

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

4 - Esempio, progetto simulato e rilievo

Imola  
16-18 maggio 2013  
Aurelio Ghersi

## Esempio

- Per mostrare concretamente l'applicazione dei concetti che vengono via via esposti si è preso in esame un edificio fittizio, ma che può essere rappresentativo di situazioni reali
- Le elaborazioni numeriche relative all'esempio sono riportate nella documentazione allegata
  - Si veda la cartella "2-Analisi 2010", nonché la cartella "Tesi Matarazzo" in "4-documentazione CT"
  - Il materiale è stato aggiornato per questo corso. Si veda la cartella "Analisi 2012"

## Edificio esistente da esaminare

- Edificio destinato ad abitazione
- Numero di impalcati: 6
- Epoca di costruzione: fine anni '70
- Terreno: abbastanza compatto (suolo B)
- Classificazione sismica
  - All'epoca di costruzione: nessuna
  - Oggi: media sismicità

$T_r$ [anni]	$a_g / g$	$F_0$	$T_C^*$ [s]
30	0.061	2.360	0.280
50	0.082	2.316	0.292
475	0.250	2.410	0.360
975	0.339	2.445	0.383

## Edificio esistente da esaminare

- Dati disponibili:
  - Non esistono elaborati progettuali
  - Non esistono certificati di prova su materiali
- Obiettivo: grado di conoscenza adeguato (LC2)

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali
LC2	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Disegni costruttivi incompleti con limitate verifiche in situ oppure estese verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con limitate prove in-situ oppure estese prove in-situ

Verifiche estese	Rilievo (dei dettagli costruttivi)	Prove (sui materiali)
	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m <sup>2</sup> di piano dell'edificio. 2 campioni di armatura per piano dell'edificio

## Conoscenza dell'edificio

Non è stato recuperato il progetto

### Geometria:

- Si effettua un rilievo completo

### Dettagli costruttivi:

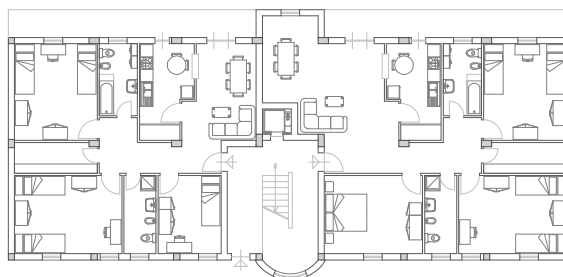
- Si fa un progetto simulato (per avere un'idea)
- Si fa un rilievo esteso

### Materiali:

- Si fanno estese prove in situ

Grado di conoscenza: LC2

## Rilievo dell'edificio



Piano terra

## Rilievo dell'edificio



Piano tipo

### Piano tipo

# Rilievo dell'edificio

The diagram shows a floor plan of a building. A large, empty rectangular room occupies the upper two-thirds of the plan. At the bottom center of this room is a staircase with a central landing. Above the staircase is a small rectangular area, possibly a bathroom or a small room, containing a toilet and a sink. To the left of this small area is a window with a cross-hatch pattern. The entire building is enclosed within a double-line rectangular border.

Copertura

## Copertura

[illegible]

Carpenter

# Carichi unitari e materiali

**Carichi unitari:**

Elemento	$g_k$	$q_k$	$g_k + q_k$
Solaio (kN/m <sup>2</sup> )	5.00	2.00	7.00
Sbalzo (kN/m <sup>2</sup> )	4.00	4.00	8.00
Trave (kN/m)	3.50	-	3.50
Tamponature (kN/m)	7.00	-	7.00

**Materiali: di progetto**

- Calcestruzzo** -  $R_{ck} = 25 \text{ MPa}$   
 $\bar{\sigma}_c = 8.5 \text{ MPa}$
- Acciaio** - FeB38k  
 $\bar{\sigma}_s = 215 \text{ MPa}$

File Edificio 2012.xls - foglio Mater e CarUnit

Elemento	$g_x$	$q_k$	$g_x + q_k$
Solaio (kN/m <sup>2</sup> )	5.00	2.00	7.00
Sbalzo (kN/m <sup>2</sup> )	4.00	4.00	8.00
Trave (kN/m)	3.50	-	3.50
Tamponature (kN/m)	7.00	-	7.00

## File Edificio 2012.xls - foglio Mater e CarUnit

Progetto simulato												
Carico sui pilastri												
Valutati per area di influenza												
Carichi unitari		sism		5.6		5.2		3.5		7.0	0.06	%
		max		7.0		8.0		3.5		7.0	6.75	
1	ultimo	solo		sbalzo		trave		tompagno		somma	pilastro	
		sism	5	5.6	3	5.2	4.5	3.5	0.0	7.0	59.4	6.8
		max	5	7.0	3	8.0	4.5	3.5	0.0	7.0	74.8	6.8
	altri	sism	5	5.6	3	5.2	4.5	3.5	4.5	7.0	90.9	6.8
		max	5	7.0	3	8.0	4.5	3.5	4.5	7.0	106.3	6.8
		max	5	7.0	3	8.0	4.5	3.5	4.5	7.0	106.3	6.8
9	ultimo	sism	11	5.6	0	5.2	7.5	3.5	0.0	7.0	87.9	6.8
		max	11	7.0	0	8.0	7.5	3.5	0.0	7.0	103.3	6.8
		max	11	5.6	0	5.2	7.5	3.5	5.5	7.0	126.4	7.6
	altri	sism	11	5.6	0	5.2	7.5	3.5	5.5	7.0	141.8	8.5
		max	11	7.0	0	8.0	7.5	3.5	5.5	7.0	141.8	8.5
		max	11	7.0	0	8.0	7.5	3.5	5.5	7.0	141.8	8.5
17	ultimo	sism	5	5.6	0	5.2	4.5	3.5	0.0	7.0	43.8	6.8
		max	5	7.0	0	8.0	4.5	3.5	0.0	7.0	50.8	6.8
		max	5	5.6	0	5.2	4.5	3.5	4.5	7.0	75.3	6.8
	altri	sism	5	5.6	0	5.2	4.5	3.5	4.5	7.0	82.0	6.8
		max	5	7.0	0	8.0	4.5	3.5	4.5	7.0	82.3	6.8
		max	5	7.0	0	8.0	4.5	3.5	4.5	7.0	82.3	6.8

File Edificio 2012.xls - foglio Carico pil

Carichi unitari		sism max	5.6 7.0	5.2 8.0	3.5 7.0	7.0 7.0	0.06 6.75	%					
1	ultimo	sism	5	5.6	3	5.2	4.5	3.5	0.0	7.0	74.8	6.8	81.5
		max	5	7.0	3	8.0	4.5	3.5	0.0	7.0	90.9	6.8	97.6
	altri	sism	5	5.6	3	5.2	4.5	3.5	4.5	7.0	106.3	6.8	113.0
		max	5	7.0	3	8.0	4.5	3.5	4.5	7.0			
9	ultimo	sism	11	5.6	0	5.2	7.5	3.5	0.0	7.0	87.9	6.8	94.6
		max	11	7.0	0	8.0	7.5	3.5	0.0	7.0	103.3	6.8	110.0
	altri	sism	11	5.6	0	5.2	7.5	3.5	5.5	7.0	126.2	7.5	133.9
		max	11	7.0	0	8.0	7.5	3.5	5.5	7.0	141.8	8.5	150.3
17	ultimo	sism	5	5.6	0	5.2	4.5	3.5	0.0	7.0	43.8	6.8	50.5
		max	5	7.0	0	8.0	4.5	3.5	0.0	7.0	50.8	6.8	57.5
	altri	sism	5	5.6	0	5.2	4.5	3.5	4.5	7.0	75.3	6.8	82.0
		max	5	7.0	0	8.0	4.5	3.5	4.5	7.0	82.3	6.8	89.0

File Edificio 2012.xls - foglio Carico pil

## Progetto simulato

### Carico sui pilastri

Pilastrata	Piano	Scarico al piano [kN]
1	6	81.5
	1-5	113.0
9	6	110.0
	1-5	150.3
17	6	57.5
	1-5	89.0
2,3,4	6	139.9
	1-5	169.6
10,11,12	6	178.1
	1-5	178.1
18,19,20	6	90.8
	1-5	118.8

File Edificio 2012.xls – foglio Carico pil

Pilastrata	Piano	Scarico al piano [kN]
1	6	81.5
	1-5	113.0
9	6	110.0
	1-5	150.3
17	6	57.5
	1-5	89.0
2,3,4	6	139.9
	1-5	169.6
10,11,12	6	178.1
	1-5	178.1
18,19,20	6	90.8
	1-5	118.8

File Edificio 2012.xls - foglio Carico pil

## Progetto simulato

### Pilastri: sezione e armature

		1																
		N	p	N	Ac_nec	b	h	Ac	Ac_nec	n	6	As						
ultimo	5	81.5	81.5	126	30	30	900	2.7	4	12	4.5							
	6	113.0	194.0	300	30	30	900	2.7	6	12	4.5							
	4	113.0	307.5	474	30	30	900	2.8	4	12	4.5							
	3	113.0	420.0	648	30	30	900	3.9	4	12	4.5							
	2	113.0	533.5	822	30	30	900	4.9	4	14	6.2							
		1	113.0	646.5	997	30	40	1200	6.0	6	14	9.2						
		$A_{c,nec} = \frac{N}{(1+n\rho)0.7\bar{\sigma}_c}$															$A_c = 0.006 A_{c,nec}$	
		9																
		N	p	N	Ac_nec	b	h	Ac	Ac_nec	n	6	As						
ultimo	5	110.0	110.0	170	30	30	900	2.7	4	12	4.5							
	6	150.3	260.3	401	30	30	900	2.7	6	12	4.5							
	4	150.3	410.6	633	30	30	900	3.8	4	12	4.5							
	3	150.3	560.9	865	30	30	900	6.6	4	12	4.5							
	2	150.3	711.2	1097	30	40	1200	6.6	6	14	9.2							
		1	150.3	861.5	1328	30	50	1500	8.0	6	14	9.2						
		$A_{c,nec} = \frac{N}{(1+n\rho)0.7\bar{\sigma}_c}$															$A_c = 0.003 A_{c,nec}$	
		17																
		N	p	N	Ac_nec	b	h	Ac	Ac_nec	n	6	As						
ultimo	5	57.5	57.5	89	30	30	900	2.7	4	12	4.5							
	6	89.0	146.5	226	30	30	900	2.7	4	12	4.5							
	4	89.0	226.5	363	30	30	900	2.7	4	12	4.5							
	3	89.0	324.5	500	30	30	900	3.0	4	12	4.5							
		1	89.0	613.5	638	30	30	900	3.8	4	12	4.5						
		1	89.0	502.5	775	30	30	900	4.6	4	14	6.2						

File Edificio 2012.xls - foglio Pilastri

## Progetto simulato

### Pilastri: sezione e armature

piano	pilastro 1		pilastro 9		pilastro 17	
	progetto sezione $A_1$	rilievo sezione $A_2$	progetto sezione $A_1$	rilievo sezione $A_2$	progetto sezione $A_1$	rilievo sezione $A_2$
6	30×30	40×12	30×30	40×12	30×30	40×12
5	30×30	40×12	30×30	40×12	30×30	40×12
4	30×30	40×12	30×30	40×12	30×30	40×12
3	30×30	40×12	30×30	40×14	30×30	40×12
2	30×30	40×14	30×40	60×14	30×30	40×12
1	30×40	60×14	30×50	60×14	30×30	40×14

piano	pilastri 2, 3, 4		pilastri 10, 11, 12		pilastri 18, 19, 20	
	progetto sezione $A_1$	rilievo sezione $A_2$	progetto sezione $A_1$	rilievo sezione $A_2$	progetto sezione $A_1$	rilievo sezione $A_2$
6	30×30	40×12	30×30	40×12	30×30	40×12
5	30×30	40×12	30×30	40×12	30×30	40×12
4	30×30	40×14	30×30	40×14	30×30	40×12
3	40×30	60×14	40×30	60×14	30×30	40×12
2	50×30	60×14	50×30	60×14	30×30	40×14
1	60×30	60×14	60×30	60×14	40×30	60×14

Nota: il 12 e 20 sono ruotati: 30x...

File Edificio 2012.xls - foglio Pilastri

## Progetto simulato

### Carico sulle travi

Valutato per area (larghezza) di influenza

		sistem		5.6	5.2	3.5		7.0			
		max		7.0	8.0	3.5		7.0			
		solαιο			sbalzot	trave		tompagno			
Trave 1-4	ultimo	sistem	2.5	5.6	1.5	5.2	1.0	3.5	0.0	7.0	25.3
		max	2.5	7.0	1.5	8.0	1.0	3.5	0.0	7.0	33.0
	altri	sistem	2.5	5.6	1.5	5.2	1.0	3.5	1.0	7.0	32.3
		max	2.5	7.0	1.5	8.0	1.0	3.5	1.0	7.0	40.0
9...12	ultimo	sistem	5.5	5.6	0	5.2	1.0	3.5	0.0	7.0	34.3
		max	5.5	7.0	0	8.0	1.0	3.5	0.0	7.0	42.0
	altri	sistem	5.5	5.6	0	5.2	1.0	3.5	0.0	7.0	34.3
		max	5.5	7.0	0	8.0	1.0	3.5	0.0	7.0	42.0
17...20	ultimo	sistem	2.5	5.6	0	5.2	1.0	3.5	0.0	7.0	17.5
		max	2.5	7.0	0	8.0	1.0	3.5	0.0	7.0	21.0
	altri	sistem	2.5	5.6	0	5.2	1.0	3.5	1.0	7.0	24.5
		max	2.5	7.0	0	8.0	1.0	3.5	1.0	7.0	28.0
1-9-17	ultimo	sistem	0.5	5.6	0	5.2	1.0	3.5	0.0	7.0	6.3
		max	0.5	7.0	0	8.0	1.0	3.5	0.0	7.0	7.0
	altri	sistem	0.5	5.6	0	5.2	1.0	3.5	1.0	7.0	13.3
		max	0.5	7.0	0	8.0	1.0	3.5	1.0	7.0	14.0

File Edificio 2012.xls - foglio Carichi tra imp

## Progetto simulato

Carico [kN/m]

piano	trave 1-2-3-4	trave 9-10-11-1212	trave 17-18-19-20	trave 1-9-17
6	33.0	42.0	21.0	7.0
1-5	40.0	42.0	28.0	14.0

### Calcolo di $M$

Momenti calcolati come trave continua oppure stimati come  $M = \frac{q l^2}{k}$

$$M = \frac{q l}{k}$$

File Edificio 2012.xls - foglio Carichi tra imp

## Progetto simulato

Travi: momenti flettenti e armature

			luce	1	4 00	2	4 00	3	4 00	4
Trave 1..4	ultimo	sism	26.3	M- 16.9	M+ 28.9	M- 40.5	M+ 26.3	M- 33.7	M+ 26.3	M- 26.3
		max	33.0	22.0	37.7	52.8	33.0	44.0	33.0	33.0
		As		2.5	4.2	5.9	3.7	4.9	3.7	3.7
		n,sup		2	0	4	0	4	0	3
		f1		14	0	14	0	14	0	14
		n,inf		2	3	2	3	2	3	2
		f1		14	14	14	14	14	14	14
	altri	sism	32.3	21.5	36.9	61.7	32.3	43.1	32.3	32.3
		max	40.0	26.7	45.7	64.0	40.0	53.3	40.0	40.0
		As		3.0	5.1	7.2	4.5	6.0	4.5	4.5
		n,sup		2	0	5	0	4	0	3
		f1		14	0	14	0	14	0	14
		n,inf		2	4	2	3	2	3	2
		f1		14	14	14	14	14	14	14

Armatura calcolata con  $A_s = \frac{M}{0.9 d \bar{\sigma}_s}$

File Edificio 2012.xls - foglio Travi

## Progetto simulato

## Armatura

Trave	Piano	I (M°)	(M°)	II (M°)	(M°)	III (M°)	(M°)	IV (M°)	
1-2-3-4	6	<i>sup</i>	-22.0	+37.7	-52.8	+33.0	-44.0	+33.0	-33.0
		<i>inf</i>	2014		4014		4014		3014
		<i>inf</i>	2014	3014	2014	3014	2014	3014	2014
	1-5	<i>sup</i>	-26.7	+45.7	-64.0	+40.0	-53.3	+40.0	-20.4
		<i>inf</i>	2014		5014		4014		3014
		<i>inf</i>	2014	4014	2014	3014	2014	3014	2014
9-10-11-12	6	<i>sup</i>	-28.0	+48.0	-67.2	+42.0	-56.0	+42.0	-42.0
		<i>inf</i>	2014		5014		7018		6018
		<i>inf</i>	2014	4014	2014	4014	2018	6018	2018
	1-5	<i>sup</i>	-28.0	+48.0	-67.2	+42.0	-56.0	+42.0	-42.0
		<i>inf</i>	2014		5014		7018		6018
		<i>inf</i>	2014	4014	2014	4014	2018	6018	2018

File Edificio 2012.xls - foglio Travi

## Rilievo

I valori forniti dal progetto simulato sono utili per:

- Effettuare un riscontro con le dimensioni geometriche fornite da un dettagliato rilievo geometrico
- Programmare il piano di prove necessari, sapendo cosa ci si deve aspettare e quali elementi possono essere considerati ripetitivi
- Decidere se le prove fatte sono sufficienti, sulla base del maggior o minor riscontro con quanto previsto dal progetto simulato

## Confronto progetto simulato - rilievo

Pilastri: sezione e armature

piano	pilastro 1				pilastro 9				pilastro 17			
	progetto	rilievo	progetto	rilievo	progetto	rilievo	progetto	rilievo	progetto	rilievo	progetto	rilievo
	sezione	$A_s$	sezione	$A_s$	sezione	$A_s$	sezione	$A_s$	sezione	$A_s$	sezione	$A_s$
6	30x30	4Ø12			30x30	4Ø12	30x30	4Ø12	30x30	4Ø12		
5	30x30	4Ø12			30x30	4Ø12	30x30	4Ø12	30x30	4Ø12		
4	30x30	4Ø12			30x30	4Ø12			30x30	4Ø12		
3	30x30	4Ø12			30x30	4Ø14			30x30	4Ø12		
2	30x30	4Ø14			30x50	6Ø14			30x30	4Ø12		
1	30x40	6Ø14			30x50	6Ø14	30x50	6Ø14	30x30	4Ø14	40x30	6Ø14

piano	pilastri 2, 3, 4				pilastri 10, 11, 12				pilastri 18, 19, 20			
	progetto	rilievo	progetto	rilievo	progetto	rilievo	progetto	rilievo	progetto	rilievo	progetto	rilievo
	sezione	$A_s$	sezione	$A_s$	sezione	$A_s$	sezione	$A_s$	sezione	$A_s$	sezione	$A_s$
6	30x30	4Ø12			30x30	4Ø12	30x30	4Ø12	30x30	4Ø12		
5	30x30	4Ø12			30x30	4Ø12	30x30	4Ø14	30x30	4Ø12		
4	30x30	4Ø14	30x30	4Ø14	30x30	4Ø14	30x30	4Ø14	30x30	4Ø12		
3	40x30	6Ø14	40x30	6Ø14	40x30	6Ø14	40x30	6Ø14	30x30	4Ø12		
2	50x30	6Ø14	50x30	6Ø14	50x30	6Ø14	50x30	6Ø14	30x30	4Ø14		
1	60x30	6Ø14			60x30	6Ø14	60x30	6Ø14	40x30	6Ø14		

Nota: il 12 e 20 sono ruotati: 30x...

Discordanze progetto-rilievo

## Materiali

Valori ottenuti mediante prove

Calcestruzzo:

- Si ottiene dalle prove  $f_{cm} = 19 \text{ MPa}$   
(molto minore di quanto corrisponde a  $R_{ck} = 25 \text{ MPa}$ )

Acciaio:

- Si trovano barre ad aderenza migliorata;  
si ottiene dalle prove  $f_{ym} = 420 \text{ MPa}$   
(plausibile per un FeB38k)

Nota: nell'esempio sviluppato in anni precedenti si era assunto  $f_{cm} = 28 \text{ MPa}$ . Il valore è stato ora modificato perché è più realistico trovare calcestruzzo di qualità peggiore rispetto alle previsioni