L'Ordine degli Ingegneri di Cuneo
In collaborazione con Egineering 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

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Cuneo

engineering controls SRL

DRC® Diagnostic Research Company Non Destructive Testing

Con la collaborazione di:

Studio D.E.P. indagini non distruttive ing. Rocco FERRINI

soget

Con il patrocinio di:

DIAGNOSTICA EDILE

weareone

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Cuneo

engineering controls SRL

DRC® Diagnostic Research Company Non Destructive Testing

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:

Studio D.E.P. indagini non distruttive ing. Rocco FERRINI

soget

Con il patrocinio di:

DIAGNOSTICA EDILE

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

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 + *limitate verifiche in-situ*	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e limitate prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1,35
LC2		Disegni costruttivi incompleti *con limitate verifiche in-situ* o *estese verifiche in-situ*	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali *con limitate prove in-situ* o *estese prove in situ*	Tutti	1,20
LC3		Disegni costruttivi completi *con limitate verifiche in-situ* o *esaustive verifiche in-situ*	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto *con estese prove in-situ* o *esaustive prove in situ*	Tutti	1,00

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

Livelli di conoscenza di edifici in c.a.

DM 14-01-2008 § 8.2

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

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

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	*verifiche in-situ limitate*	*Indagini in-situ limitate.* Resistenza: valore minimo di Tab. C8A.2.1 Modulo elastico: valore medio intervello di Tab. C8A.2.1	Tutti	1,35
LC2		*verifiche in-situ estese ed esaustive*	*Indagini in-situ estese.* Resistenza: valore medio intervallo di Tab. C8A.2.1 Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervello di Tab. C8A.2.1		1,20
LC3			*Indagini in-situ esaustive..* Caso a) (disponibili 3 o più valori sperimentali di resistenza). Resistenza: media dei risultati delle prove. Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervello 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

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

Gli OBBIETTIVI 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.

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata
weareone

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**

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata
weareone

Casi Reali

Strutture esistenti: Come procedere

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata
weareone

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

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata
weareone

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

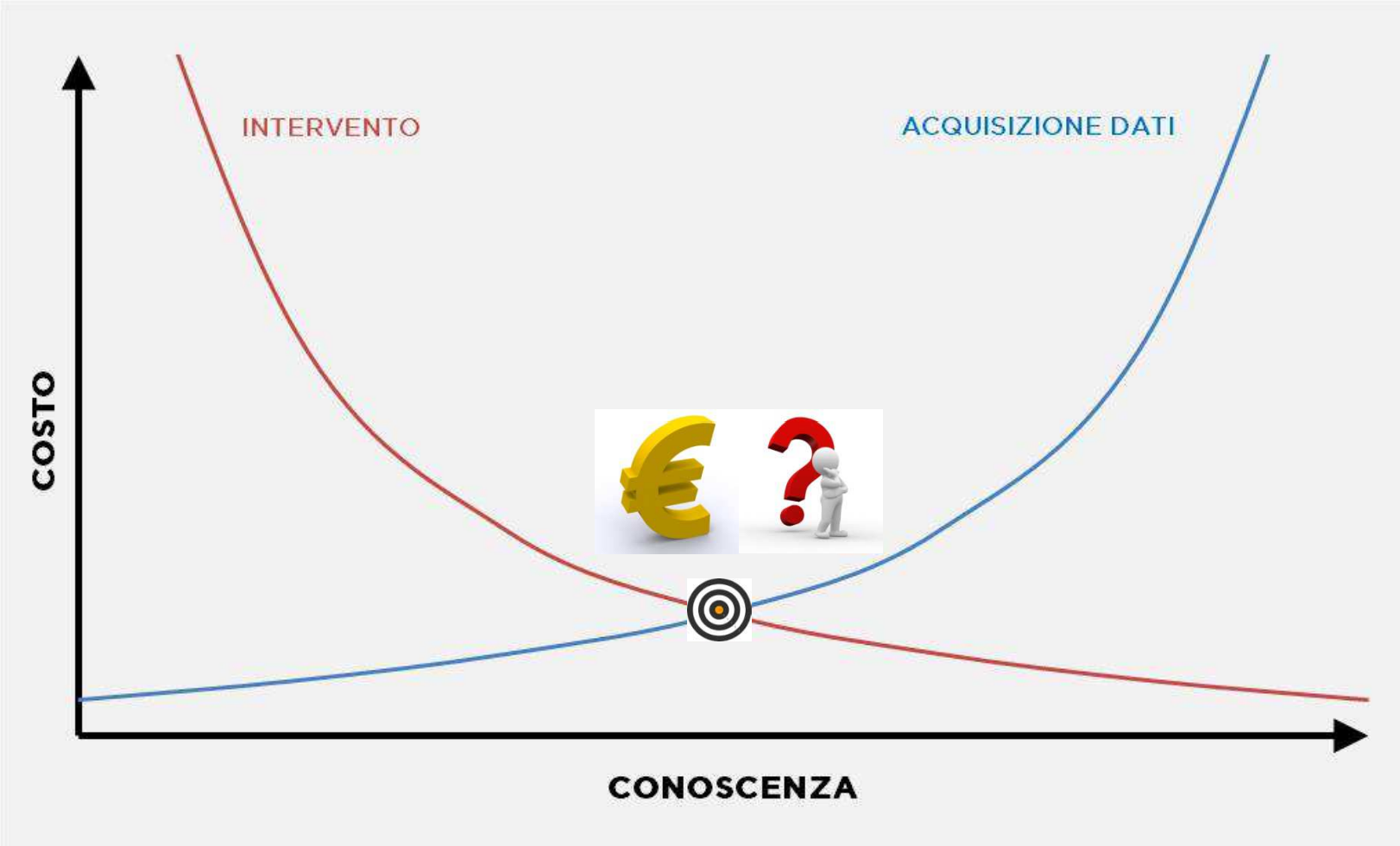
weareone

Indicazioni generali

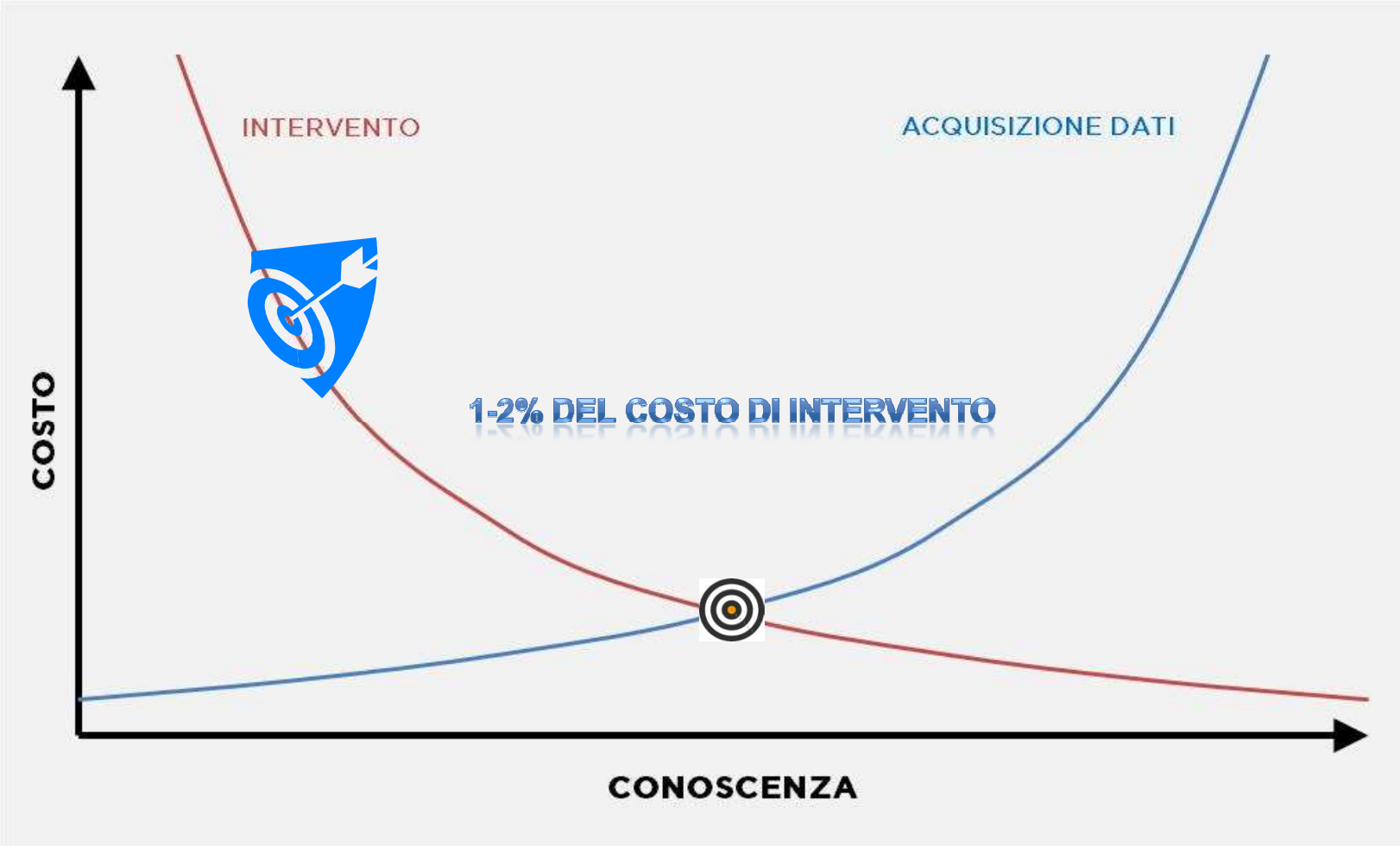
- Occorre distribuire i controlli distruttivi e non distruttivi sull'intera struttura; analisi preliminari possono fornire indicazioni su possibili "famiglie" di caratteristiche meccaniche dei materiali e conseguentemente ridurre il numero di prove (e il costo dell'intervento);
- Sono corretti i razionali 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.**

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata
weareone

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata
weareone



Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata
weareone



Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata
weareone

Casi analizzati

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

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata
weareone

Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata
weareone

Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

PROCEDURA BASE applicata al caso in esame

- **REPERIMENTO DEI DOCUMENTI**
- **ANALISI DOCUMENTALE**
- **RICOSTRUZIONE STORICA**

→

- ✓ Struttura in c.a. multipiano (interrato, 3 piani FT + sottotetto), solai in latero-cemento (circa 90 m^2 a piano) con travi a spessore
- ✓ Periodo di costruzione: primi anni ’70
- ✓ Rinvenute le tavole di carpenteria originali

- **RILIEVO GEOMETRICO**
- **SOPRALUOGO ED ANALISI VISIVA**

→

- ✓ Eseguito dal Progettista

- **PROGETTAZIONE DELLA CAMPAGNA DI PROVE**

→

- ✓ Livello di conoscenza voluto: LC2
- ✓ Progettazione della campagna eseguita in collaborazione con il Laboratorio Prove
- ✓ Realizzazione di elaborati grafici

- **ANALISI DEI MATERIALI: PROVE DISTRUTTIVE E NON DISTRUTTIVE**

→

- ✓ Eseguite dal Laboratorio Prove (sostituzione del 50% delle prove distruttive con CND x 3)

- **DIAGNOSI STRUTTURALE**
- **PROGETTAZIONE INTERVENTI DI RIPRISTINO - CONSOLIDAMENTO**

→

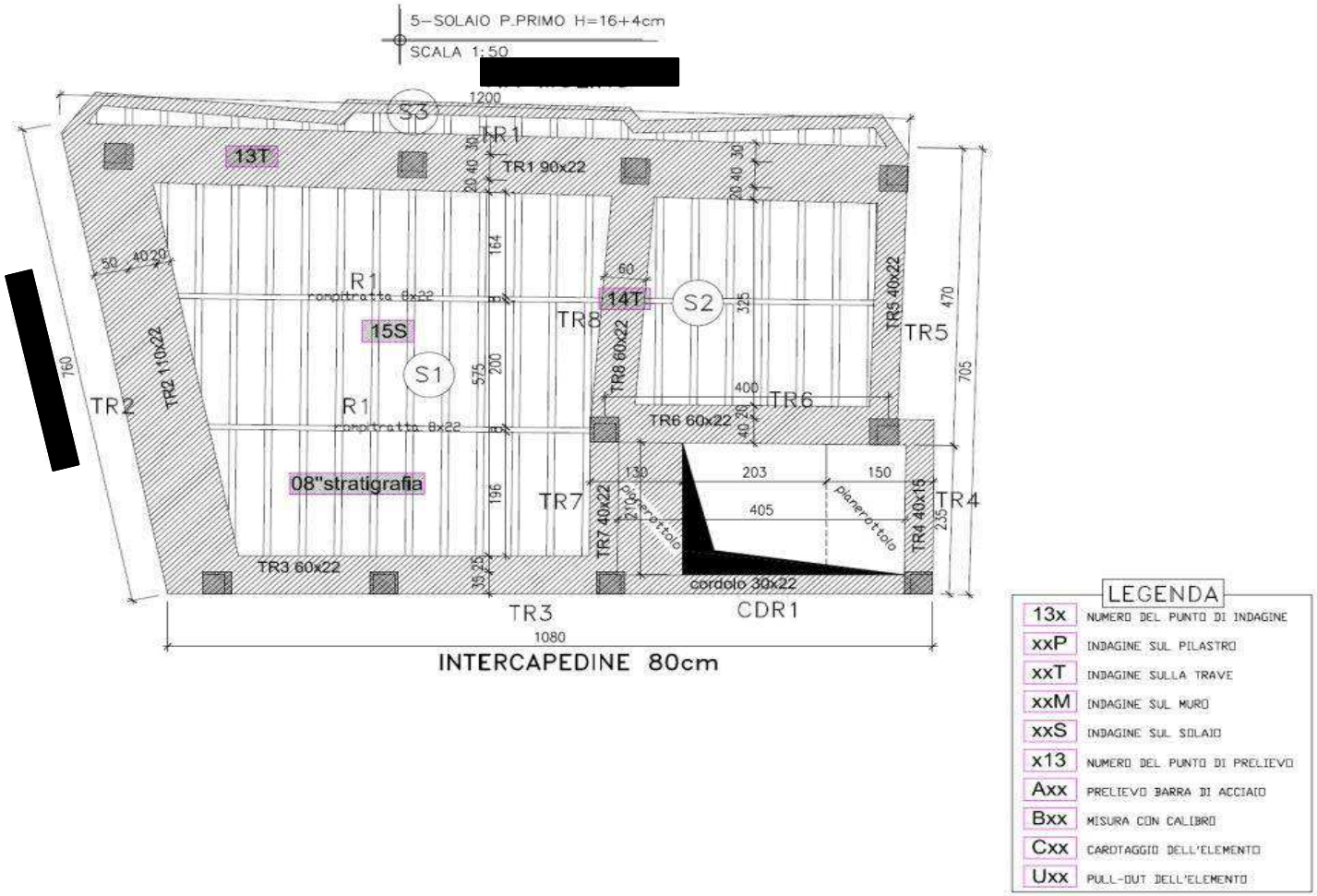
- ✓ Eseguite dal progettista

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

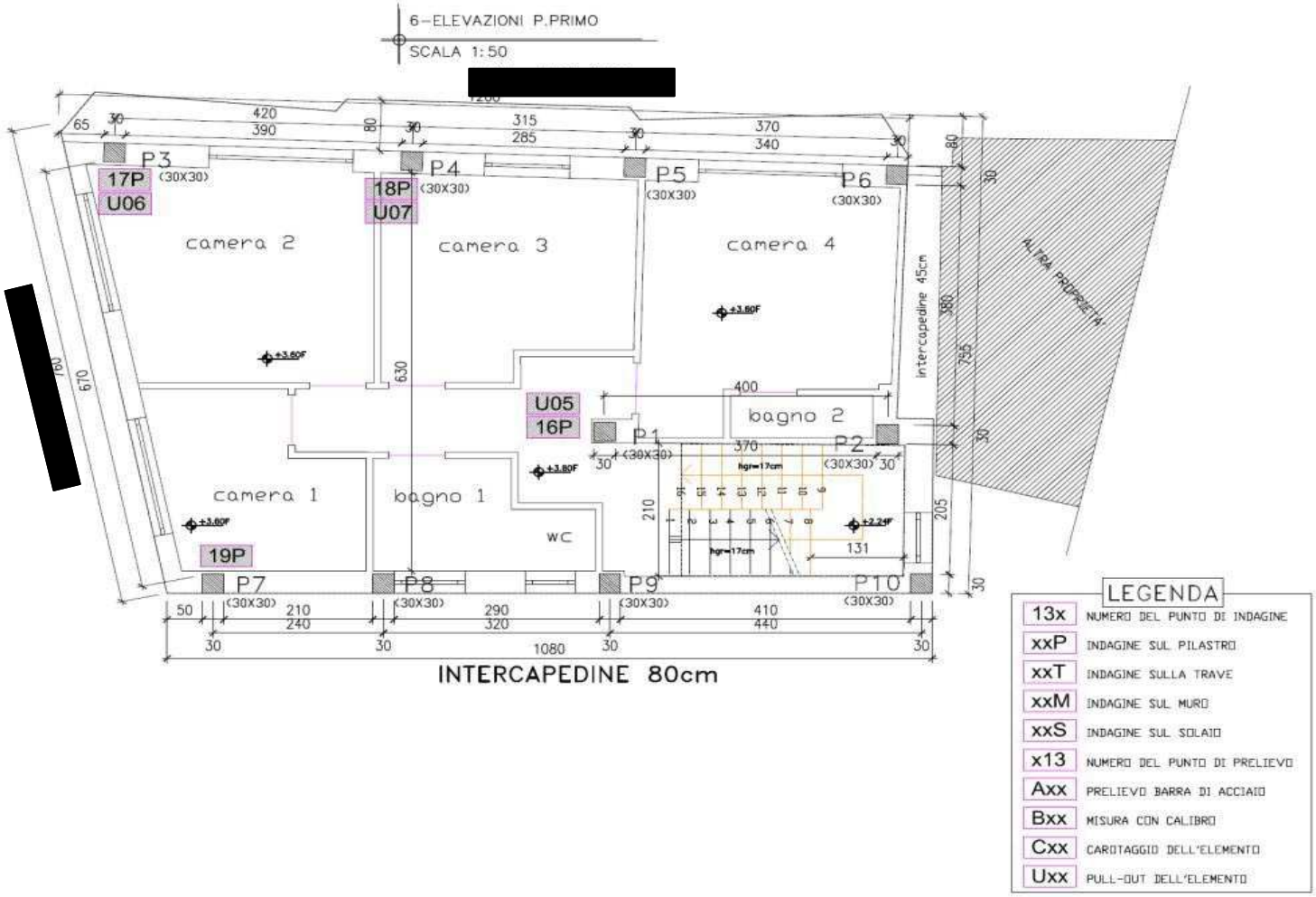
Solaio piano tipo:



Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Elevazioni piano tipo:



Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Campagna di prove condivisa con il Progettista:

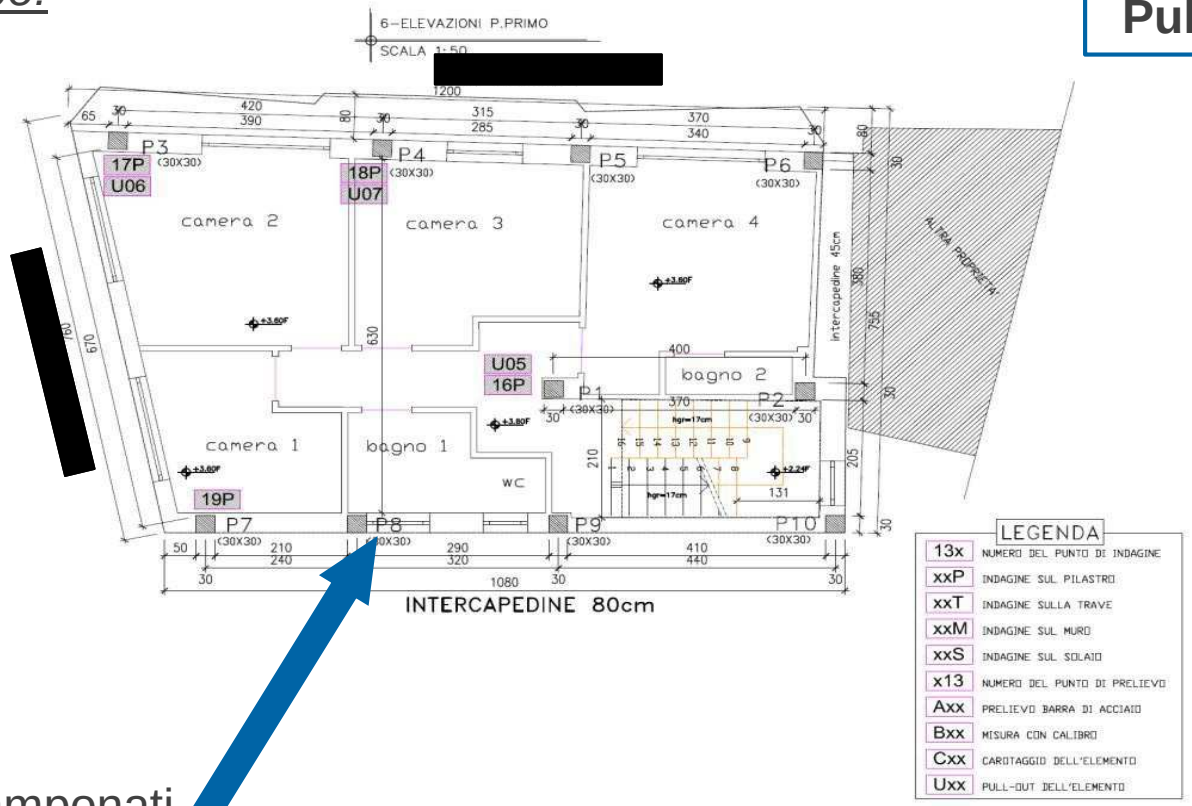
	PROVE SU STRUTTURE IN CLS	NORMA	quantità
2-A	Prelievo cls da pilastri e solai tramite **carotaggio** centrifugo di n. 1 provino cilindrico Ø 100 mm compresa analisi con pacometro per evitare barre di armature (6 pilastri)	UNI EN 12504-1	**6**
2-B	**Taglio** provini con lama diamantata **+ rettifica**	UNI EN 12390-3	**6**
2-C	Determinazione della resistenza del calcestruzzo attraverso prova di **compressione** su n. 1 carota prelevata in situ	UNI EN 12390-3	**6**
2-D	Determinazione della forza di estrazione di inserti post-inseriti **Pull-Out**	UNI EN 12504-3 UNI EN 10157	**18**
3-A	**Prelievo** di spezzone di **barra** di armature da pilastri in c.a. per la prova di trazione	UNI EN 15630-1	**6**
3-B	Prova di **trazione** su **barra** di armatura prelevata dalle strutture	UNI EN 15630-1	**6**
4	**Indagine pacometrica** 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

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata
weareone

Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Piano tipo:

Pull-Out o SonReb ?



Pilastri tamponati
e travi a spessore

Pull-Out

Tarare sempre i CND con i risultati ottenuti dai carotaggi

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

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			x	x	x		
TR 6	Trave	Solaio piano terra			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		x		x			
P 1	Pilastro	Elevazione piano primo		x	x			
P 3	Pilastro			x	x			
P 4	Pilastro			x	x			
P 7	Pilastro				x			
TR 2	Trave	Solaio piano secondo			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	

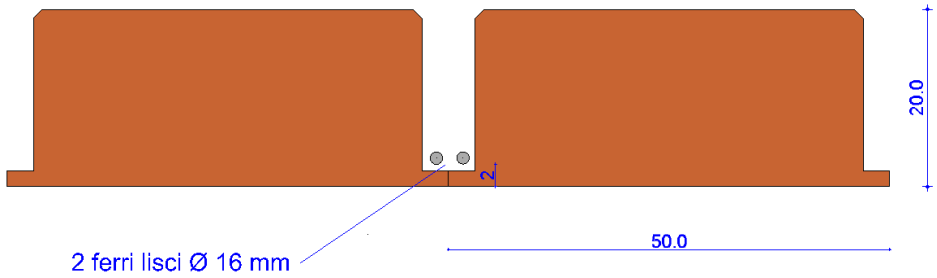
Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

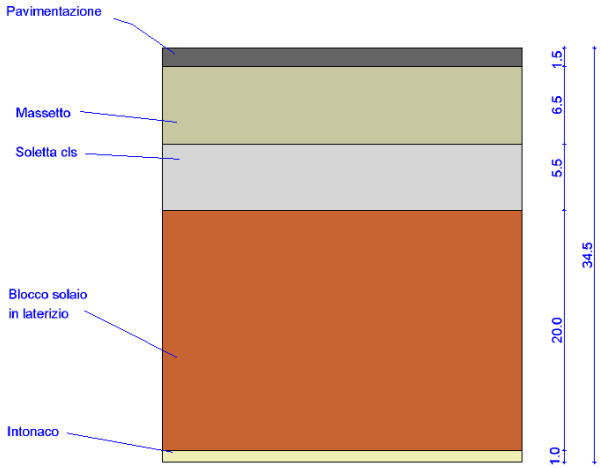
Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Restituzione dei risultati - esempi:

Solaio S2
Solaio piano terra



Solaio S2
Solaio piano terra - stratigrafia



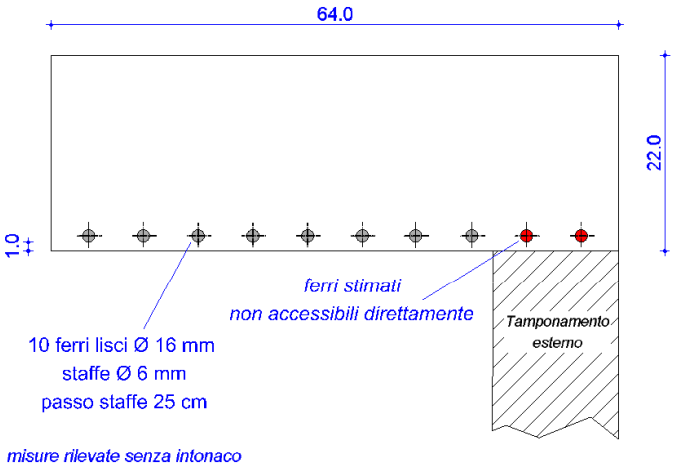
Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

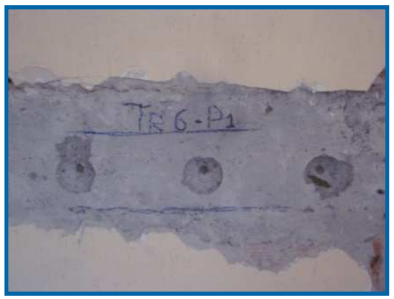
weareone

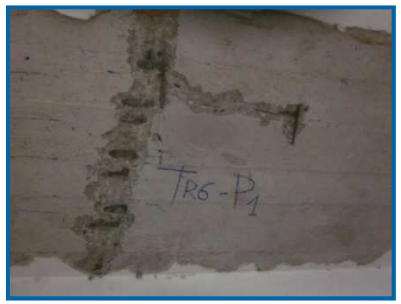
Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Restituzione dei risultati - esempi:

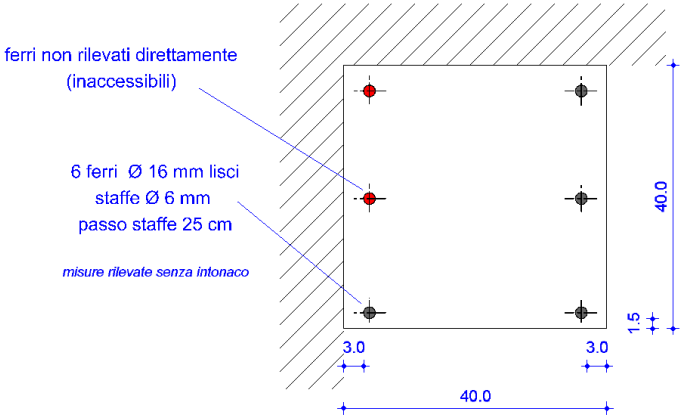
Trave TR6
solaio piano secondo







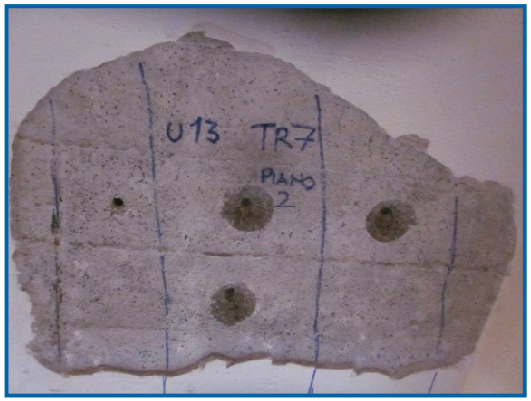
Pilastro P5
elevazione piano terra



Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata
weareone

Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Restituzione dei risultati - esempi:



Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Restituzione dei risultati - esempi:

Ferro Ag. 50

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Elaborazione dei risultati:

- **Pull-Out:** **stima della resistenza del calcestruzzo (Rc) 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:

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

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

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

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.

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Elaborazione dei risultati:

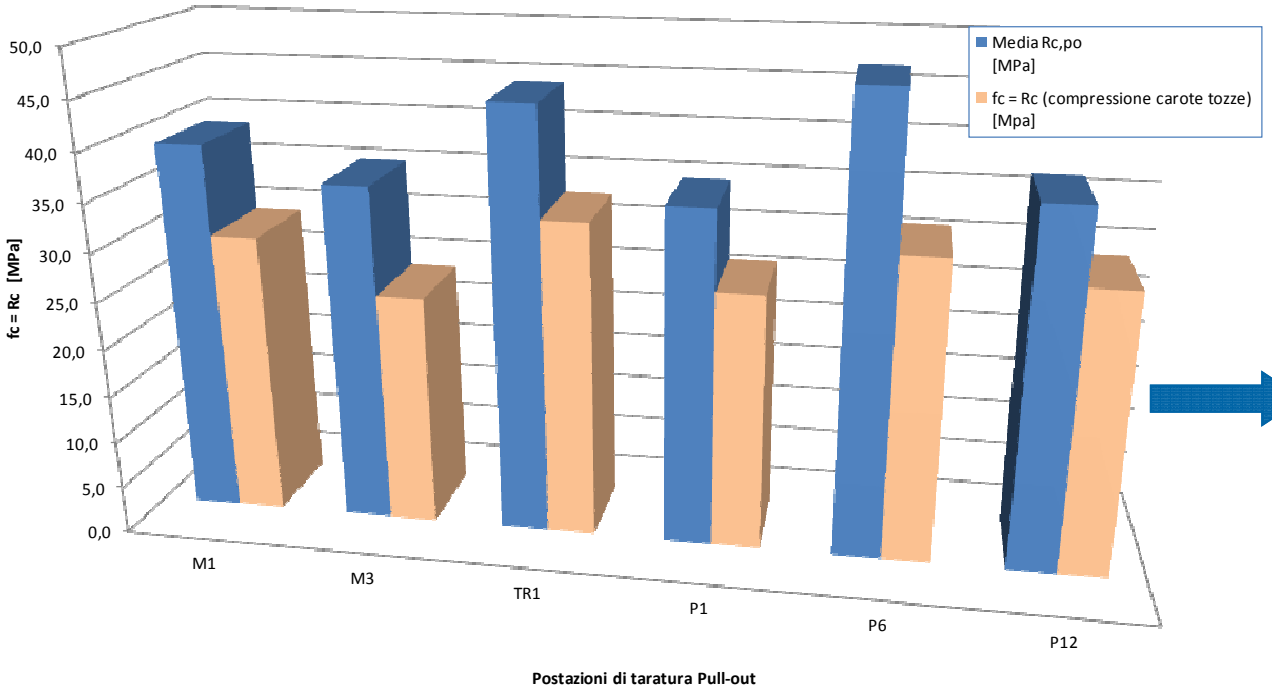
Pull-out						Compressione carote		
Postazione di prova	Punti Pull-Out	Pressione misurata al manometro [bar]	Forza di estrazione [kN]	Rc,po [MPa]	Media Rc,po [MPa]	fc = Rc (compressione carote tozze) [Mpa]	Coefficiente di influenza globale $\Phi i = Rc/Rc,po$	Forza di estrazione media [kN]
M1	1	101,90	33,3	39,9	39,2	29,9	0,762	32,6
	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	0,684	28,9
	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	0,746	38,5
	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	0,764	28,4
	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	0,669	41,4
	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	0,791	30,5
	2	86,25	28,2	35,1				
	3	99,80	32,7	39,3				
							Media	0,736

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Elaborazione dei risultati:



Gli errori sistematici del CND utilizzato sono sotto controllo: <u>taratura efficace</u>

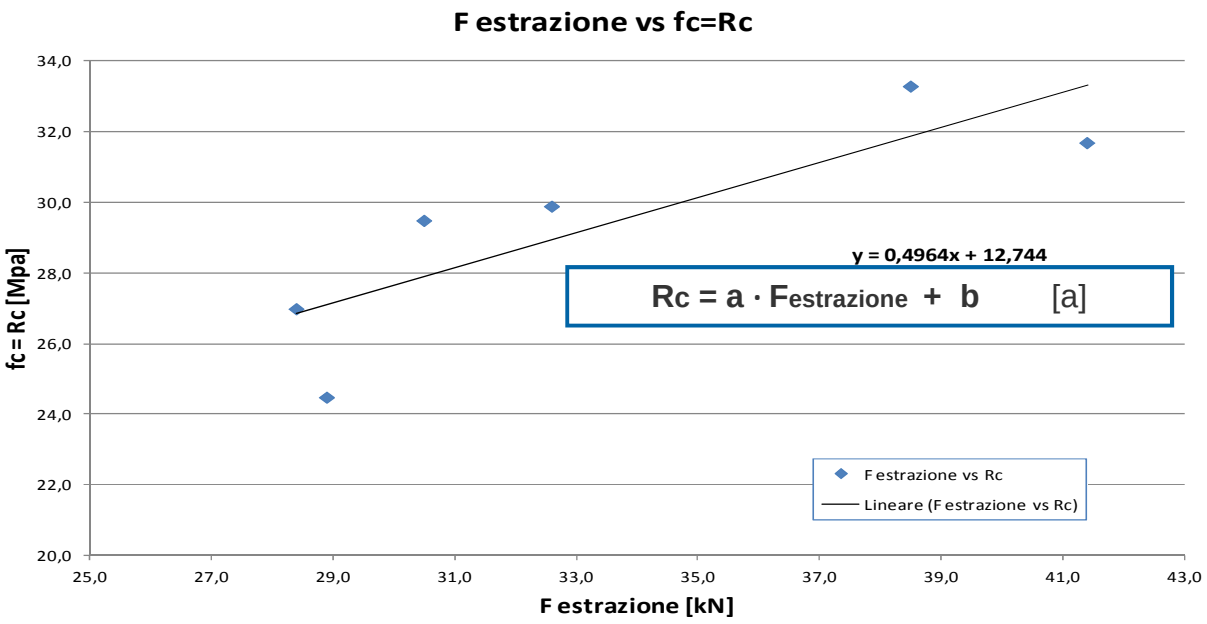
Un solo operatore:

"errori casuali" → ***" errori sistematici"***

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata
weareone

Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Elaborazione dei risultati:



Pull-out	Compressione carote
Postazione di prova	fc = Rc (compressione carote tozze) [Mpa]
M1	29,9
M3	24,5
TR1	33,3
P1	27
P6	31,7
P12	29,5

Forza di estrazione media [kN]
32,6
28,9
38,5
28,4
41,4
30,5

Gli errori sistematici del CND utilizzato sono sotto controllo: <u>taratura efficace</u>

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Elaborazione dei risultati:

$$Rc = a \cdot F_{estrazione} + b \qquad [a]$$

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]	Rc,po tarato = Rc*Φi medio [MPa]	Rc elemento [Mpa] (metodo Φi)	Rc elemento [Mpa] (taratura con retta di regressione su Festrazione)
	1	101,90	33,3	39,9	39,2	29,9	28,9	29,9	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	26,4	24,5	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		38,3	38,3	35,9
	2	135,10	44,3	50,0					
	3	130,15	42,7	48,5					
U02	1	129,70	42,5	48,4	45,5		33,5	33,5	32,3
	2	113,10	37,0	43,3					
	3	118,25	38,7	44,9					
U03	1	118,65	38,9	45,0	42,9		31,6	31,6	30,9
	2	108,85	35,6	42,0					
	3	107,70	35,3	41,7					
U04	1	139,10	45,6	51,2	46,6		34,3	34,3	32,9
	2	114,90	37,6	43,9					
	3	117,45	38,5	44,6					
U05	1	94,80	31,0	37,7	34,7		25,6	25,6	26,5
	2	75,80	24,7	32,0					
	3	84,10	27,5	34,5					
U06	1	111,80	36,6	42,9	44,0		32,4	32,4	31,5
	2	111,65	36,6	42,9					
	3	122,75	40,2	46,2					
U07	1	77,95	25,4	32,6	36,4		26,8	26,8	27,4
	2	82,20	26,8	33,9					
	3	110,70	36,3	42,6					
U08	1	81,75	26,7	33,8	30,5		22,5	22,5	24,2
	2	65,05	21,2	28,7					
	3	66,45	21,6	29,1					
U09	1	92,35	30,2	37,0	42,5		31,3	31,3	30,7
	2	128,35	42,1	47,9					
	3	110,90	36,3	42,6					
U10	1	114,25	37,4	43,7	47,9		35,3	35,3	33,6
	2	125,70	41,2	47,1					
	3	144,65	47,5	52,9					

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]	Rc,po tarato = Rc*Φi medio [MPa]	Rc elemento [Mpa] (metodo Φi)	Rc elemento [Mpa] (taratura con retta di regressione su Festrazione)
U11	1	96,35	31,5	38,2	40,5		29,8	29,8	29,6
	2	113,20	37,1	43,3					
	3	102,30	33,5	40,0					
U12	1	103,05	33,7	40,3	40,6		29,9	29,9	29,7
	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	32,9	33,3	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	26,0	27,0	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		32,3	32,3	31,4
	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	34,9	31,7	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		35,1	35,1	33,5
	2	133,00	43,6	49,4					
	3	126,15	41,4	47,3					
U15	1	119,65	39,2	45,3	43,5		32,0	32,0	31,2
	2	109,05	35,7	42,1					
	3	112,15	36,7	43,0					
U16	1	117,00	38,3	44,5	44,2		32,5	32,5	31,6
	2	118,65	38,9	45,0					
	3	112,50	36,8	43,1					
U17	1	101,30	33,1	39,7	40,8		30,0	30,0	29,8
	2	109,30	35,8	42,2					
	3	103,75	34,0	40,5					
U18	1	105,00	34,4	40,9	42,4		31,2	31,2	30,6
	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	27,5	29,5	29,5
	2	86,25	28,2	35,1					
	3	99,80	32,7	39,3					
					Media			30,8	30,4
					scarto			3,634	2,841

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Elaborazione dei risultati:

$$Rc = a \cdot F_{estrazione} + b \qquad [a]$$

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]	Rc,po tarato = Rc*Φi medio [MPa]	Rc elemento [Mpa] (metodo Φi)	Rc elemento [Mpa] (taratura con retta di regressione su Festrazione)
U11	1	96,35	31,5	38,2	40,5		29,8	29,8	29,6
	2	113,20	37,1	43,3					
	3	102,30	33,5	40,0					
	1	130,35	42,7	48,6	44,6	33,3	32,9	33,3	33,3
	2	102,75	33,6	40,2					
	3	119,15	39,0	45,2					

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

Struttura ricettiva - intervento di ristrutturazione

Elaborazione dei risultati:

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]	Rc,po tarato = Rc*Φi medio [MPa]	Rc elemento [Mpa] (metodo Φi)	Rc elemento [Mpa] (taratura con retta di regressione su Festrazione)
	1	101,90	33,3	39,9					
	2	103,50	33,9	40,4	39,2	29,9	28,9	29,9	29,9
	3	93,50	30,6	37,4					
	1	118,50	38,8	45,0					
	2	90,75	29,7	36,5	35,8	24,5	26,4	24,5	24,5
	3	56,25	18,2	26,0					
U01	1	160,60	52,7	57,7					
	2	135,10	44,3	50,0	52,1		38,3	38,3	35,9
	3	130,15	42,7	48,5					
U02	1	129,70	42,5	48,4					
	2	113,10	37,0				33,5	3	
	3	118,25	38,7						
U03	1	118,65	38,9						
	2	108,85	35,6				31,6	3	
	3	107,70	35,3						
U04	1	139,10	45,6	51,2					
	2	114,90	37,6	43,9	46,6		34,3	34,3	32,9
	3	117,45	38,5	44,6					
U05	1	94,80	31,0	37,7					
	2	75,80	24,7	32,0	34,7		25,6	25,6	26,5
	3	84,10	27,5	34,5					
U06	1	111,80	36,6	42,9					
	2	111,65	36,6	42,9	44,0		32,4	32,4	31,5
	3	122,75	40,2	46,2					
U07	1	77,95	25,4	32,6					
	2	82,20	26,8	33,9	36,4		26,8	26,8	27,4
	3	110,70	36,3	42,6					
U08	1	81,75	26,7	33,8					
	2	65,05	21,2	28,7	30,5		22,5	22,5	24,2
	3	66,45	21,6	29,1					
U09	1	92,35	30,2	37,0					
	2	128,35	42,1	47,9	42,5		31,3	31,3	30,7
	3	110,90	36,3	42,6					
U10	1	114,25	37,4	43,7					
	2	125,70	41,2	47,1	47,9		35,3	35,3	33,6
	3	144,65	47,5	52,9					

46.6

32.9

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]	Rc,po tarato = Rc*Φi medio [MPa]	Rc elemento [Mpa] (metodo Φi)	Rc elemento [Mpa] (taratura con retta di regressione su Festrazione)
U11	1	96,35	31,5	38,2					
	2	113,20	37,1	43,3	40,5		29,8	29,8	29,6
	3	102,30	33,5	40,0					
U12	1	103,05	33,7	40,3					
	2	107,50	35,2	41,6	40,6		29,9	29,9	29,7
	3	102,00	33,4	39,9					
	1	130,35	42,7	48,6					
	2	102,75	33,6	40,2	44,6	33,3	32,9	33,3	33,3
	3	119,15	39,0	45,2					
	1	88,45	28,9	35,8					
	2	82,35	26,9	34,0	35,3	27,0	26,0	27,0	27,0
	3	89,65	29,3	36,2					
	1	120,10	39,4	45,4					
	2	115,70	37,9	44,1	43,9		32,3	32,3	31,4
	3	109,20	35,8	42,1					
	1	140,65	46,1	51,7					
	2	124,90	40,9	46,9	47,4	31,7	34,9	31,7	31,7
	3	113,75	37,3	43,5					
U14	1	123,05	40,3	46,3					
	2	133,00	43,6	49,4	47,7		35,1	35,1	33,5
	3	126,15	41,4	47,3					
U15	1	119,65	39,2	45,3					
	2	109,05	35,7	42,1	43,5		32,0	32,0	31,2
	3	112,15	36,7	43,0					
U16	1	117,00	38,3	44,5					
	2	118,65	38,9	45,0	44,2		32,5	32,5	31,6
	3	112,50	36,8	43,1					
U17	1	101,30	33,1	39,7					
	2	109,30	35,8	42,2	40,8		30,0	30,0	29,8
	3	103,75	34,0	40,5					
U18	1	105,00	34,4	40,9					
	2	102,90	33,7	40,2	42,4		31,2	31,2	30,6
	3	122,20	40,1	46,1					
	1	93,85	30,7	37,5					
	2	86,25	28,2	35,1	37,3	29,5	27,5		
	3	99,80	32,7	39,3					
						Media		30,8	30,4
						scarto		3,634	2,841

30.8 **30.4**

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

Centro commerciale– intervento di adeguamento sismico

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata
weareone

Centro commerciale – intervento di adeguamento sismico

PROCEDURA BASE applicata al caso in esame

- **REPERIMENTO DEI DOCUMENTI**
- **ANALISI DOCUMENTALE**
- **RICOSTRUZIONE STORICA**

→

- ✓ Struttura prefabbricata in c.a./c.a.p. ad un piano. Superficie in pianta 15.000 m^2
- ✓ Documentazione incompleta sugli elementi in c.a./c.a.p.
- ✓ Periodo di costruzione: primi anni ’90

- **RILIEVO GEOMETRICO**
- **SOPRALUOGO ED ANALISI VISIVA**

→

- ✓ Eseguito dal Progettista

- **PROGETTAZIONE DELLA CAMPAGNA DI PROVE**

→

- ✓ Livello di conoscenza voluto: LC2
- ✓ Progettazione della campagna eseguita in collaborazione con il Laboratorio Prove

- **ANALISI DEI MATERIALI: PROVE DISTRUTTIVE E NON DISTRUTTIVE**

→

- ✓ Eseguite dal Laboratorio Prove (sostituzione del 50% delle prove distruttive con CND x 3)

- **DIAGNOSI STRUTTURALE**
- **PROGETTAZIONE INTERVENTI DI ADEGUAMENTO**

→

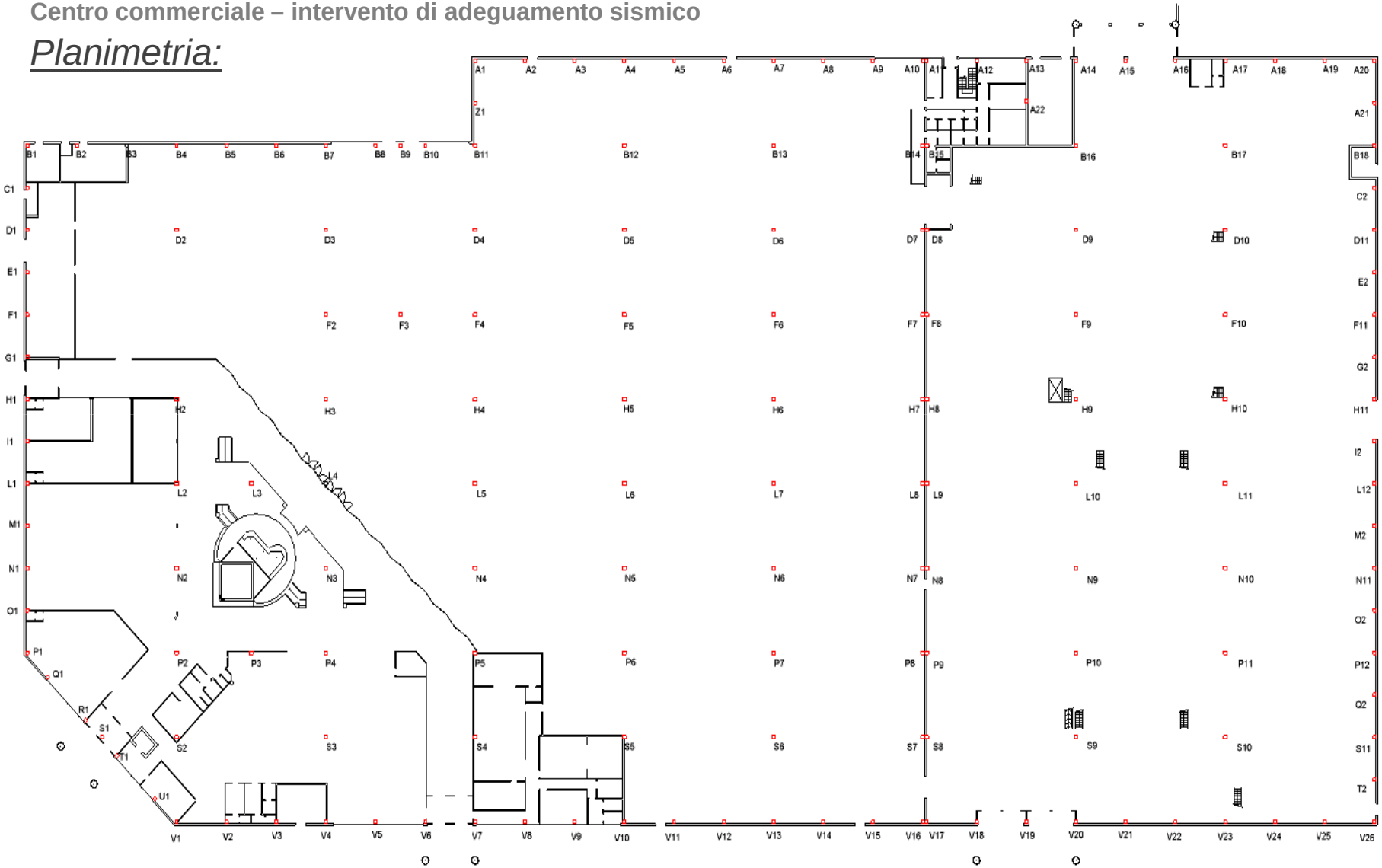
- ✓ Eseguite dal progettista

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

Centro commerciale – intervento di adeguamento sismico

Planimetria:



Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

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 **carotaggio** 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	**Taglio** provini con lama diamantata **+ rettifica**	UNI EN 12390-3	**25**
2-C	Determinazione della resistenza del calcestruzzo attraverso prova di **compressione** su n. 1 carota prelevata in situ	UNI EN 12390-3	**25**
2-D	Determinazione della resistenza in situ del calcestruzzo con il metodo **Son-Reb**	UNI EN 12504-3 UNI EN 10157	**75**
4	**Indagine pacometrica** 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

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata
weareone

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		

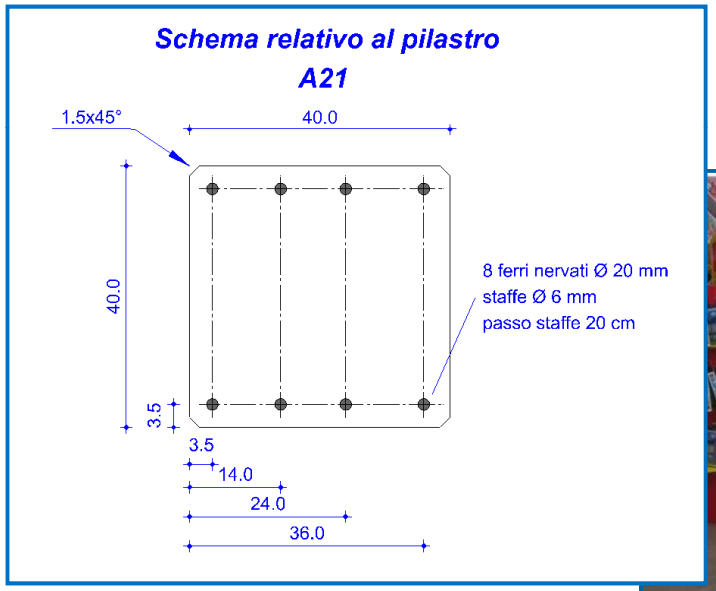
Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

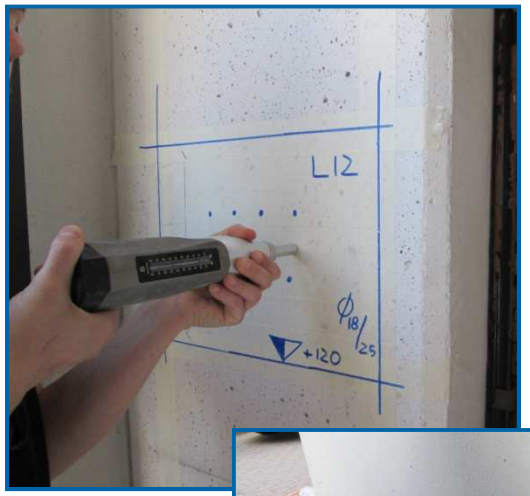
weareone

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				





Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

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.

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

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

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

[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 <u>correlazione diretta</u> con prove distruttive (compressione su provini cilindrici ottenuti tramite carotaggi) eseguite in apposite <u>postazioni di taratura</u>.

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

Centro commerciale – intervento di adeguamento sismico

Elaborazione dei risultati:

Elemento	IR	Velocità UT V	fc sperimentale	fc stimata (formula)	(fc sperimentale - fc stimata)^2
		[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

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

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

Varianza	3,543

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

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

coeff. Correlazione	0,816

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

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)
		[m/s]	[MPa]	[MPa]
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	fc stimata (formula)
		[m/s]	[MPa]	[MPa]
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	fc stimata (formula)
		[m/s]	[MPa]	[MPa]
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

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

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 [m/s]	fc sperimentale [MPa]	fc stimata (formula) [MPa]
L5	42	4310	50,0	48,6
H4	45	4325	49,8	50,2
F3	43	3780	48,0	44,7

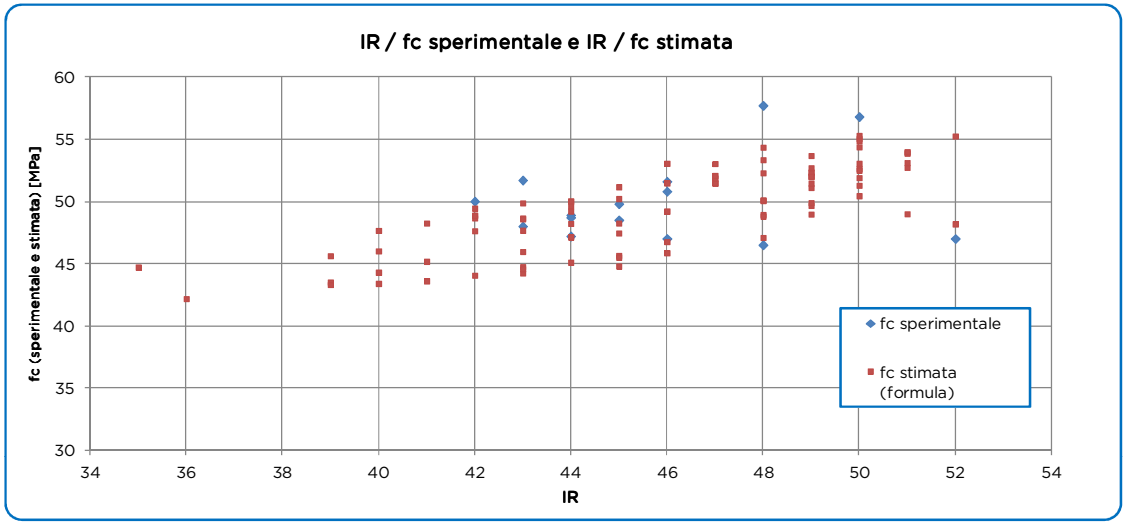
Elemento	IR	Velocità UT V [m/s]	fc sperimentale [MPa]	fc stimata (formula) [MPa]
A3	42	3750		44,0
A2	44	4259		49,2
Z1	42	4335		48,9

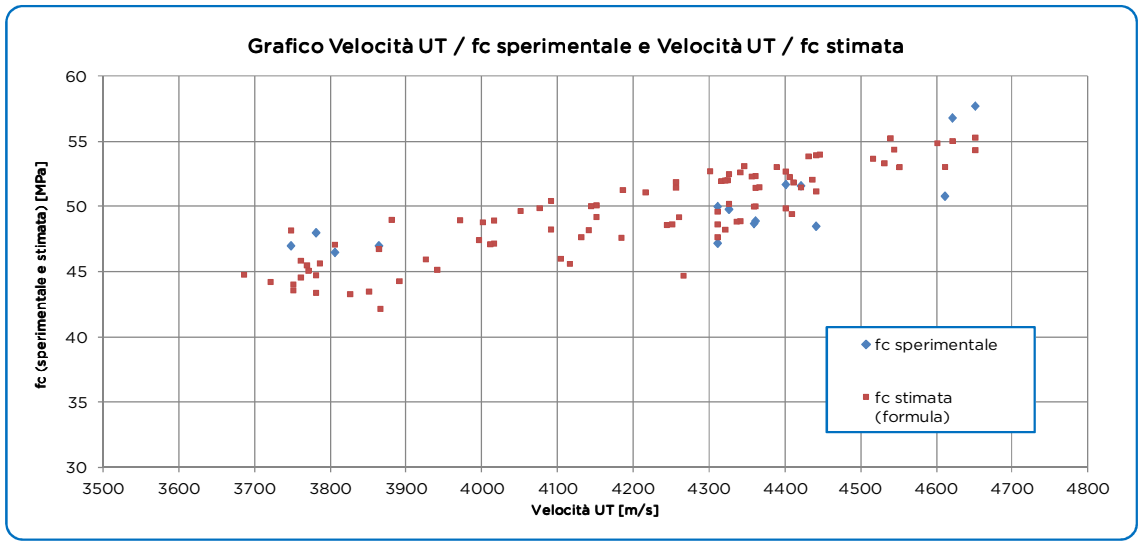
Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

Centro commerciale – intervento di adeguamento sismico

Elaborazione dei risultati:





Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

Autorimessa di civile abitazione – indagini sul calcestruzzo

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata
weareone

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**

→

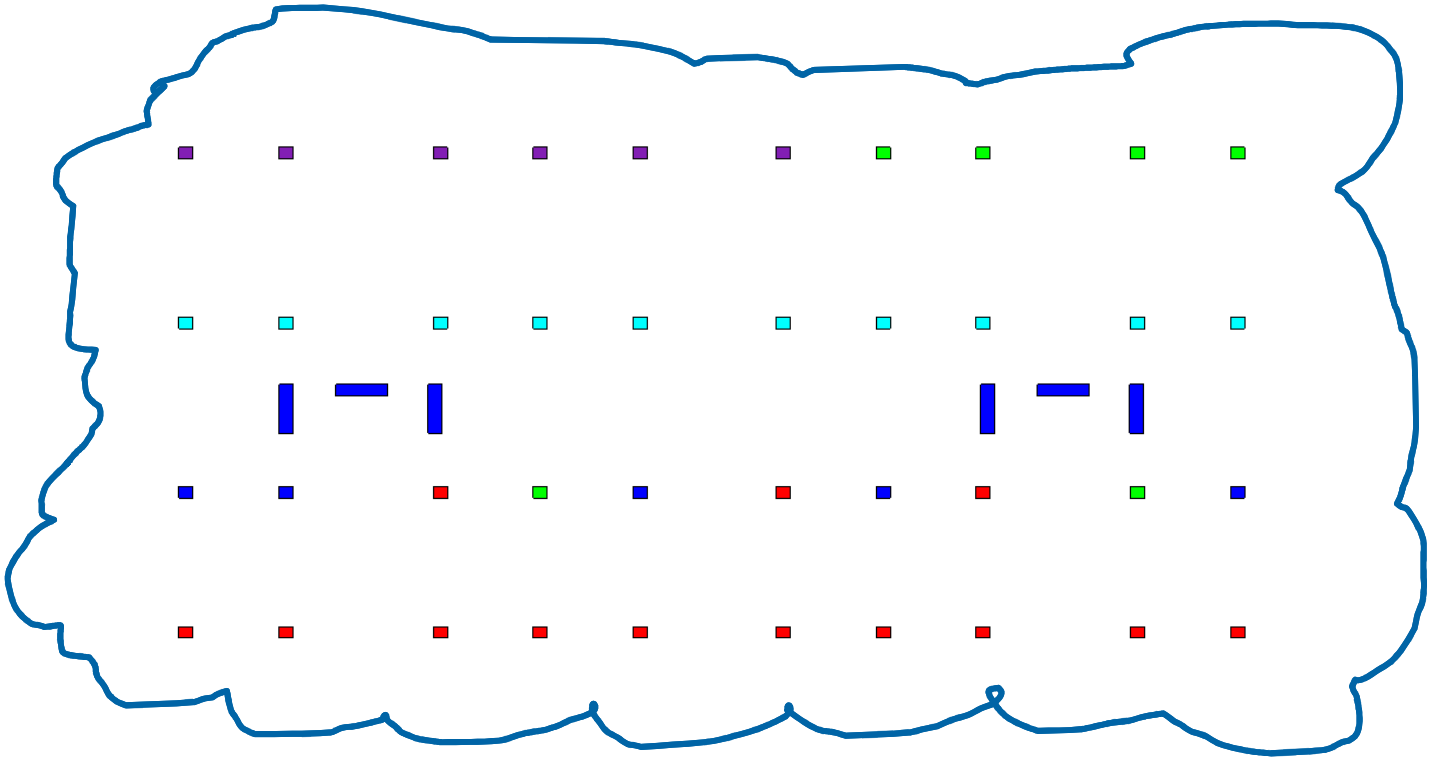
- ✓ Eseguite dal progettista

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

Autorimessa di civile abitazione – indagini sul calcestruzzo

Planimetria pilastri autorimessa:



I colori si riferiscono ai 5 diversi Verbali di Prelievo

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata
weareone

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 **carotaggio** 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	**Taglio** provini con lama diamantata **+ rettifica**	UNI EN 12390-3	**8**
2-C	Determinazione della resistenza del calcestruzzo attraverso prova di **compressione** su n. 1 carota prelevata in situ	UNI EN 12390-3	**8**
2-D	Determinazione della resistenza in situ del calcestruzzo con il metodo **Son-Reb**	UNI EN 12504-3 UNI EN 10157	**55**
5	Relazione sulle prove		1

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata
weareone

Autorimessa di civile abitazione – indagini sul calcestruzzo

Restituzione dei risultati - esempi:

		Zona: 1				*Zona: 2*				*Zona: 3*			
Elemento	IR	26	26	27	25	26	25	24	26	26	26	26	25
[redacted]		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			

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

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.

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

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

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

[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 <u>correlazione diretta</u> con prove distruttive (compressione su provini cilindrici ottenuti tramite carotaggi) eseguite in apposite <u>postazioni di taratura</u>.

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

Autorimessa di civile abitazione – indagini sul calcestruzzo

Elaborazione dei risultati:

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

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

Varianza	3,511

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

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).

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

Autorimessa di civile abitazione – indagini sul calcestruzzo

Elaborazione dei risultati:

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

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

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

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 **≥ 0,85 f_{cm}**

Verbale di prelievo	$f_{opera\ m}$	$R_{ck} = (f_{opera\ m}/0.85)-8$	Classe
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
[redacted]	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

Partendo dalla resistenza **R_{ck} = 35 MPa (C28/35)**

f_{ck} = 0.83 R_{ck} = 0.83 x 35 = 29.1 MPa *(per provini snelli H/D = 2)*

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

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

$f_{opera,m}$ ≥ 0,85 f_{cm} $f_{opera,m}$ ≥ 0,85 x 43 = 36.6 MPa

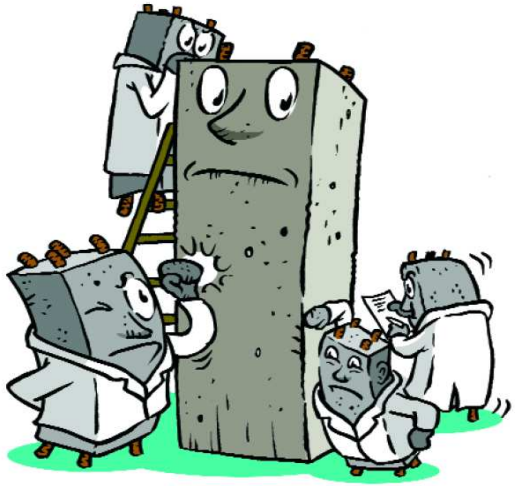
$f_{opera,m}$ ≥ 36.6 MPa

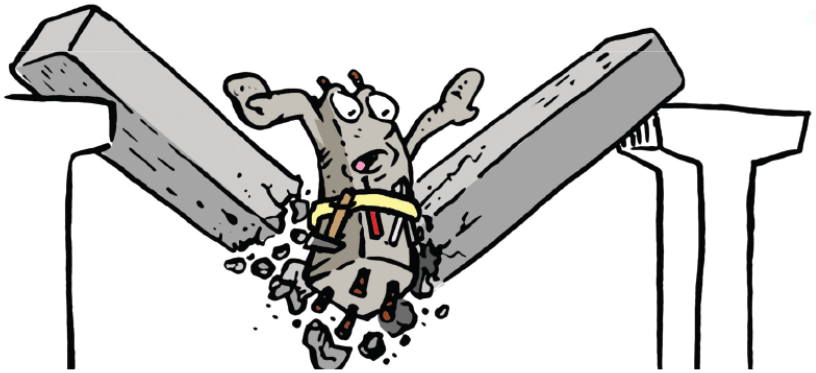
Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

Vantaggi dei CND

- Poco o per nulla invasivi;



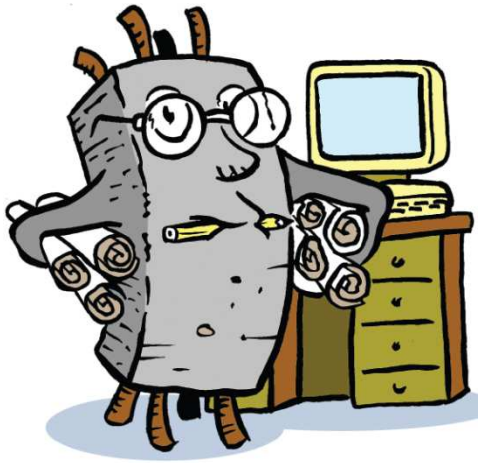


- Possono essere eseguiti anche su elementi non investigabili diversamente;

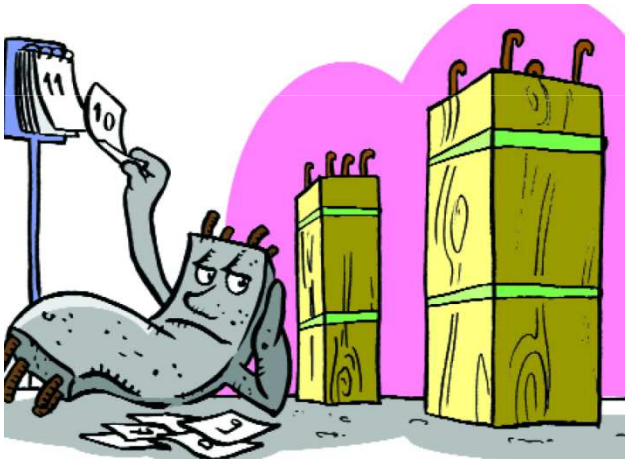
- Consentono una esecuzione “rapida”;

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata
weareone

Vantaggi dei CND



- Forniscono risultati attendibili;



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

…a patto che…

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata
weareone

- **Vengano eseguiti da personale competente (certificato);**

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

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata
weareone

Controlli non distruttivi

+

Taratura

=

Controlli non distruttivi

+

?

=

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata

weareone

Riferimenti

Norme tecniche per le costruzioni – D.M. Infrastrutture14 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.

Engineering Controls Srl – Riproduzione Vietata
weareone

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Cuneo

engineering controls SRL

DRC Diagnostic Research Company Non Destructive Testing

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 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:

Studio D.E.P. indagini non distruttive Ing. Rocco FERRINI

soyet

Con il patrocinio di:

DIAGNOSTICA EDILE