

Corso di aggiornamento

Progettazione delle strutture antisismiche secondo le indicazioni del capitolo 10 delle NTC 2008: approfondimenti

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

3 - Esempio, progetto simulato e rilievo

Bologna

14-15 febbraio 2013

Aurelio Gherzi

# 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 <b>rilievo ex-novo completo</b>	Disegni costruttivi incompleti con <i>limitate</i> verifiche in situ <b>oppure</b> <b>estese verifiche in-situ</b>	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con <i>limitate</i> prove in-situ <b>oppure</b> <b>estese prove in-situ</b>

	Rilievo (dei dettagli costruttivi)	Prove (sui materiali)
Verifiche estese	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:

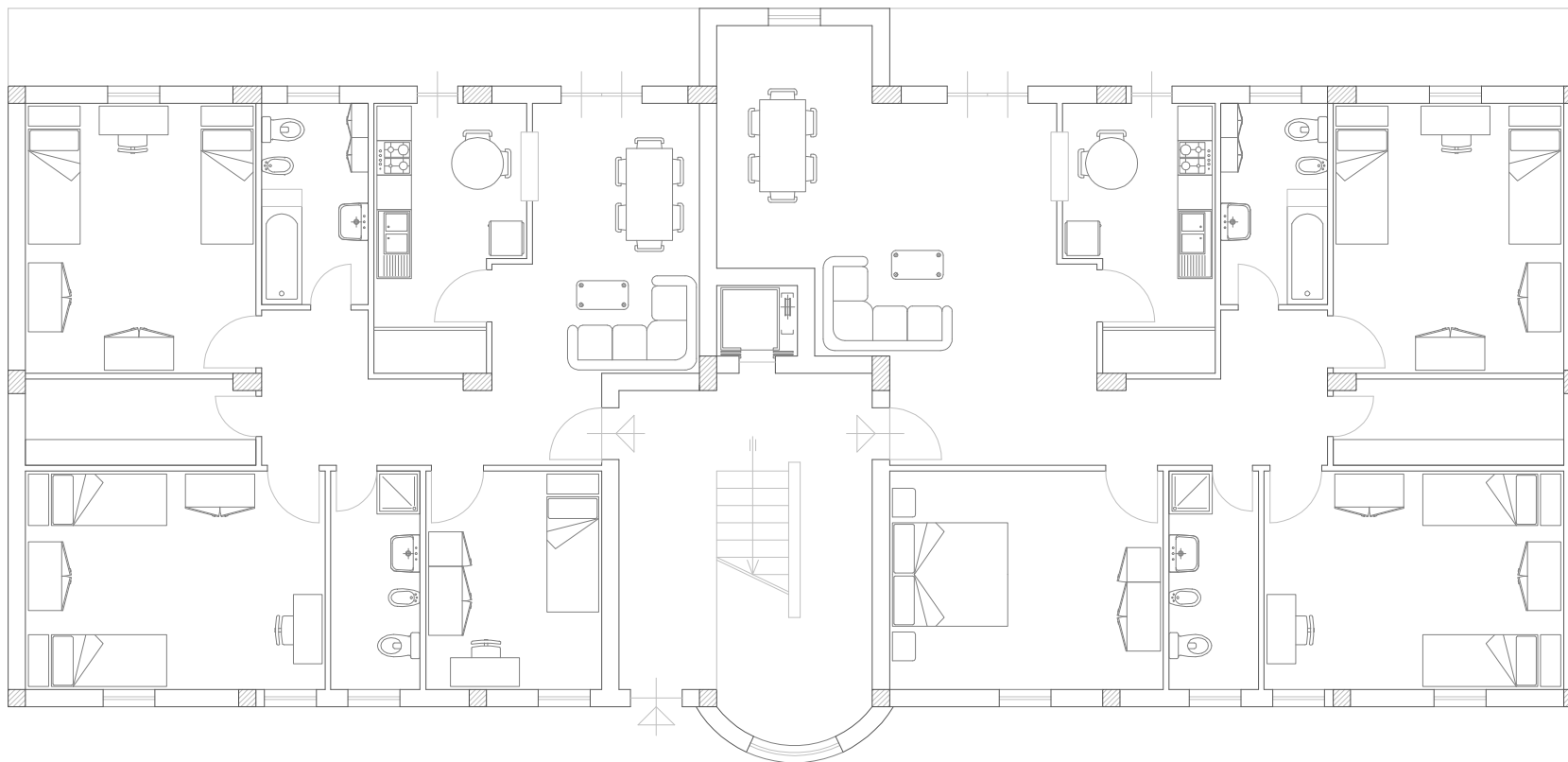
- Si fa un progetto simulato (per avere un'idea)
- Si fa un rilievo esteso

Materiali:

- Si fanno estese prove in situ

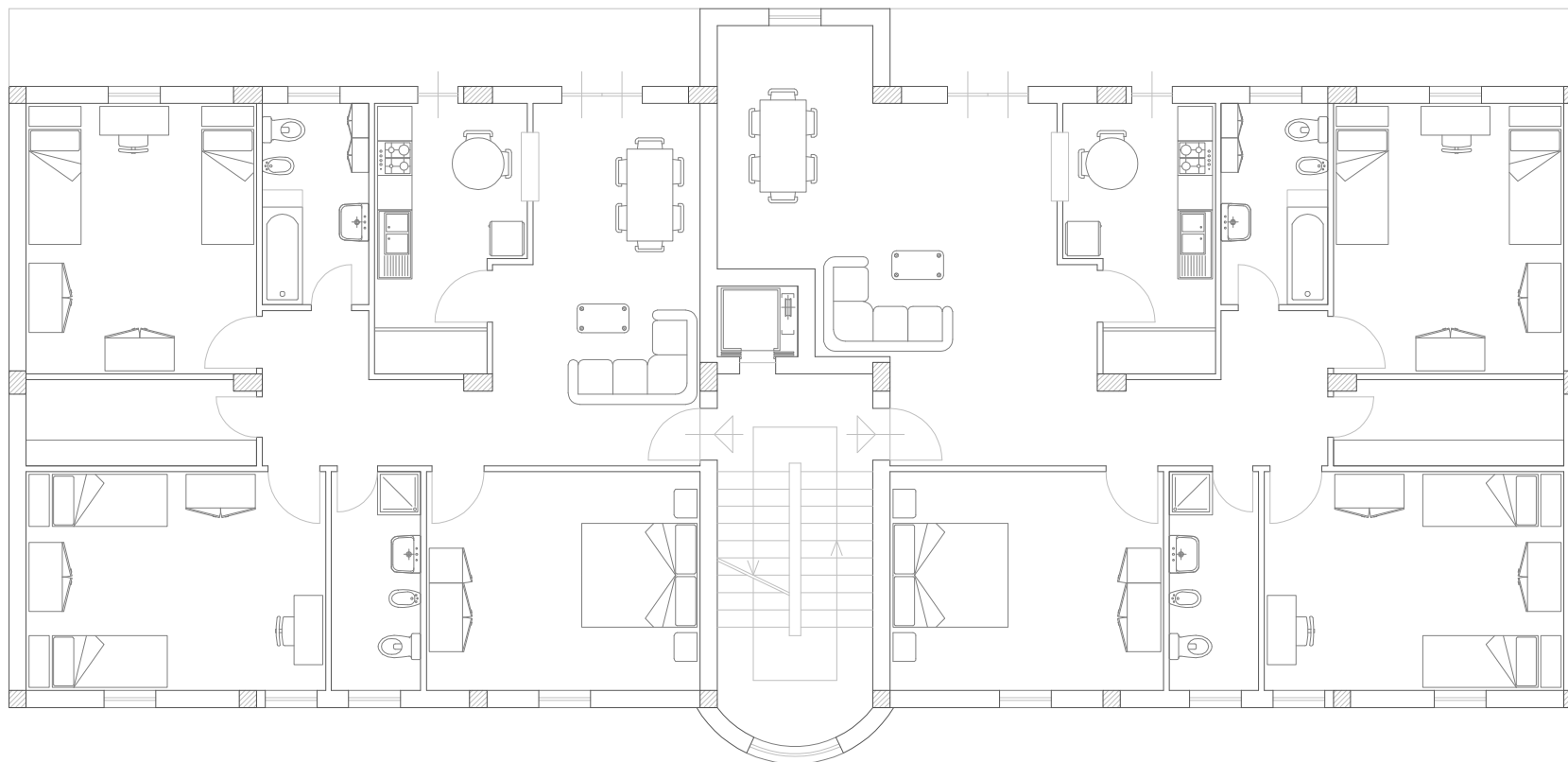
Grado di conoscenza: LC2

# Rilievo dell'edificio



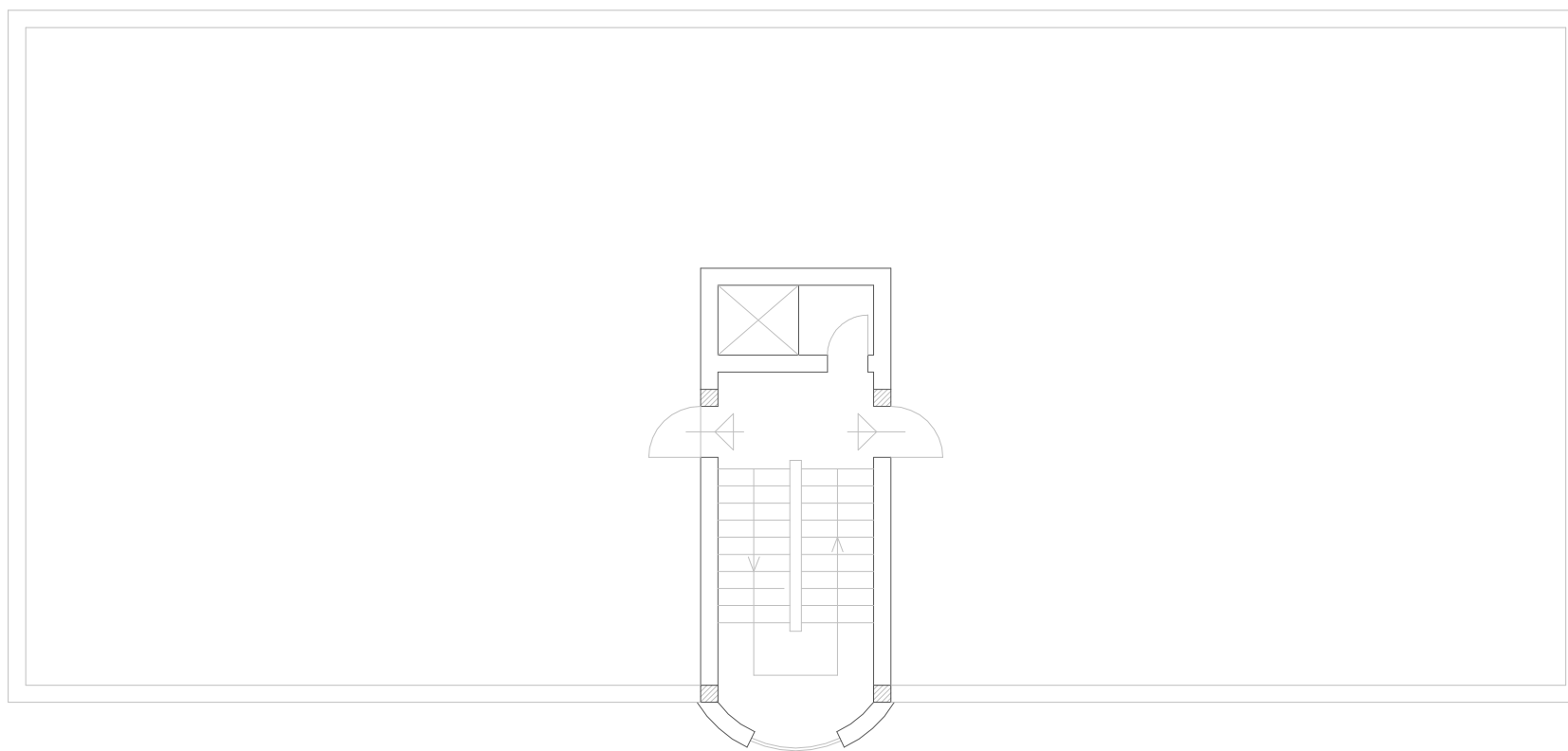
Piano terra

# Rilievo dell'edificio



Piano tipo

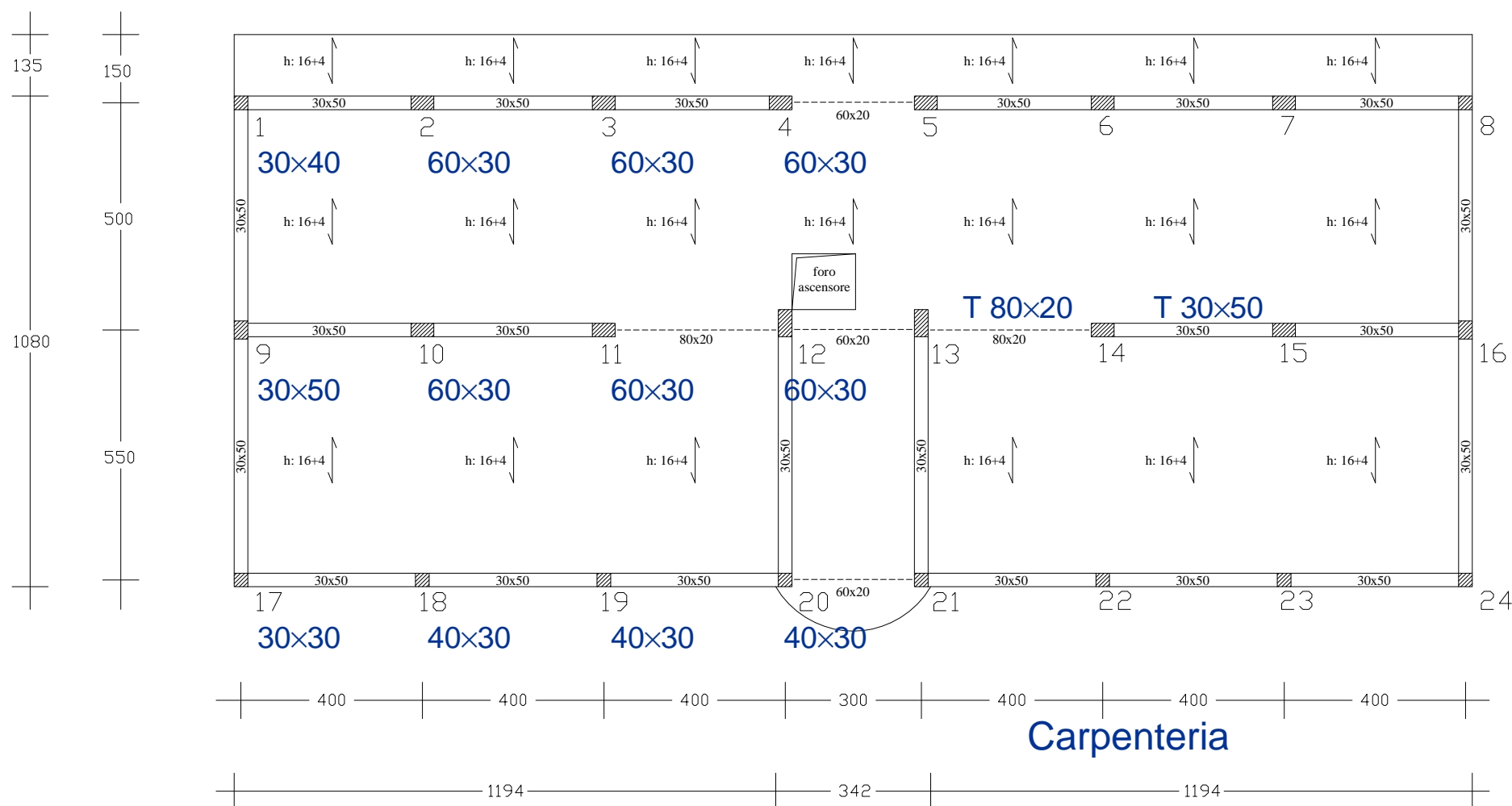
# Rilievo dell'edificio



Copertura



# Rilievo dell'edificio



# 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  
 $\bar{\sigma}_s = 215 \text{ MPa}$

## Valutati per area di influenza

		sism		5.6		5.2		3.5		7.0		0.06	%
		max		7.0		8.0		3.5		7.0		6.75	
				solaio		sbalzo		trave		tompagno	somma	pilastro	TOT
1	ultimo	sism	5	5.6	3	5.2	4.5	3.5	0.0	7.0	59.4	6.8	66.1
		max	5	7.0	3	8.0	4.5	3.5	0.0	7.0	74.8	6.8	81.5
	altri	sism	5	5.6	3	5.2	4.5	3.5	4.5	7.0	90.9	6.8	97.6
		max	5	7.0	3	8.0	4.5	3.5	4.5	7.0	106.3	6.8	113.0
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	126.4	7.6	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.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

# Progetto simulato

## Pilastri: sezione e armature

	1									
	N pia	N	Ac,nec	b	h	Ac	As,nec	n	fi	As
ultimo	81.5	81.5	126	30	30	900	2.7	4	12	4.5
5	113.0	194.5	300	30	30	900	2.7	4	12	4.5
4	113.0	307.5	474	30	30	900	2.8	4	12	4.5
3	113.0	420.5	648	30	30	900	3.9	4	12	4.5
2	113.0	533.5	823	30	30	900	4.9	4	14	6.2
1	113.0	646.5	997	30	40	1200	6.0	6	14	9.2

$$A_{c,nec} = \frac{N}{(1+n\rho)0.7\bar{\sigma}_c}$$

$$n = 15$$

$$\rho = 0.006$$

$$A_s = 0.006 A_{c,nec}$$

$$A_s = 0.003 A_c$$

	9									
	N pia	N	Ac,nec	b	h	Ac	As,nec	n	fi	As
ultimo	110.0	110.0	170	30	30	900	2.7	4	12	4.5
	150.3	260.3	401	30	30	900	2.7	4	12	4.5
	150.3	410.6	633	30	30	900	3.8	4	12	4.5
	150.3	560.9	865	30	30	900	5.2	4	14	6.2
	150.3	711.2	1097	30	40	1200	6.6	6	14	9.2
	150.3	861.5	1328	30	50	1500	8.0	6	14	9.2

	17									
	N pia	N	Ac,nec	b	h	Ac	As,nec	n	fi	As
ultimo	57.5	57.5	89	30	30	900	2.7	4	12	4.5
	89.0	146.5	226	30	30	900	2.7	4	12	4.5
	89.0	235.5	363	30	30	900	2.7	4	12	4.5
	89.0	324.5	500	30	30	900	3.0	4	12	4.5
	89.0	413.5	638	30	30	900	3.8	4	12	4.5
	89.0	502.5	775	30	30	900	4.6	4	14	6.2

File Edificio.xls - foglio Pilastri

# Progetto simulato

## Pilastri: sezione e armature

piano	pilastro 1				pilastro 9				pilastro 17			
	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	30×30	4Ø12			30×30	4Ø12	30×30	4Ø12	30×30	4Ø12		
5	30×30	4Ø12			30×30	4Ø12	30×30	4Ø12	30×30	4Ø12		
4	30×30	4Ø12			30×30	4Ø12			30×30	4Ø12		
3	30×30	4Ø12			30×30	4Ø14			30×30	4Ø12		
2	30×30	4Ø14			30×40	6Ø14			30×30	4Ø12		
1	30×40	6Ø14			30×50	6Ø14	30×50	6Ø14	30×30	4Ø14	40×30	6Ø14

piano	pilastri 2, 3, 4				pilastri 10, 11, 12				pilastri 18, 19, 20			
	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	30×30	4Ø12			30×30	4Ø12	30×30	4Ø12	30×30	4Ø12		
5	30×30	4Ø12			30×30	4Ø12	30×30	4Ø14	30×30	4Ø12		
4	30×30	4Ø14	30×30	4Ø14	30×30	4Ø14	30×30	4Ø14	30×30	4Ø12		
3	40×30	6Ø14	40×30	6Ø14	40×30	6Ø14	40×30	6Ø14	30×30	4Ø12		
2	50×30	6Ø14	50×30	6Ø14	50×30	6Ø14	50×30	6Ø14	30×30	4Ø14		
1	60×30	6Ø14			60×30	6Ø14	60×30	6Ø14	40×30	6Ø14		

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

Discordanze progetto-rilievo

# Progetto simulato

## Carico sulle travi

Valutato per area (larghezza) di influenza

		sism		5.6		5.2		3.5		7.0	
		max		7.0		8.0		3.5		7.0	
Trave				solaio		sbalzo		trave		tompagno	TOT
1...4	ultimo	sism	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	sism	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	sism	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	sism	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	sism	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	sism	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	sism	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	sism	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.xls - foglio Carichi tra imp

# Progetto simulato

## Travi

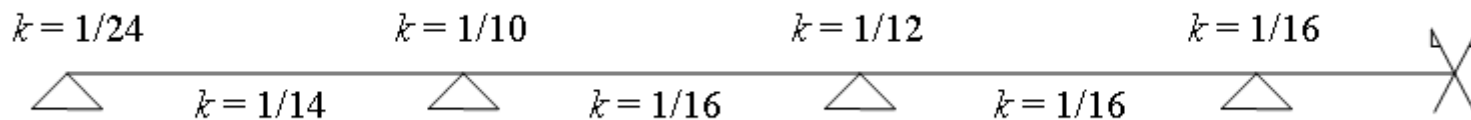
Carico [kN/m]

piano	trave 1-2-3-4	trave 9-10-11-12	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

$$M = \frac{q l^2}{k}$$



File Edificio.xls - foglio Carichi tra imp



# Progetto simulato

## Travi: momenti flettenti e armature

			luce		4.00		4.00		4.00	
				1		2		3		4
Trave				M-	M+	M-	M+	M-	M+	M-
1...4	ultimo	sism	25.3	16.9	28.9	40.5	25.3	33.7	25.3	25.3
		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
			fi	14	0	14	0	14	0	14
			n,inf	2	3	2	3	2	3	2
			fi	14	14	14	14	14	14	14
	altri	sism	32.3	21.5	36.9	51.7	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
			fi	14	0	14	0	14	0	14
			n,inf	2	4	2	3	2	3	2
			fi	14	14	14	14	14	14	14

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

File Edificio.xls - foglio Travi

# Progetto simulato

## Travi

### Armatura

Trave	Piano		I (M <sup>-</sup> )	(M <sup>+</sup> )	II (M <sup>-</sup> )	(M <sup>+</sup> )	III (M <sup>-</sup> )	(M <sup>+</sup> )	IV (M <sup>-</sup> )
1-2-3-4	6	M	-22.0	+37.7	-52.8	+33.0	-44.0	+33.0	-33.0
		sup	2Ø14		4Ø14		4Ø14		3Ø14
		inf	2Ø14	3Ø14	2Ø14	3Ø14	2Ø14	3Ø14	2Ø14
	1-5	M	-26.7	+45.7	-64.0	+40.0	-53.3	+40.0	-40.0
		sup	2Ø14		5Ø14		4Ø14		3Ø14
		inf	2Ø14	4Ø14	2Ø14	3Ø14	2Ø14	3Ø14	2Ø14
9-10-11-12	6	M	-28.0	+48.0	-67.2	+42.0	-56.0	+42.0	-42.0
		sup	2Ø14		5Ø14		7Ø18		6Ø18
		inf	2Ø14	4Ø14	2Ø14	4Ø14	2Ø18	6Ø18	2Ø18
	1-5	M	-28.0	+48.0	-67.2	+42.0	-56.0	+42.0	-42.0
		sup	2Ø14		5Ø14		7Ø18		6Ø18
		inf	2Ø14	4Ø14	2Ø14	4Ø14	2Ø18	6Ø18	2Ø18

# 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

# 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 precedenza 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