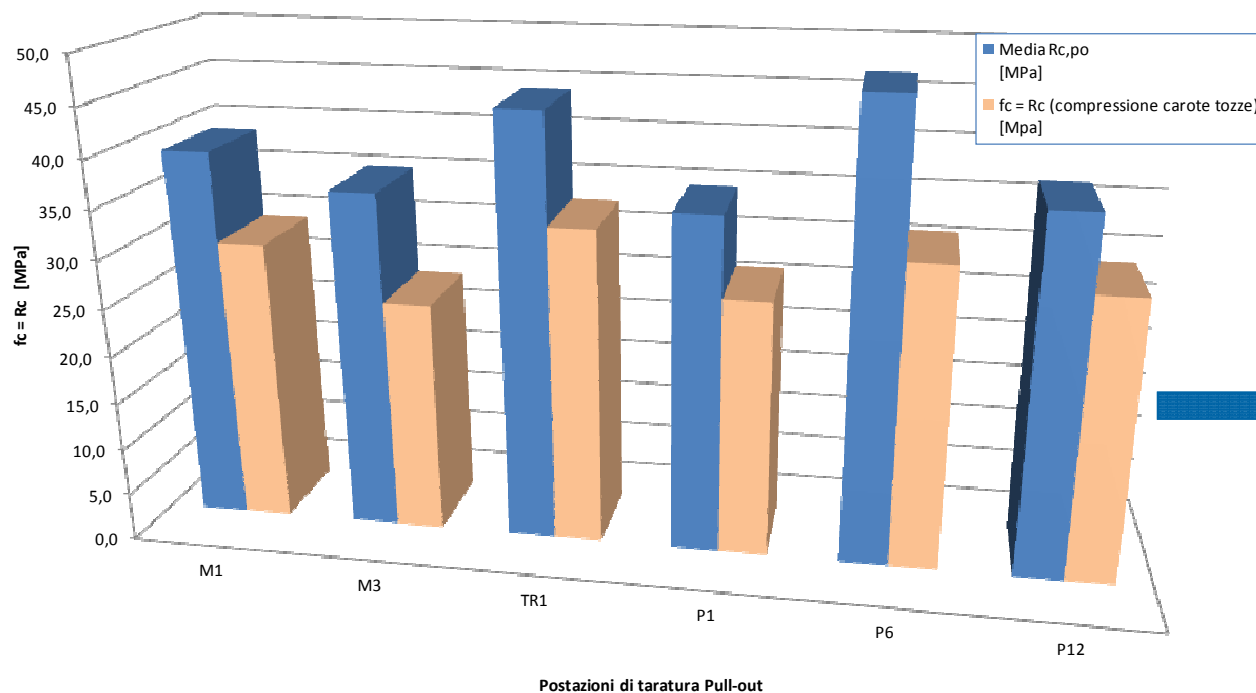
Elaborazione dei risultati:

Pull-out						Compressione carote
Postazione di prova	Punti Pull-Out	Pressione misurata al manometro [bar]	Forza di estrazione [kN]	Rc,po [MPa]	Media Rc,po [MPa]	fc = Rc (compressione carote tozze) [Mpa]
M1	1	101,90	33,3	39,9	39,2	29,9
	2	103,50	33,9	40,4		
	3	93,50	30,6	37,4		
M3	1	118,50	38,8	45,0	35,8	24,5
	2	90,75	29,7	36,5		
	3	56,25	18,2	26,0		
TR1	1	130,35	42,7	48,6	44,6	33,3
	2	102,75	33,6	40,2		
	3	119,15	39,0	45,2		
P1	1	88,45	28,9	35,8	35,3	27
	2	82,35	26,9	34,0		
	3	89,65	29,3	36,2		
P6	1	140,65	46,1	51,7	47,4	31,7
	2	124,90	40,9	46,9		
	3	113,75	37,3	43,5		
P12	1	93,85	30,7	37,5	37,3	29,5
	2	86,25	28,2	35,1		
	3	99,80	32,7	39,3		
Media						0,736

Coefficiente di influenza globale $\Phi_i=Rc/Rc,po$	Forza di estrazione media [kN]
0,762	32,6
0,684	28,9
0,746	38,5
0,764	28,4
0,669	41,4
0,791	30,5

Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Elaborazione dei risultati:



**Gli errori sistematici  
del CND utilizzato  
sono sotto controllo:  
taratura efficace**

**Un solo operatore:**

***“errori casuali”***

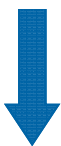
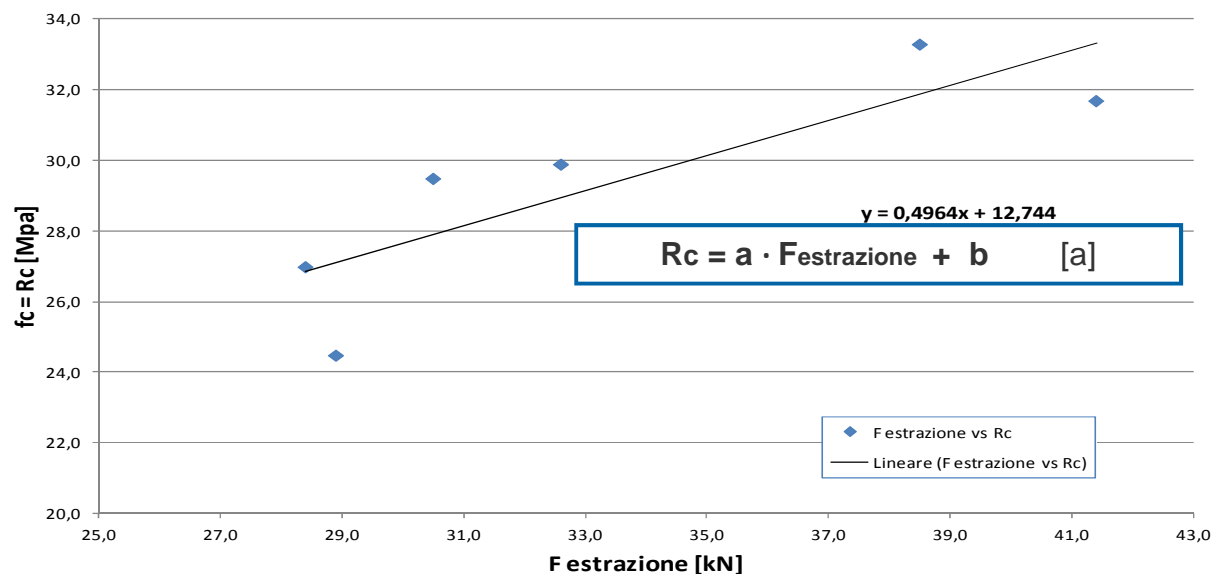


***“errori sistematici”***

Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

## Elaborazione dei risultati:

**F estrazione vs fc=Rc**



**Gli errori sistematici  
del CND utilizzato  
sono sotto controllo:  
taratura efficace**

Pull-out	Compressione carote	
Postazione di prova	fc = Rc (compressione carote tozze) [Mpa]	Forza di estrazione media [kN]
M1	29,9	32,6
M3	24,5	28,9
TR1	33,3	38,5
P1	27	28,4
P6	31,7	41,4
P12	29,5	30,5



## Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

## Elaborazione dei risultati:

$$R_c = a \cdot \text{Festrazione} + b \quad [a]$$

Pull-out						Compressione carote
Postazione di prova	Punti Pull-Out	Pressione misurata al manometro [bar]	Forza di estrazione [kN]	Rc.po [MPa] "Meneghetti"	Media Rc.po [MPa] "Meneghetti"	fc = Rc (compressione carote tozze) [Mpa]
	1	101,90	33,3	39,9	39,2	29,9
	2	103,50	33,9	40,4		
	3	93,50	30,6	37,4		
	1	118,50	38,8	45,0	35,8	24,5
	2	90,75	29,7	36,5		
	3	56,25	18,2	26,0		
U01	1	160,60	52,7	57,7	52,1	
	2	135,10	44,3	50,0		
	3	130,15	42,7	48,5		
U02	1	129,70	42,5	48,4	45,5	
	2	113,10	37,0	43,3		
	3	118,25	38,7	44,9		
U03	1	118,65	38,9	45,0	42,9	
	2	108,85	35,6	42,0		
	3	107,70	35,3	41,7		
U04	1	139,10	45,6	51,2	46,6	
	2	114,90	37,6	43,9		
	3	117,45	38,5	44,6		
U05	1	94,80	31,0	37,7	34,7	
	2	75,80	24,7	32,0		
	3	84,10	27,5	34,5		
U06	1	111,80	36,6	42,9	44,0	
	2	111,65	36,6	42,9		
	3	122,75	40,2	46,2		
U07	1	77,95	25,4	32,6	36,4	
	2	82,20	26,8	33,9		
	3	110,70	36,3	42,6		
U08	1	81,75	26,7	33,8	30,5	
	2	65,05	21,2	28,7		
	3	66,45	21,6	29,1		
U09	1	92,35	30,2	37,0	42,5	
	2	128,35	42,1	47,9		
	3	110,90	36,3	42,6		
U10	1	114,25	37,4	43,7	47,9	
	2	125,70	41,2	47,1		
	3	144,65	47,5	52,9		

Interpretazione		
Rc.po tarato = Rc*Φi medio [MPa]	Rc elemento [MPa] (metodo Φi)	Rc elemento [MPa] (taratura con retta di regressione su Festrazione)
28,9	29,9	29,9
26,4	24,5	24,5
38,3	38,3	35,9
33,5	33,5	32,3
31,6	31,6	30,9
34,3	34,3	32,9
25,6	25,6	26,5
32,4	32,4	31,5
26,8	26,8	27,4
22,5	22,5	24,2
31,3	31,3	30,7
35,3	35,3	33,6

Pull-out						Compressione carote
Postazione di prova	Punti Pull-Out	Pressione misurata al manometro [bar]	Forza di estrazione [kN]	Rc.po [MPa] "Meneghetti"	Media Rc.po [MPa] "Meneghetti"	fc = Rc (compressione carote tozze) [Mpa]
U11	1	96,35	31,5	38,2	40,5	
	2	113,20	37,1	43,3		
	3	102,30	33,5	40,0		
U12	1	103,05	33,7	40,3	40,6	
	2	107,50	35,2	41,6		
	3	102,00	33,4	39,9		
	1	130,35	42,7	48,6	44,6	33,3
	2	102,75	33,6	40,2		
	3	119,15	39,0	45,2		
	1	88,45	28,9	35,8	35,3	27,0
	2	82,35	26,9	34,0		
	3	89,65	29,3	36,2		
U13	1	120,10	39,4	45,4	43,9	
	2	115,70	37,9	44,1		
	3	109,20	35,8	42,1		
	1	140,65	46,1	51,7	47,4	31,7
	2	124,90	40,9	46,9		
	3	113,75	37,3	43,5		
U14	1	123,05	40,3	46,3	47,7	
	2	133,00	43,6	49,4		
	3	126,15	41,4	47,3		
U15	1	119,65	39,2	45,3	43,5	
	2	109,05	35,7	42,1		
	3	112,15	36,7	43,0		
U16	1	117,00	38,3	44,5	44,2	
	2	118,65	38,9	45,0		
	3	112,50	36,8	43,1		
U17	1	101,30	33,1	39,7	40,8	
	2	109,30	35,8	42,2		
	3	103,75	34,0	40,5		
U18	1	105,00	34,4	40,9	42,4	
	2	102,90	33,7	40,2		
	3	122,20	40,1	46,1		
	1	93,85	30,7	37,5	37,3	29,5
	2	86,25	28,2	35,1		
	3	99,80	32,7	39,3		

Media  
scarto

Interpretazione		
Rc.po tarato = Rc*Φi medio [MPa]	Rc elemento [MPa] (metodo Φi)	Rc elemento [MPa] (taratura con retta di regressione su Festrazione)
29,8	29,8	29,6
29,9	29,9	29,7
32,9	33,3	33,3
26,0	27,0	27,0
32,3	32,3	31,4
34,9	31,7	31,7
35,1	35,1	33,5
32,0	32,0	31,2
32,5	32,5	31,6
30,0	30,0	29,8
31,2	31,2	30,6
27,5	29,5	29,5
30,8	30,4	
3,634	2,841	

**Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione**  
*Elaborazione dei risultati:*

$$R_c = a \cdot F_{\text{estrazione}} + b \quad [a]$$

Pull-out						Compressione carote	Pull-out						Compressione carote	Interpretazione								
Postazione di prova	Punti Pull-Out	Pressione misurata al manometro [bar]	Forza di estrazione [kN]	Rc po [MPa] "Meneghetti"	Media Rc po [MPa] "Meneghetti"	fc = Rc (compressione carote tozze) [Mpa]	Postazione di prova	Punti Pull-Out	Pressione misurata al manometro [bar]	Forza di estrazione [kN]	Rc po [MPa] "Meneghetti"	Media Rc po [MPa] "Meneghetti"	fc = Rc (compressione carote tozze) [Mpa]	Rc po tarato = $Rc \cdot \Phi_i$ medio [MPa]	Rc elemento [Mpa] (metodo $\Phi_1$ )	Rc elemento [Mpa] (taratura con retta di regressione su Festrazione)						
U11	1	91,50	33,1	38,2	40,5	38,2	U12	1	96,35	31,5	38,2	40,5	38,2	29,8	29,8	29,8						
	2	113,20	37,1	43,3				U13	2	102,30	33,5						40,0	U14	2	102,30	33,5	40,0
3	102,30	33,5	40,0	U15			3	130,35	42,7	48,6	U16						3	102,75	33,6	40,2	U17	3
U18	1	130,35	42,7	48,6	44,6	33,3	U19	1	105,75	34,4	40,9	42,4	40,9	32,9	33,3	33,3						
	2	102,75	33,6	40,2				U20	2	102,30	33,5						40,0	U21	2	102,75	33,6	40,2
	3	119,15	39,0	45,2				U22	3	102,75	33,6						40,2	U23	3	119,15	39,0	45,2
U24	1	105,75	34,4	40,9	42,4	40,9	U25	1	105,75	34,4	40,9	42,4	40,9	32,9	33,3	33,3						
	2	102,30	33,5	40,0				U26	2	102,30	33,5						40,0	U27	2	102,75	33,6	40,2
	3	102,75	33,6	40,2				U28	3	102,75	33,6						40,2	U29	3	119,15	39,0	45,2
U30	1	114,23	37,4	43,7	47,9	33,6	U31	1	105,75	34,4	40,9	42,4	40,9	32,9	33,3	33,3						
	2	125,0	41,2	47,1				U32	2	102,30	33,5						40,0	U33	2	102,75	33,6	40,2
	3	144,5	47,5	52,9				U34	3	130,35	42,7						48,6	U35	3	102,75	33,6	40,2

## Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione *Elaborazione dei risultati:*

Pull-out						Compressione carote
Postazione di prova	Punti Pull-Out	Pressione misurata al manometro [bar]	Forza di estrazione [kN]	Rc.po [MPa] "Meneghetti"	Media Rc.po [MPa] "Meneghetti"	fc = Rc (compressione carote tozze) [Mpa]
	1	101,90	33,3	39,9	39,2	29,9
	2	103,50	33,9	40,4		
	3	93,50	30,6	37,4		
	1	118,50	38,8	45,0	35,8	24,5
	2	90,75	29,7	36,5		
	3	56,25	18,2	26,0		
U01	1	160,60	52,7	57,7	52,1	
	2	135,10	44,3	50,0		
	3	130,15	42,7	48,5		
U02	1	129,70	42,5	48,4		
	2	113,10	37,0			
	3	118,25	38,7			
U03	1	118,65	38,9		46,6	
	2	108,85	35,6			
	3	107,70	35,3			
U04	1	139,10	45,6	51,2	46,6	
	2	114,90	37,6	43,9		
	3	117,45	38,5	44,6		
U05	1	94,80	31,0	37,7	34,7	
	2	75,80	24,7	32,0		
	3	84,10	27,5	34,5		
U06	1	111,80	36,6	42,9	44,0	
	2	111,65	36,6	42,9		
	3	122,75	40,2	46,2		
U07	1	77,95	25,4	32,6	36,4	
	2	82,20	26,8	33,9		
	3	110,70	36,3	42,6		
U08	1	81,75	26,7	33,8	30,5	
	2	65,05	21,2	28,7		
	3	66,45	21,6	29,1		
U09	1	92,35	30,2	37,0	42,5	
	2	128,35	42,1	47,9		
	3	110,90	36,3	42,6		
U10	1	114,25	37,4	43,7	47,9	
	2	125,70	41,2	47,1		
	3	144,65	47,5	52,9		

Interpretazione		
Rc.po tarato = Rc*Φi medio [MPa]	Rc elemento [MPa] (metodo Φi)	Rc elemento [MPa] (taratura con retta di regressione su Festrone)
28,9	29,9	29,9
26,4	24,5	24,5
38,3	38,3	35,9
33,5	32,9	
31,6	32,9	
34,3	34,3	32,9
25,6	25,6	26,5
32,4	32,4	31,5
26,8	26,8	27,4
22,5	22,5	24,2
31,3	31,3	30,7
35,3	35,3	33,6

Pull-out						Compressione carote
Postazione di prova	Punti Pull-Out	Pressione misurata al manometro [bar]	Forza di estrazione [kN]	Rc.po [MPa] "Meneghetti"	Media Rc.po [MPa] "Meneghetti"	fc = Rc (compressione carote tozze) [Mpa]
U11	1	96,35	31,5	38,2	40,5	
	2	113,20	37,1	43,3		
	3	102,30	33,5	40,0		
U12	1	103,05	33,7	40,3	40,6	
	2	107,50	35,2	41,6		
	3	102,00	33,4	39,9		
	1	130,35	42,7	48,6	44,6	33,3
	2	102,75	33,6	40,2		
	3	119,15	39,0	45,2		
	1	88,45	28,9	35,8	35,3	27,0
	2	82,35	26,9	34,0		
	3	89,65	29,3	36,2		
	1	120,10	39,4	45,4	43,9	
	2	115,70	37,9	44,1		
	3	109,20	35,8	42,1		
	1	140,65	46,1	51,7	47,4	31,7
	2	124,90	40,9	46,9		
	3	113,75	37,3	43,5		
U14	1	123,05	40,3	46,3	47,7	
	2	133,00	43,6	49,4		
	3	126,15	41,4	47,3		
U15	1	119,65	39,2	45,3	43,5	
	2	109,05	35,7	42,1		
	3	112,15	36,7	43,0		
U16	1	117,00	38,3	44,5	44,2	
	2	118,65	38,9	45,0		
	3	112,50	36,8	43,1		
U17	1	101,30	33,1	39,7	40,8	
	2	109,30	35,8	42,2		
	3	103,75	34,0	40,5		
U18	1	105,00	34,4	40,9	42,4	
	2	102,90	33,7	40,2		
	3	122,20	40,1	46,1		
	1	93,85	30,7	37,5	37,3	29,5
	2	86,25	28,2	35,1		
	3	99,80	32,7	39,3		

Interpretazione		
Rc.po tarato = Rc*Φi medio [MPa]	Rc elemento [MPa] (metodo Φi)	Rc elemento [MPa] (taratura con retta di regressione su Festrone)
29,8	29,8	29,6
29,9	29,9	29,7
32,9	33,3	33,3
26,0	27,0	27,0
32,3	32,3	31,4
34,9	31,7	31,7
35,1	35,1	33,5
32,0	32,0	31,2
32,5	32,5	31,6
30,0	30,0	29,8
31,2	31,2	30,6
27,5	30,8	30,4
Media scarto		3,634 2,841

## Centro commerciale– intervento di adeguamento sismico



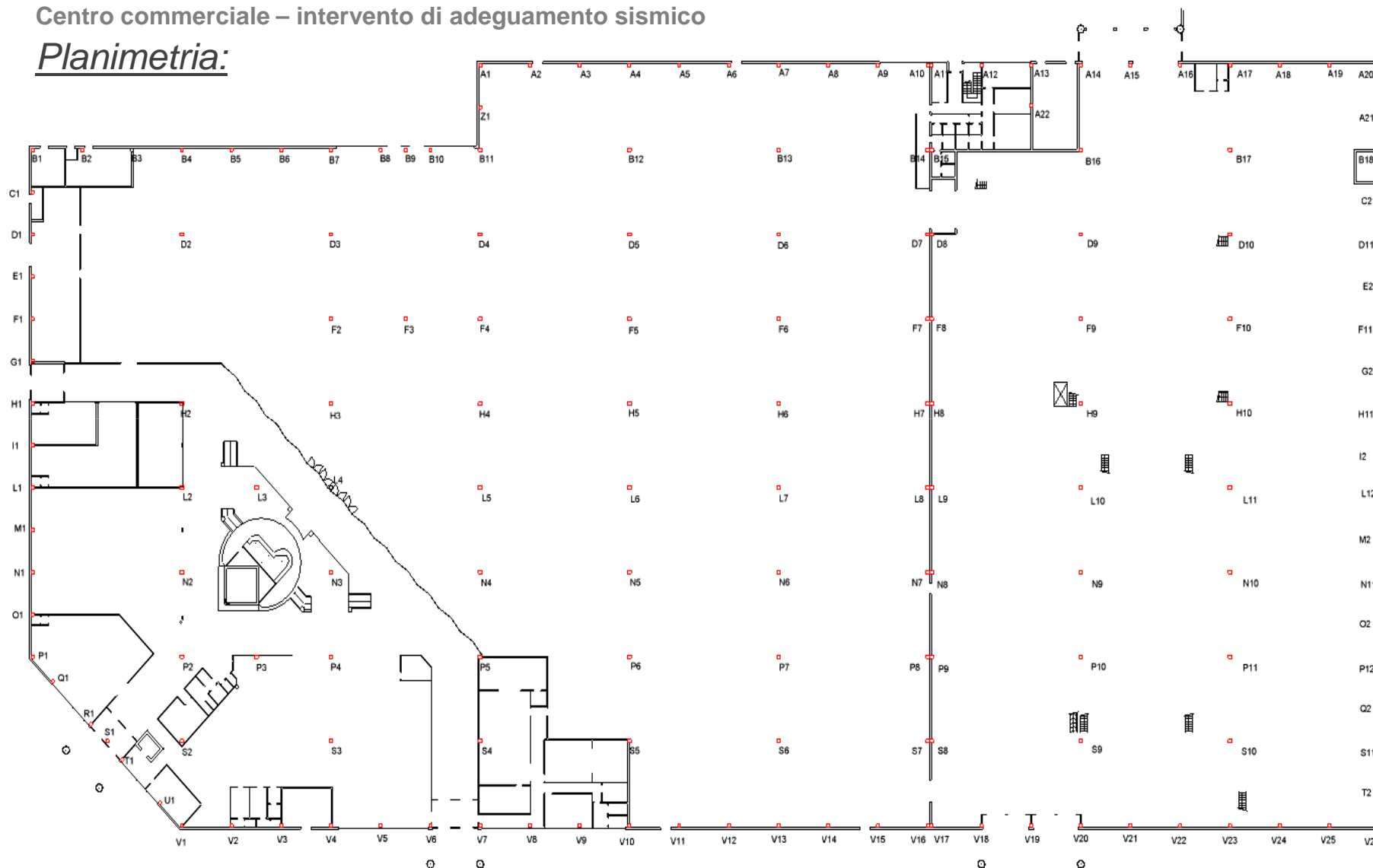
Centro commerciale – intervento di adeguamento sismico

**PROCEDURA BASE applicata al caso in esame**

<ul style="list-style-type: none"><li>▪ REPERIMENTO DEI DOCUMENTI</li><li>▪ ANALISI DOCUMENTALE</li><li>▪ RICOSTRUZIONE STORICA</li></ul>	➔	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Struttura prefabbricata in c.a./c.a.p. ad un piano. Superficie in pianta 15.000 m<sup>2</sup></li><li>✓ Documentazione incompleta sugli elementi in c.a./c.a.p.</li><li>✓ Periodo di costruzione: primi anni '90</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ RILIEVO GEOMETRICO</li><li>▪ SOPRALUOGO ED ANALISI VISIVA</li></ul>	➔	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Eseguito dal Progettista</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ PROGETTAZIONE DELLA CAMPAGNA DI PROVE</li></ul>	➔	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Livello di conoscenza voluto: LC2</li><li>✓ Progettazione della campagna eseguita in collaborazione con il Laboratorio Prove</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ ANALISI DEI MATERIALI: PROVE DISTRUTTIVE E NON DISTRUTTIVE</li></ul>	➔	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Eseguite dal Laboratorio Prove (sostituzione del 50% delle prove distruttive con CND x 3)</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ DIAGNOSI STRUTTURALE</li><li>▪ PROGETTAZIONE INTERVENTI DI ADEGUAMENTO</li></ul>	➔	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Eseguite dal progettista</li></ul>

## Centro commerciale – intervento di adeguamento sismico

### Planimetria:



Centro commerciale – intervento di adeguamento sismico

Campagna di prove condivisa con il Progettista:

	PROVE SU STRUTTURE IN CLS	NORMA	quantità
2-A	Prelievo cls da pilastri e solai tramite <b>carotaggio</b> centrifugo di n. 1 provino cilindrico Ø 100 mm compresa analisi con pacometro per evitare barre di armature (6 pilastri)	UNI EN 12504-1	25
2-B	<b>Taglio</b> provini con lama diamantata + <b>rettifica</b>	UNI EN 12390-3	25
2-C	Determinazione della resistenza del calcestruzzo attraverso prova di <b>compressione</b> su n. 1 carota prelevata in situ	UNI EN 12390-3	25
2-D	Determinazione della resistenza in situ del calcestruzzo con il metodo <b>Son-Reb</b>	UNI EN 12504-3 UNI EN 10157	75
4	<b>Indagine pacometrica</b> comprensiva di: - individuazione geometria, dimensione e profondità di rinforzi metallici (barre di armatura) - eventuale rimozione copriferro e misura diretta dei diametri con calibro - restituzione dei risultati in forma numerica e grafica con redazione di singole schede riassuntive con documentazione fotografica, schema geometrico dei ferri di armatura, posizionamento punti di misura, valori misurati (diametri, copriferri, passi staffe);	BS 1881	17
	Relazione sulle prove		1

## Centro commerciale – intervento di adeguamento sismico

Pilastro n°	Carotaggio	Son-Reb	Pacometro	Note
A 2		x		
A 3		x		
A 4		x		
A 5		x		
A 6		x		
A 7		x		
A 8		x		
A 9		x		
A 15	x	x	x	Postazione di taratura
A 16		x		
A 17		x		
A 18		x		
A 19		x		
A 21	x	x	x	Postazione di taratura
A 22		x		
B 4		x		
B 5		x		
B 9		x		
B 12	x	x	x	Postazione di taratura
B 13	x	x	x	Postazione di taratura
B 16		x		
B 17	x	x	x	Postazione di taratura
C 2		x		
D 2		x		
D 5		x		
D 6		x		
D 7		x		
D 9		x		
D 10	x			
D 11	x	x	x	Postazione di taratura
E 2	x	x	x	Postazione di taratura
F 3	x	x	x	Postazione di taratura
F 4		x		
F 5	x	x	x	Postazione di taratura
F 6		x		
F 7		x		
F 8		x		
F 9		x		
F 10	x			
F 11		x		
G 2	x	x	x	Postazione di taratura
H 2		x		
H 4	x	x	x	Postazione di taratura
H 5	x	x	x	Postazione di taratura
H 6		x		
H 7		x		
H 8		x		
H 9		x		
H 10		x		
L 2		x		

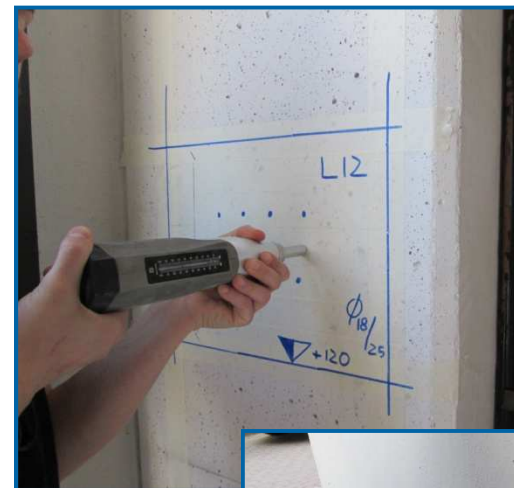
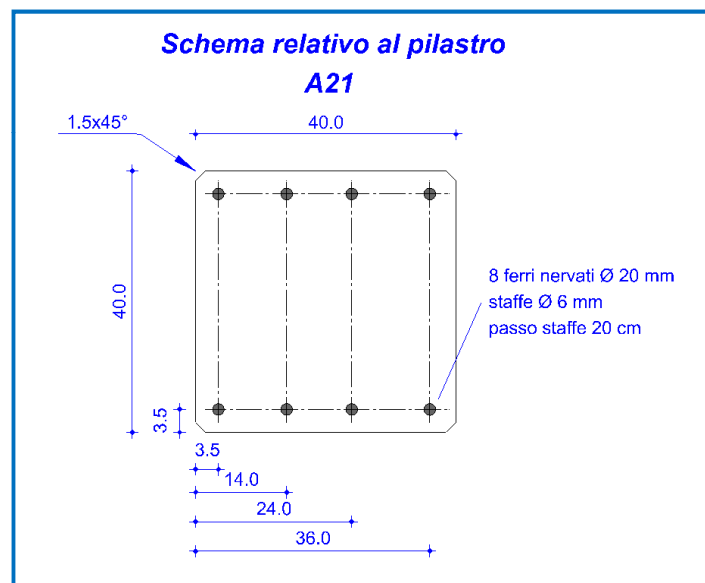
Pilastro n°	Carotaggio	Son-Reb	Pacometro	Note
L 3		x		
L 4		x		
L 5	x	x	x	Postazione di taratura
L 6		x		
L 7		x		
L 8		x		
L 10		x		
L 11	x			
L 12		x		
M 2	x	x	x	Postazione di taratura
N 3		x		
N 4		x		
N 5		x		
N 6		x		
N 7		x		
N 9		x		
N 10	x			
N 11		x		
O 2		x		
P 1		x		
P 2	x			
P 4		x		
P 6		x		
P 7	x	x	x	Postazione di taratura
P 8		x		
P 9		x		
P 10		x		
P 11	x			
P 12	x		x	
Q 1		x		
Q 2		x		
S 1		x		
S 3		x		
S 5		x		
S 6		x		
S 8		x		
S 9	x			
S 10	x			
S 11	x		x	
T 2		x		
V 5		x		
V 10		x		
V 13		x		
V 15		x		
V 19		x		
V 22		x		
V 23		x		
V 24		x		
V 25		x		
Z 1		x		



Centro commerciale – intervento di adeguamento sismico

## Restituzione dei risultati - esempi:

Data: 01/07/2013		Son-Reb												
		IR												media
Pilastro n°	IR	42	42	43	43	41	41	40	42	42	44	46	42	42
L5	UT	Distanza [m]				TOF [μs]				V [m/s]				V media [m/s]
		0,4				93,0				4300				4310
		0,4				92,6				4320				



Centro commerciale – intervento di adeguamento sismico

### Elaborazione dei risultati:

- **Son-Reb:** stima della resistenza del calcestruzzo attraverso la combinazione dei risultati ottenuti con battute sclerometriche e misure delle velocità di attraversamento di onde ultrasonore all'interno dell'elemento analizzato.

La relazione che lega le grandezze alla resistenza del calcestruzzo è del tipo seguente:

$$f_c = e \cdot IR^f \cdot V^g \quad [a]$$

dove IR e V sono rispettivamente l'indice di rimbalzo e la velocità degli ultrasuoni.

$$R_c = 9,27 \cdot 10^{-11} \cdot IR^{1,4} \cdot V^{2,6} \quad [1]$$

$$R_c = 8,06 \cdot 10^{-8} \cdot IR^{1,246} \cdot V^{1,85} \quad [2]$$

$$R_c = 1,2 \cdot 10^{-9} \cdot IR^{1,058} \cdot V^{2,446} \quad [3]$$

[1] RILEM, 1993. *NDT 4 Recommendations for in situ concrete strength determination by combined non destructive methods*, Compendium of RILEN Technical Recommendations, E&FN Spon, London;

[2] J. Gasparik, 1992. *Prove non distruttive nell'edilizia*. Quaderno didattico AIPnD, Brescia;

[3] A. Di Leo, G. Pascale, 1994. *Prove non distruttive sulle costruzioni in c.a.. Il giornale delle prove non distruttive*, n°4.

I coefficienti “e”, “f” e “g” di [1], [2] o [3] non sono “universalmente validi”:

**Meglio ricavarli attraverso una correlazione diretta con prove distruttive (compressione su provini cilindrici ottenuti tramite carotaggi) eseguite in apposite postazioni di taratura.**

Centro commerciale – intervento di adeguamento sismico

Elaborazione dei risultati:

Indicazione della bontà statistica dell'analisi (più l'indice di correlazione è vicino all'unità, più vi è correlazione tra i dati).

Elemento	IR	Velocità UT V	fc sperimentale	fc stimata (formula)	(fc sperimentale - fc stimata) <sup>2</sup>
		[m/s]	[MPa]	[MPa]	
L5	42	4310	50,0	48,6	1,824
H4	45	4325	49,8	50,2	0,169
F3	43	3780	48,0	44,7	10,624
F5	45	4440	48,5	51,2	7,082
H5	48	4650	57,7	54,3	11,305
A15	52	3747	47,0	48,2	1,380
B17	44	4360	48,9	50,0	1,264
D11	46	4420	51,6	51,5	0,016
E2	50	4620	56,8	55,0	3,143
G2	48	3805	46,5	47,1	0,346
B13	46	3863	47,0	46,8	0,062
B12	44	4358	48,7	50,0	1,711
P7	46	4610	50,8	53,0	5,027
M2	44	4310	47,2	49,6	5,828
A21	43	4400	51,7	49,9	3,366

$$\text{Varianza} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_{c \text{ sperimentale}} - f_{c \text{ stimata}})^2$$

Varianza	3,543
----------	-------

$$f_{c \text{ stimata}} = e \cdot IR^f \cdot V^g$$

e	0,0255
f	0,4221
g	0,7140

coeff. Correlazione	0,816
---------------------	-------

Centro commerciale – intervento di adeguamento sismico

Elaborazione dei risultati:

$$f_c = e \cdot IR^f \cdot V^g \quad [a]$$

Elemento	IR	Velocità UT V	fc sperimentale [MPa]	fc stimata (formula) [MPa]
		[m/s]		
L5	42	4310	50,0	48,6
H4	45	4325	49,8	50,2
F3	43	3780	48,0	44,7
F5	45	4440	48,5	51,2
H5	48	4650	57,7	54,3
A15	52	3747	47,0	48,2
B17	44	4360	48,9	50,0
D11	46	4420	51,6	51,5
E2	50	4620	56,8	55,0
G2	48	3805	46,5	47,1
B13	46	3863	47,0	46,8
B12	44	4358	48,7	50,0
P7	46	4610	50,8	53,0
M2	44	4310	47,2	49,6
A21	43	4400	51,7	49,9
H10	50	4650		55,3
N9	50	4543		54,4
P10	50	4600		54,9
V19	50	4388		53,0
H9	42	4340		48,9
D9	47	4550		53,0
F9	52	4538		55,2
L10	48	4530		53,3
F8	45	3685		44,8
H8	47	4360		51,4
P9	44	4015		47,2
S8	45	3785		45,7
A16	49	4315		52,0
D6	49	4515		53,7
H6	48	4405		52,3
L7	36	3865		42,2
A9	43	3720		44,2
A8	42	4183		47,6
A7	41	3940		45,2
A6	41	4320		48,2
A5	40	4310		47,7
A4	40	3890		44,3

Elemento	IR	Velocità UT V	fc sperimentale [MPa]	fc stimata (formula) [MPa]
		[m/s]		
A3	42	3750		44,0
A2	44	4259		49,2
Z1	42	4335		48,9
C2	50	4185		51,3
F11	49	4215		51,1
L12	51	4440		53,9
N11	46	3760		45,9
O2	49	4255		51,4
Q2	48	4143		50,0
T2	47	4365		51,5
V25	49	4360		52,3
V24	51	4430		53,8
V23	50	4255		51,9
V22	49	4323		52,0
B16	47	4410		51,9
A18	49	4355		52,3
A17	49	4050		49,7
A19	49	3970		49,0
A22	45	3768		45,5
D5	48	4150		50,1
B9	50	4090		50,4
N4	43	4250		48,6
P6	44	3770		45,1
N5	43	4243		48,6
L6	35	4265		44,7
V13	41	3750		43,6
S6	40	3780		43,4
V15	39	3850		43,5
N6	48	4015		48,9
F6	43	3925		46,0
D7	51	4300		52,7
H7	42	4408		49,4
F7	48	4150		50,1
L8	46	4150		49,2
N7	49	4075		49,9
P8	44	4140		48,2
V10	39	4115		45,6

Elemento	IR	Velocità UT V	fc sperimentale [MPa]	fc stimata (formula) [MPa]
		[m/s]		
S5	45	4090		48,2
F4	40	4103		46,0
S3	50	4340		52,6
V5	50	4325		52,5
P4	43	4130		47,7
Q1	49	4320		52,0
P1	51	4345		53,1
L2	48	4000		48,8
D2	43	3760		44,6
B4	44	4010		47,1
B5	47	4435		52,1
H2	39	3825		43,3
L3	51	3880		49,0
N3	51	4445		54,0
S1	45	3995		47,4
L4	49	4400		52,7

Centro commerciale – intervento di adeguamento sismico

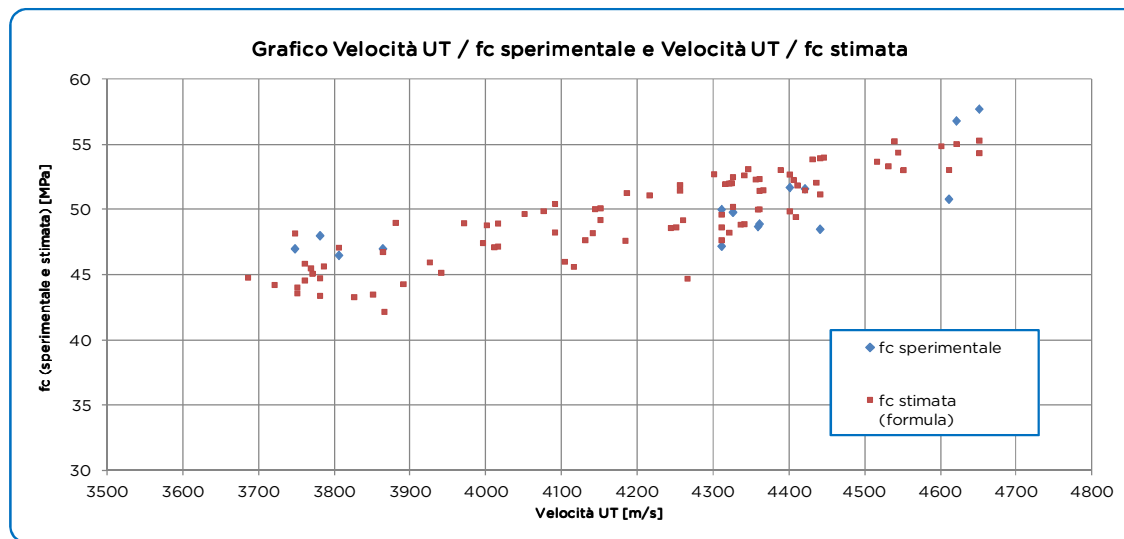
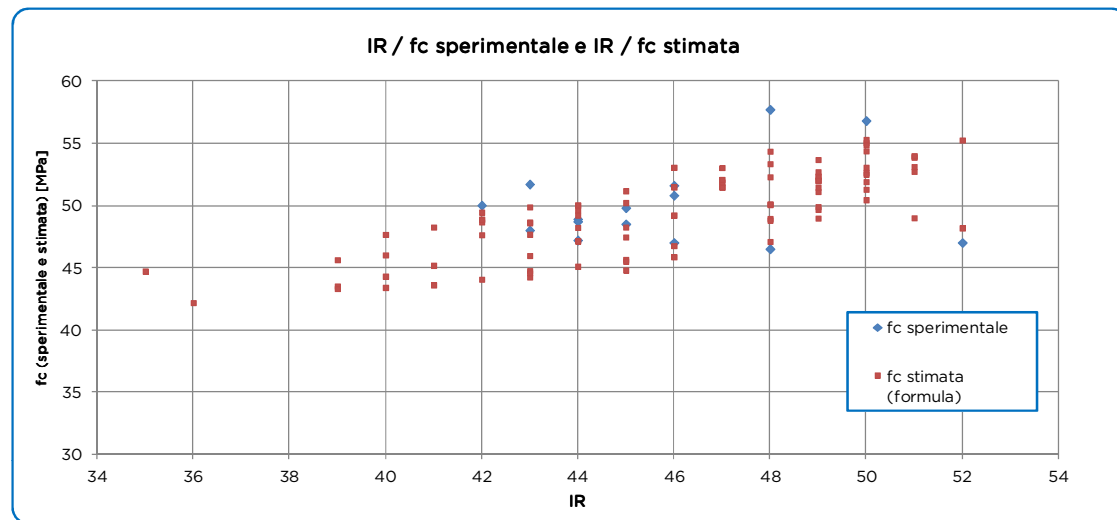
Elaborazione dei risultati:

$$f_c = e \cdot IR^f \cdot V^g \quad [a]$$

Elemento	IR	Velocità UT V	fc sperimentale	fc stimata (formula)	Elemento	IR	Velocità UT V	fc sperimentale	fc stimata (formula)	Elemento	IR	Velocità UT V	fc sperimentale	fc stimata (formula)
Elemento	IR	42	4310	50,0	A3	IR	42	4310	48,6	Elemento	IR	42	4310	48,6
		45	4325	49,8	A2		44	4259	49,2			fc stimata (formula)		
		43	3780	44,7	Z1		42	4335	48,9					
		48	4550	55,0	C2		50	4085	45,0					
		52	5747	48,0	F11		49	4213	45,0					
		44	4390	48,0	L12		48	4272	45,0					
		41	4390	48,0	N11		45	4085	45,0					
L5	42	4310	50,0	48,6										
H4	45	4325	49,8	50,2										
F3	43	3780	44,7	44,7										
A3	42	4310	48,6											
A2	44	4259	49,2											
Z1	42	4335	48,9											
A5	42	4320												
A5	42	4310												
A4	42	5080												
A17	45	4085												
A18	45	3870												
A22	45	3750												
D5	50	4085												
B9	50	4085												
N4	45	4085												
N5	45	4085												
L6	45	4085												
N5	45	4085												
S6	40	4280												
V13	50	4085												
S6	40	4280												
F6	45	4259												
D7	50	4085												
L8	48	4272												
F7	48	4085												
L8	48	4272												
N7	49	4075												
P6	44	4040												
V19	55	413												

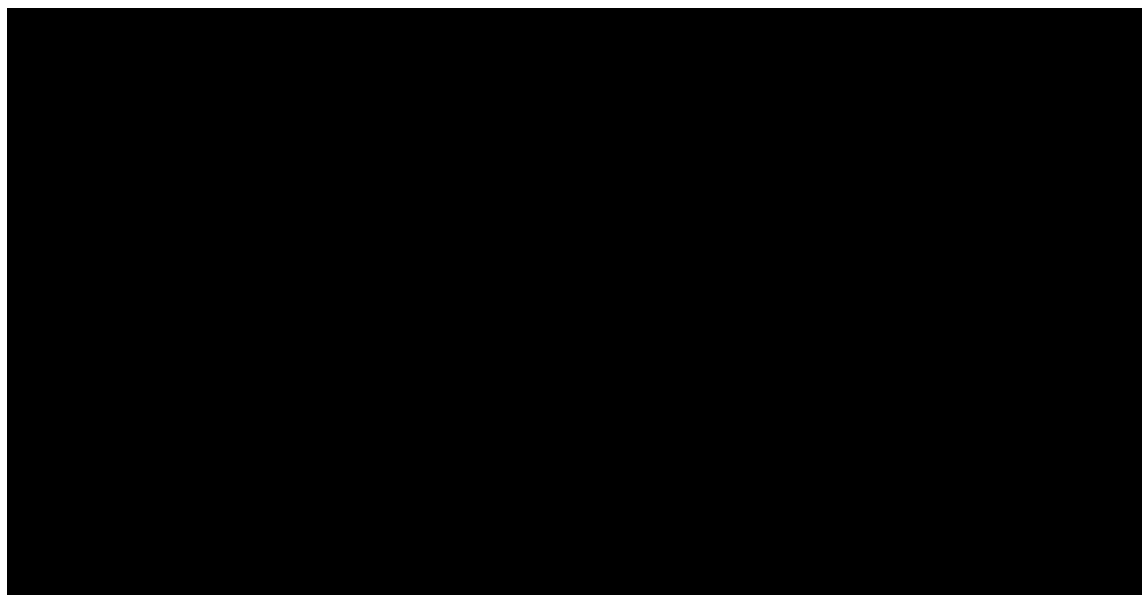
Centro commerciale – intervento di adeguamento sismico

Elaborazione dei risultati:





## Autorimessa di civile abitazione – indagini sul calcestruzzo



Autorimessa di civile abitazione – indagini sul calcestruzzo

## PROCEDURA BASE applicata al caso in esame

- REPERIMENTO DEI DOCUMENTI
- ANALISI DOCUMENTALE
- RICOSTRUZIONE STORICA



- ✓ Struttura in c.a. multipiano in fase di realizzazione. Al momento dell'intervento risulta realizzato il piano interrato (autorimessa) il piano terra e le elevazioni del piano primo.

- ✓ Tutti i documenti di progetto presenti

- ✓ **Tutti i controlli sul cls eseguiti – verbali di prelievo.**

- RILIEVO GEOMETRICO
- SOPRALUOGO ED ANALISI VISIVA



- ✓ Eseguito dal Progettista

- PROGETTAZIONE DELLA CAMPAGNA DI PROVE



- ✓ Livello di conoscenza voluto: controllo del 100% dei pilastri
- ✓ Progettazione della campagna eseguita in collaborazione con il Laboratorio Prove

- ANALISI DEI MATERIALI: PROVE DISTRUTTIVE E NON DISTRUTTIVE



- ✓ Eseguite dal Laboratorio Prove (solo CND con 8 postazioni di taratura)

- DIAGNOSI STRUTTURALE

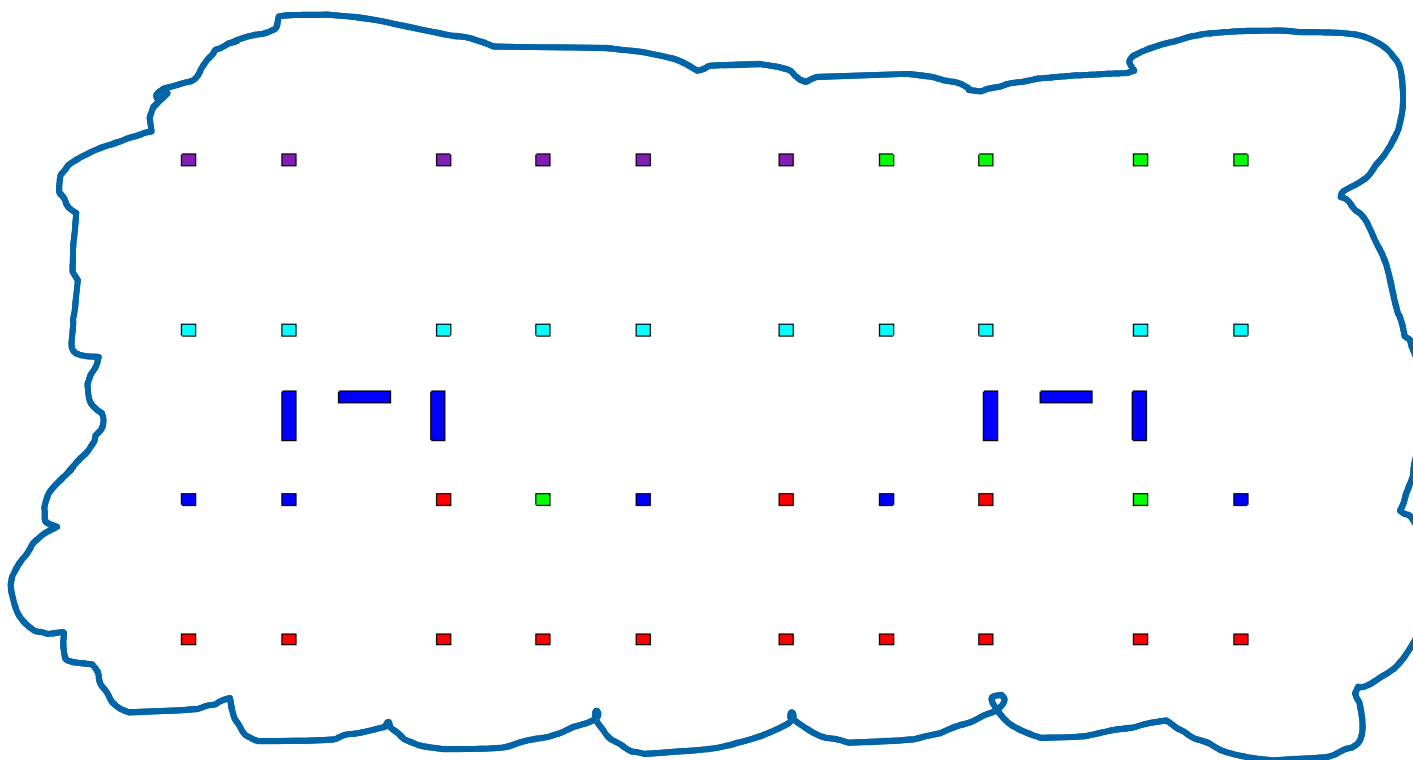
- PROGETTAZIONE INTERVENTI DI RIPRISTINO - CONSOLIDAMENTO



- ✓ Eseguite dal progettista

Autorimessa di civile abitazione – indagini sul calcestruzzo

Planimetria pilastri autorimessa:



**I colori si riferiscono ai 5 diversi Verbali di Prelievo**


Autorimessa di civile abitazione – indagini sul calcestruzzo

Campagna di prove condivisa con il Progettista:

	PROVE SU STRUTTURE IN CLS	NORMA	quantità
2-A	Prelievo cls da pilastri e solai tramite <b>carotaggio</b> centrifugo di n. 1 provino cilindrico Ø 100 mm compresa analisi con pacometro per evitare barre di armature (6 pilastri)	UNI EN 12504-1	8
2-B	<b>Taglio</b> provini con lama diamantata + <b>rettifica</b>	UNI EN 12390-3	8
2-C	Determinazione della resistenza del calcestruzzo attraverso prova di <b>compressione</b> su n. 1 carota prelevata in situ	UNI EN 12390-3	8
2-D	Determinazione della resistenza in situ del calcestruzzo con il metodo <b>Son-Reb</b>	UNI EN 12504-3 UNI EN 10157	55
5	Relazione sulle prove		1

Autorimessa di civile abitazione – indagini sul calcestruzzo

Restituzione dei risultati - esempi:

		Zona: 1				Zona: 2				Zona: 3			
Elemento		26	26	27	25	26	25	24	26	26	26	26	25
	IR	26	24	26	26	24	30	26	26	24	26	26	26
		26	26	28	24	27	26	26	26	26	24	24	24
		Media IR: 26				Media IR: 26				Media IR: 25			
	V [m/s]	3750				3801				3800			



Autorimessa di civile abitazione – indagini sul calcestruzzo

### Elaborazione dei risultati:

- **Son-Reb:** stima della resistenza del calcestruzzo attraverso la combinazione dei risultati ottenuti con battute sclerometriche e misure delle velocità di attraversamento di onde ultrasonore all'interno dell'elemento analizzato.

La relazione che lega le grandezze alla resistenza del calcestruzzo è del tipo seguente:

$$f_c = e \cdot IR^f \cdot V^g \quad [a]$$

dove IR e V sono rispettivamente l'indice di rimbalzo e la velocità degli ultrasuoni.

$$R_c = 9,27 \cdot 10^{-11} \cdot IR^{1,4} \cdot V^{2,6} \quad [1]$$

$$R_c = 8,06 \cdot 10^{-8} \cdot IR^{1,246} \cdot V^{1,85} \quad [2]$$

$$R_c = 1,2 \cdot 10^{-9} \cdot IR^{1,058} \cdot V^{2,446} \quad [3]$$

[1] RILEM, 1993. *NDT 4 Recommendations for in situ concrete strength determination by combined non destructive methods*, Compendium of RILEN Technical Recommendations, E/ & FN Spon, London;

[2] J. Gasparik, 1992. *Prove non distruttive nell'edilizia*. Quaderno didattico AIPnD, Brescia;

[3] A. Di Leo, G. Pascale, 1994. *Prove non distruttive sulle costruzioni in c.a.. Il giornale delle prove non distruttive*, n°4.

I coefficienti “e”, “f” e “g” di [1], [2] o [3] non sono “universalmente validi”:

**Meglio ricavarli attraverso una correlazione diretta con prove distruttive (compressione su provini cilindrici ottenuti tramite carotaggi) eseguite in apposite postazioni di taratura.**



Autorimessa di civile abitazione – indagini sul calcestruzzo

Elaborazione dei risultati:

Elemento	Verbale di prelievo	IR	Velocità UT V	f <sub>c</sub> sperimentale	f <sub>c</sub> stimata (formula)	(f <sub>c</sub> sperimentale - f <sub>c</sub> stimata) <sup>2</sup>
			[m/s]	[MPa]	[MPa]	
		29,3	4164	27,3	26,5	0,658
		28,3	4147	23,4	25,4	3,847
		30,1	4449	29,6	29,6	0,000
		25,2	3877	18,4	20,5	4,510
		30,1	4402	30,7	29,2	2,155
		24,1	3887	17,0	19,6	6,743
		24,2	4039	22,6	20,6	3,830
		23,4	4054	22,5	20,0	6,348

$$Varianza = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_{c \text{ sperimentale}} - f_{c \text{ stimata}})^2$$

$$f_{c \text{ stimata}} = e \cdot IR^f \cdot V^g$$

Varianza	3,511
----------	-------

e	2,11E-05
f	1,107
g	1,237

coeff. Correlazione	0,917
---------------------	-------

Indicazione della bontà statistica dell'analisi (più l'indice di correlazione è vicino all'unità, più vi è correlazione tra i dati).

Autorimessa di civile abitazione – indagini sul calcestruzzo

Elaborazione dei risultati:

Elemento	Verbale di prelievo	IR	Velocità UT V [m/s]	fc sperimentale [MPa]	fc stimata (formula) [MPa]
		29,1	4132		26,0
		29,0	4074		25,5
		28,3	4038		24,5
		28,6	4169		25,8
		28,6	4184		25,9
		29,8	4237		27,6
		28,8	4211		26,4
		29,9	4218		27,5
		30,1	4172		27,4
		29,3	4164	27,3	26,5
		31,8	4373		30,8
		31,5	4387		30,6
		30,5	4380		29,5
		28,3	4057		24,7
		31,5	4394		30,7
		31,3	4422		30,7
		28,5	4160		25,7
		31,3	4381		30,3
		31,5	4406		30,8
		30,2	4192		27,6
		32,6	4400		31,9
		28,3	4147	23,4	25,4
		31,6	4195		29,1
		30,8	4201		28,3
		31,0	4223		28,7
		31,3	4197		28,8
		30,7	4194		28,1
		29,8	4235		27,6
		31,0	4276		29,1
		28,8	4146		25,9

Elemento	Verbale di prelievo	IR	Velocità UT V [m/s]	fc sperimentale [MPa]	fc stimata (formula) [MPa]
		27,5	4084		24,1
		32,1	4504		32,3
		31,5	4439		31,1
		32,3	4568		33,1
		30,1	4449	29,6	29,6
		32,5	4422		32,0
		32,6	4578		33,5
		33,2	4524		33,7
		26,8	3851		21,8
		25,7	3784		20,4
		33,3	4536		33,9
		30,1	4456		29,7
		24,7	3767		19,4
		25,5	3828		20,5
		25,8	3818		20,7
		25,2	3877	18,4	20,5
		24,4	3695		18,7
		24,2	3769		19,0
		24,5	3750		19,1
		23,8	3863		19,2
		24,3	3887		19,8
		30,1	4402	30,7	29,2
		29,9	4401		29,0
		31,2	4321		29,7
		30,9	4464		30,6
		31,6	4550		32,1
		23,1	3787		18,1
		24,1	3887	17,0	19,6
		24,2	4039	22,6	20,6
		23,4	4054	22,5	20,0

Autorimessa di civile abitazione – indagini sul calcestruzzo

Elaborazione dei risultati:

DM Infrastrutture 14 gennaio 2008 § 11.2.6; Circolare 02 febbraio 2009 n. 617/C.S.LL.PP.

**CONTROLLO DELLA RESISTENZA DEL CALCESTRUZZO IN OPERA**

$R_{ck}$  = resistenza cubica caratteristica del cls

$f_{ck}$  = resistenza cilindrica caratteristica del cls

$f_{cm}$  = resistenza cilindrica media di progetto, =  $f_{ck} + 8$   
(per n. di prove < 15)

$f_{opera,m}$  = resistenza in opera media  $\geq 0,85 f_{cm}$

Partendo dalla resistenza  $R_{ck} = 35 \text{ MPa}$  (C28/35)

$f_{ck} = 0.83 R_{ck} = 0.83 \times 35 = 29.1 \text{ MPa}$  (per provini snelli  $H/D = 2$ )

$f_{ck} = R_{ck} = 35 \text{ MPa}$  (per provini snelli  $H/D = 1$ )

$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 35 + 8 = 43 \text{ MPa}$  ( $H/D = 1$ )

$f_{opera,m} \geq 0,85 f_{cm}$

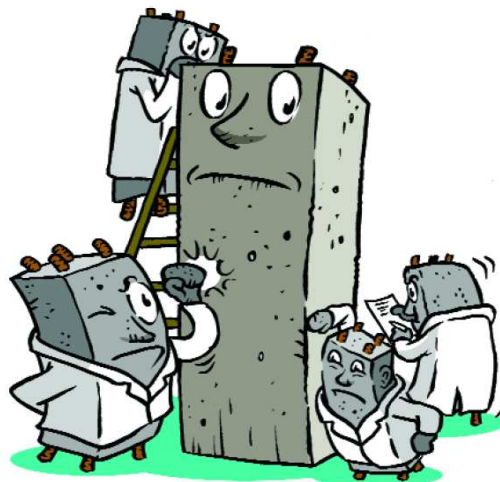
$f_{opera,m} \geq 0,85 \times 43 = 36.6 \text{ MPa}$

**$f_{opera,m} \geq 36.6 \text{ MPa}$**

Verbale di prelievo	$f_{opera,m}$	$R_{ck} = (f_{opera,m} / 0.85) - 8$	Classe
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
	27,5	24,4	C15/20
	26,6	23,3	C15/20
	30,4	27,8	C20/25
	32,1	29,8	C20/25
	19,7	15,2	C12/15

## Vantaggi dei CND

- Poco o per nulla invasivi;



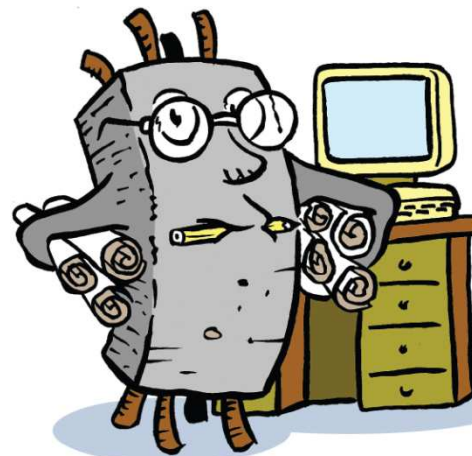
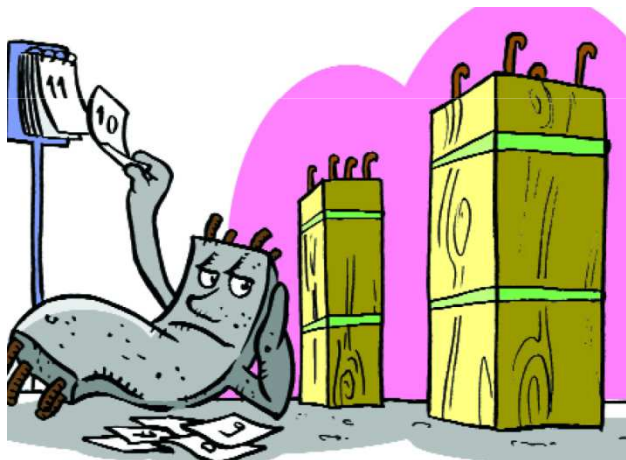
- Possono essere eseguiti anche su elementi non investigabili diversamente;

- Consentono una esecuzione “rapida”;



## Vantaggi dei CND

- Forniscono risultati attendibili;



- Possono portare ad un risparmio di tempo e quindi economico;

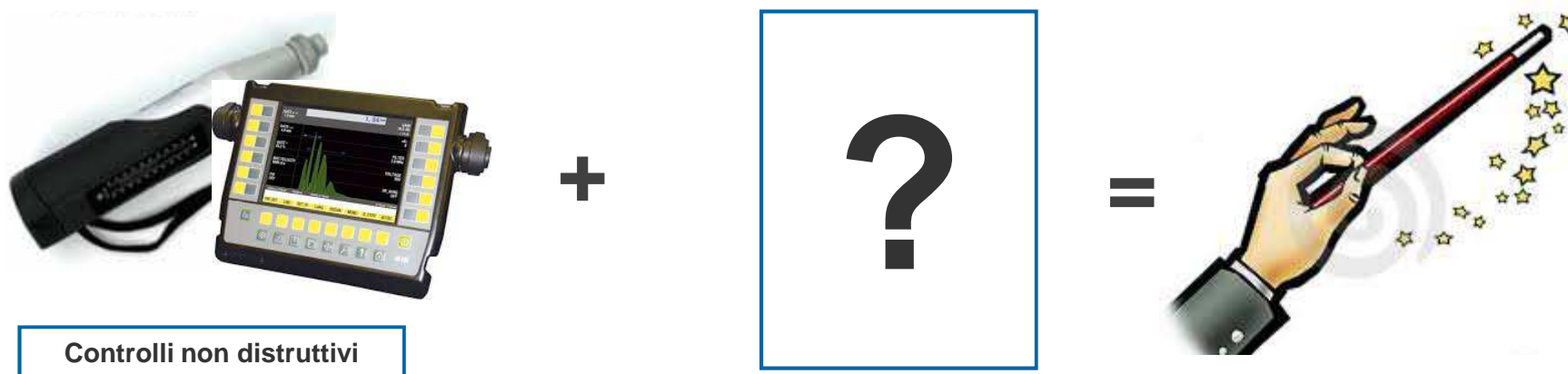
# ...a patto che...

- Vengano eseguiti da personale competente (certificato);



- Vengano tarati sulla base di un certo numero di prove distruttive.





# Riferimenti

Norme tecniche per le costruzioni – D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008, (G.U. n. 29 del 4.02.2008 suppl. ord. n° 30);

Circolare 2 febbraio 2009, n° 617, C.S.LL.PP, Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 14 gennaio 2008;

Calcestruzzo – Insieme per opere durevoli, Unione Industriale della Provincia di Cuneo;

Controlli e verifiche delle strutture di calcestruzzo armato in fase di esecuzione – A. Zizzi, S. Mineo, S. Bufarini, V. D'Aria. – EPC Editore.



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Cuneo



***Vulnerabilità sismica degli edifici esistenti:  
Procedure di gestione e tecniche di indagine non invasive***

Cuneo, 25 Settembre 2015

# GRAZIE

***Ing. Fabio Mattiauda***  
**Tecnico certificato PND ISO 9712:2012**

[www.engineering-controls.it](http://www.engineering-controls.it)

[fabio.mattiauda@engineering-controls.it](mailto:fabio.mattiauda@engineering-controls.it)

*Laboratorio Prove Engineering Controls S.r.l.  
Via F.lli Ceirano, 9 – 12100 Cuneo  
Tel. 0171 41 22 33 Fax. 0171 41 25 28*

*Con la collaborazione di:*



*Con il patrocinio di:*

