

Corso di aggiornamento  
Progettazione strutturale  
e Norme Tecniche per le Costruzioni

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

9 - Analisi lineare: verifica di resistenza - flessione

Imola  
16-18 maggio 2013  
Aurelio Ghersi

### Analisi lineare verifica di resistenza - flessione

Possibili modalità:

- Analisi elastica lineare con  $q$ 
  - Analisi tradizionale, ma con  $q$  basso (1.5-3.0) a meno che non si possa dimostrare che la struttura ha un buon comportamento duttile
- Analisi elastica lineare con determinazione della resistenza secondo le linee guida della Basilicata
  - Duttilità valutata per singolo elemento (con un  $\alpha_{dut}$ ) e tenendo conto del comportamento globale

### Analisi lineare con fattore di struttura $q$

### Analisi lineare (modale o statica) con fattore di struttura $q$

- Il calcolo è effettuato usando uno spettro di progetto per SLV ( $a_{g,10\%}$ ) ridotto col fattore di struttura  $q$
- Verifica = confronto sollecitazione-resistenza
- Per calcolare le sollecitazioni su elementi duttili si può usare  $q$  tra 1.5 e 3.0 (in base a regolarità, ecc.)
- Per calcolare la resistenza degli elementi duttili si usa  $f_m$  diviso FC (non diviso per  $\gamma_m$ )

### Analisi lineare (modale o statica) con fattore di struttura $q$

- È possibile limitarsi alla verifica, ma le forze sono molto elevate; è difficile che la verifica sia soddisfatta
- È possibile anche valutare il moltiplicatore  $\alpha_{SLV}$  dello spettro che porta al limite la sezione più sollecitata
- Meglio ancora: è possibile determinare il valore di  $p$  (o  $1/\rho$ ) per ciascuna sezione ed esprimere un giudizio sulla base di questi valori

Considerazioni:

- Il modello strutturale potrebbe includere anche tramezzi e tamponatore

### Determinazione della resistenza dei pilastri

- Il momento resistente dei pilastri dipende
    - Da sezione e armatura (definite)
    - Dalle caratteristiche dei materiali (valutate con riferimento ai valori medi, ridotti mediante il fattore di confidenza e senza riduzione per il coefficiente parziale  $\gamma_m$ )
- $$f_{cd} = \frac{\alpha f_{cm}}{FC} = \frac{0.85 \times 19}{1.2} = 13.46 \text{ MPa}$$
- $$f_{yd} = \frac{f_{ym}}{FC} = \frac{420}{1.2} = 350.0 \text{ MPa}$$
- Dallo sforzo normale agente (dovuto ai carichi verticali in presenza di sisma, più l'effetto del sisma)

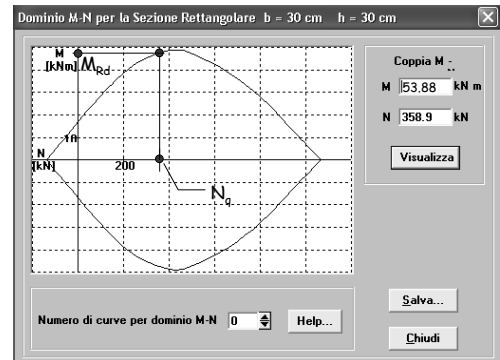
## Determinazione della resistenza dei pilastri

- Sezioni, armature, sforzi normali  $N_q$

pilastro	piano	Nq	b	h	n	n	fi	As
		tot						
1	6	66.1	30	30	4	2	12	2.26
1	5	153.7	30	30	4	2	12	2.26
1	4	261.3	30	30	4	2	12	2.26
1	3	358.9	30	30	4	2	12	2.26
1	2	456.5	30	30	4	2	14	3.08
1	1	556.4	40	30	6	3	14	4.62
2	6	108.0	30	30	4	2	12	2.26
2	5	244.0	30	30	4	2	12	2.26
2	4	380.0	30	30	4	2	12	2.26
2	3	518.2	30	40	6	2	14	3.08
2	2	658.7	30	50	6	2	14	3.08
2	1	801.4	30	60	6	2	14	3.08
3	6	108.0	30	30	4	2	12	2.26
3	5	244.0	30	30	4	2	12	2.26
3	4	380.0	30	30	4	2	12	2.26
3	3	518.2	30	40	6	2	14	3.08
3	2	658.7	30	50	6	2	14	3.08
3	1	801.4	30	60	6	2	14	3.08

File Edificio 2012.xls - foglio PilX (q)

## Determinazione della resistenza dei pilastri



## Determinazione della resistenza dei pilastri

- Momento resistente per  $N = N_q$

pilastro	piano	Nq	b	h	n	n	fi	As	Ns=0 MRd
		tot							
1	6	66.1	30	30	4	2	12	2.26	29.03
1	5	153.7	30	30	4	2	12	2.26	39.03
1	4	261.3	30	30	4	2	12	2.26	47.35
1	3	358.9	30	30	4	2	12	2.26	53.88
1	2	456.5	30	30	4	2	14	3.08	64.58
1	1	556.4	40	30	6	3	14	4.62	87.72
2	6	108.0	30	30	4	2	12	2.26	33.53
2	5	244.0	30	30	4	2	12	2.26	46.00
2	4	380.0	30	30	4	2	12	2.26	55.05
2	3	518.2	30	40	6	2	14	3.08	101.89
2	2	658.7	30	50	6	2	14	3.08	151.81
2	1	801.4	30	60	6	2	14	3.08	210.92
3	6	108.0	30	30	4	2	12	2.26	33.53
3	5	244.0	30	30	4	2	12	2.26	46.00
3	4	380.0	30	30	4	2	12	2.26	55.05
3	3	518.2	30	40	6	2	14	3.08	101.89
3	2	658.7	30	50	6	2	14	3.08	151.81
3	1	801.4	30	60	6	2	14	3.08	210.92

File Edificio 2012.xls - foglio PilX (q)

## Determinazione della resistenza dei pilastri

- Confronto sollecitazione - resistenza

pilastro	piano	momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	taglio (kN)	sforzo normale (kN)	Nq	b	h	n	n	fi	As	Ns=0 MRd	p	1/p	ag pl
		analisi modale	q=1, ag/pl	0.250												
1	6	89.92	-76.42	51.95	34.46	66.1	30	30	4	2	12	2.26	29.03	3.098	32.3%	0.081
1	5	154.46	-143.43	93.02	129.85	153.7	30	30	4	2	12	2.26	39.03	3.957	25.3%	0.063
1	4	200.86	-203.44	126.30	268.28	261.3	30	30	4	2	12	2.26	47.35	4.296	23.3%	0.058
1	3	173.36	-184.94	111.93	430.07	358.9	30	30	4	2	12	2.26	53.88	4.430	29.1%	0.073
1	2	166.28	-175.33	106.74	601.43	456.5	30	30	4	2	14	3.08	64.58	2.715	36.8%	0.092
1	1	125.16	-152.73	86.84	759.04	556.4	40	30	6	3	14	4.62	87.72	1.741	57.4%	0.144

Resistenza 53.88 kNm  
Sollecitazione 184.94 kNm

$$\rho = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{184.94}{53.88} = 3.432$$

$$\frac{1}{\rho} = 0.291 = 29.1\%$$

$$a_g = 0.291 \times 0.250 = 0.073 g$$

File Edificio 2012.xls - foglio PilX (q)

## Determinazione della resistenza dei pilastri

- Confronto sollecitazione - resistenza

pilastro	piano	momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	taglio (kN)	sforzo normale (kN)	Nq	b	h	n	n	fi	As	Ns=0 MRd	p	1/p	ag pl
		analisi modale	q=1, ag/pl	0.250												
1	6	89.92	-76.42	51.95	34.46	66.1	30	30	4	2	12	2.26	29.03	3.098	32.3%	0.081
1	5	154.46	-143.43	93.02	129.85	153.7	30	30	4	2	12	2.26	39.03	3.957	25.3%	0.063
1	4	200.86	-203.44	126.30	268.28	261.3	30	30	4	2	12	2.26	47.35	4.296	23.3%	0.058
1	3	173.36	-184.94	111.93	430.07	358.9	30	30	4	2	12	2.26	53.88	4.432	29.1%	0.073
1	2	166.28	-175.33	106.74	601.43	456.5	30	30	4	2	14	3.08	64.58	2.715	36.8%	0.092
1	1	125.16	-152.73	86.84	759.04	556.4	40	30	6	3	14	4.62	87.72	1.741	57.4%	0.144
2	6	130.59	-122.79	79.17	13.39	108.0	30	30	4	2	12	2.26	33.53	3.895	25.7%	0.084
2	5	215.70	-211.59	133.49	18.66	244.0	30	30	4	2	12	2.26	46.00	4.689	21.3%	0.053
2	4	263.48	-252.56	161.24	-30.36	380.0	30	30	4	2	12	2.26	55.05	4.787	20.9%	0.052
2	3	426.34	-393.12	255.99	-32.93	518.2	30	40	6	2	14	3.08	101.89	4.184	23.9%	0.060
2	2	514.65	-516.45	322.09	42.92	658.7	30	50	6	2	14	3.08	151.81	3.402	29.4%	0.073
2	1	363.79	-722.63	339.43	108.46	801.4	30	60	6	2	14	3.08	210.92	3.426	29.2%	0.073
3	6	131.59	-123.74	79.79	-16.42	76.8	30	30	4	2	12	2.26	30.21	4.357	23.0%	0.057
3	5	216.33	-211.60	133.72	-22.76	181.6	30	30	4	2	12	2.26	40.69	5.317	18.8%	0.047
3	4	273.67	-273.30	170.92	24.69	286.4	30	30	4	2	12	2.26	49.21	5.562	18.0%	0.045
3	3	230.12	-233.11	144.75	42.13	391.2	30	30	4	2	12	2.26	55.83	4.191	22.9%	0.046
3	2	194.72	-193.51	121.32	67.19	496.0	30	30	4	2	14	3.08	65.90	2.955	33.8%	0.085
3	1	234.61	-277.59	160.06	78.72	603.0	30	40	6	2	14	3.08	107.05	2.593	38.6%	0.096

Il minimo è  $\frac{1}{\rho} = 18.0\%$   $a_g = 0.045 g$

File Edificio 2012.xls - foglio PilX (q)

## Determinazione della resistenza dei pilastri

- Per tener conto anche di N da sisma

pilastro	piano	momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	taglio (kN)	sforzo normale (kN)	Nq	b	h	n	n	fi	As
		analisi modale	q=1, ag/pl	0.250								
1	6	89.92	-76.42	51.95	34.46	66.1	30	30	4	2	12	2.26
1	5	154.46	-143.43	93.02	129.85	153.7	30	30	4	2	12	2.26
1	4	200.86	-203.44	126.30	268.28	261.3	30	30	4	2	12	2.26
1	3	173.36	-184.94	111.93	430.07	358.9	30	30	4	2	12	2.26
1	2	166.28	-175.33	106.74	601.43	456.5	30	30	4	2	14	3.08
1	1	125.16	-152.73	86.84	759.04	556.4	40	30	6	3	14	4.62

Al variare di  $M_{s,max}$  varia anche  $N_s$

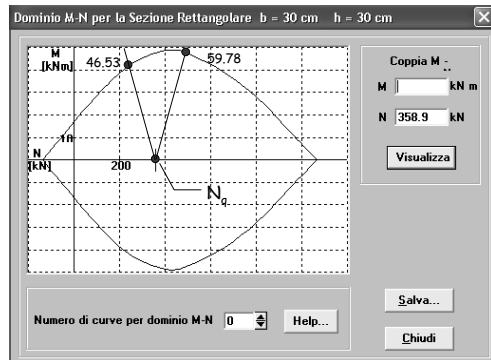
$$M_{s,max} \pm 184.94 \text{ kNm}$$

$$N_s \pm 430.07 \text{ kNm}$$

Varia di conseguenza anche la resistenza  $M_{Rd}$

File Edificio 2012.xls - foglio PilX (q)

## Determinazione della resistenza dei pilastri



## Determinazione della resistenza dei pilastri

- Momento resistente, anche con N da sisma

pilastro	piano	momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	taglio (kN)	sfuerzo normale (N)	N <sub>q</sub>	b	h	n	n <sub>tot</sub>	ξ	As	N <sub>q</sub> MRd	sioma + MRd	sioma - MRd
1	6	89.92	-76.42	51.95	34.46	66.1	30	30	4	2	12	2.26	29.03	27.84	30.31
1	5	154.46	-143.43	93.02	129.85	153.7	30	30	4	2	12	2.26	39.03	36.10	42.26
1	4	200.86	-203.44	126.30	268.28	261.3	30	30	4	2	12	2.26	47.35	45.45	50.45
1	3	173.36	-184.94	111.93	430.07	358.9	30	30	4	2	12	2.26	53.88	46.53	59.78
1	2	168.28	-175.33	126.74	681.43	498.5	30	30	4	2	14	3.08	64.58	54.42	65.45
1	1	125.16	-152.73	86.84	759.04	556.4	40	30	6	3	14	4.62	87.72	65.44	87.79

In qualche caso le differenze sono rilevanti, ma nel complesso non incidono molto

File Edificio 2012.xls - foglio PilX (q)

## Moltiplicatore del sisma che porta i pilastri al limite (direzione x)

pilastro	piano	N <sub>q</sub> MRd	ρ	1/ρ min	ag pl min	sioma + MRd	ag MRd	sioma - MRd	ag
1	6	29.03	3.098	32.3%	0.081	27.84	0.077	30.31	0.084
1	5	39.03	3.957	25.3%	0.063	36.10	0.058	42.26	0.068
1	4	47.35	4.296	23.3%	0.058	42.76	0.053	52.15	0.064
1	3	53.88	3.432	29.1%	0.073	46.53	0.063	59.78	0.081
1	2	64.58	2.715	36.8%	0.092	54.12	0.077	65.46	0.093
1	1	87.72	1.741	57.4%	0.144	65.44	0.107	87.79	0.144
2	6	33.53	3.895	25.7%	0.064	33.17	0.064	33.88	0.065
2	5	46.00	4.689	21.3%	0.053	45.69	0.053	46.32	0.054
2	4	55.05	4.787	20.9%	0.052	55.38	0.053	54.71	0.052
2	3	101.89	4.184	23.9%	0.060	102.44	0.060	101.34	0.059
2	2	151.81	3.402	29.4%	0.073	150.73	0.073	152.88	0.074
2	1	210.92	3.426	29.2%	0.073	207.79	0.072	214.00	0.074
19	6	30.21	4.357	23.0%	0.057	30.62	0.058	29.80	0.057
19	5	40.69	5.317	18.8%	0.047	41.08	0.047	40.30	0.047
19	4	49.21	5.562	18.0%	0.045	48.89	0.045	49.52	0.045
19	3	55.63	4.191	23.9%	0.060	55.11	0.059	56.13	0.060
19	2	65.90	2.955	33.8%	0.085	65.19	0.084	66.49	0.085
19	1	107.05	2.553	38.8%	0.098	105.42	0.095	108.52	0.098

Il valore minimo è 0.045 g (pilastro 19, quarto piano)

p=5.56

1/ρ=18.0%

Il risultato complessivo non cambia

File Edificio 2012.xls - foglio PilX (q)

## Moltiplicatore del sisma che porta i pilastri al limite (direzione y)

pilastro	piano	N <sub>q</sub> MRd	ρ	1/ρ min	ag pl min	sioma + MRd	ag MRd	sioma - MRd	ag
17	6	27.28	5.751	17.4%	0.043	26.34	0.042	28.27	0.045
17	5	36.01	5.846	17.1%	0.043	33.51	0.040	38.79	0.046
17	4	43.58	5.834	17.1%	0.043	39.59	0.039	47.92	0.047
17	3	49.92	5.431	18.4%	0.046	44.52	0.041	55.27	0.051
17	2	54.97	5.033	19.9%	0.050	48.44	0.044	59.98	0.054
17	1	64.73	2.681	37.3%	0.093	52.84	0.075	63.77	0.092
9	6	32.12	6.847	14.6%	0.037	32.05	0.036	32.19	0.037
9	5	44.68	6.913	14.5%	0.036	44.48	0.036	44.89	0.036
9	4	53.99	7.023	14.2%	0.036	53.71	0.035	54.27	0.036
9	3	65.84	5.695	17.6%	0.044	65.55	0.044	66.10	0.044
9	2	106.32	5.723	17.5%	0.044	107.71	0.043	108.89	0.044
9	1	159.70	4.433	22.6%	0.056	157.98	0.056	161.27	0.057
18	6	30.21	0.783	127.7%	0.319	29.07	0.307	31.41	0.332
18	5	40.69	1.227	81.5%	0.204	39.17	0.196	42.28	0.212
18	4	49.21	1.075	93.1%	0.233	46.76	0.221	51.67	0.244
18	3	55.63	0.822	121.6%	0.304	52.10	0.285	58.63	0.321
18	2	65.90	0.861	116.2%	0.290	62.96	0.277	67.31	0.297
18	1	89.73	1.532	65.3%	0.163	87.44	0.159	91.64	0.167

Il valore minimo è 0.036 g (pilastro 9, quarto piano)

p=7.02

1/ρ=14.2%

In direzione y la situazione è peggiore

Notare che i pilastri senza travi sono molto lontani dal limite

File Edificio 2012.xls - foglio PilX (q)

## Moltiplicatore del sisma che porta le travi al limite (direzione y)

Trave	impalcato		ρ	1/ρ
		per M <sub>p</sub> max	per M <sub>p</sub> min	per M <sub>p</sub> max
17-9	6	M sin 4.69	2.86	34.9%
		M des 3.41	2.02	49.4%
17-9	5	M sin 16.04	4.89	20.5%
		M des 4.32	3.35	29.8%
17-9	4	M sin 20.68	6.41	15.6%
		M des 5.73	4.32	23.1%
17-9	3	M sin 22.71	7.32	13.7%
		M des 6.47	4.69	21.3%
17-9	2	M sin 22.99	7.68	13.0%
		M des 8.64	5.90	16.9%
17-9	1	M sin 15.09	6.38	15.7%
20-12	6	M sin 4.48	2.99	33.4%
		M des 4.74	2.65	37.7%
20-12	5	M sin 15.64	5.16	19.4%
		M des 8.03	4.88	20.5%
20-12	4	M sin 20.97	6.83	14.6%
		M des 10.59	6.25	16.0%
20-12	3	M sin 24.71	8.38	11.9%
		M des 16.27	8.49	11.8%
20-12	2	M sin 24.83	8.83	11.3%
		M des 22.19	9.79	10.2%
20-12	1	M sin 25.28	7.87	12.7%
		M des 19.64	8.44	11.8%

Le travi in direzione y possono portare un sisma ancora più basso

Il limite è raggiunto sempre per momento negativo

Il valore minimo è 0.010 g (trave 20-12, primo piano)

p=25.3

1/ρ=4.0%

I valori sono così bassi perché le travi in direzione y non portano carichi verticali e hanno quindi armatura minima

File TelY-2012.xls - foglio Riepilogo travi

## Conclusioni

per analisi lineare con fattore di struttura

- La situazione è peggiore in direzione y (ma in x non sta molto meglio)
- Le travi (specialmente quelle in direzione y) si danneggiano quasi subito e sempre prima dei pilastri

ma questo è positivo, perché consente di usare un fattore di struttura maggiore

- Se ci si basa sul danneggiamento delle travi, anche considerando q=3 si deve assumere come valore di collasso

$$a_g = 3 \times 0.010 = 0.03 \text{ g (12.0\% di 0.25g)}$$

## Conclusioni

per analisi lineare con fattore di struttura

- La situazione è peggiore in direzione y (ma in x non sta molto meglio)
- Le travi (specialmente quelle in direzione y) si danneggiano quasi subito e sempre prima dei pilastri

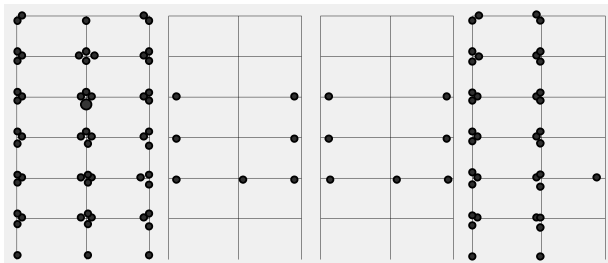
ma questo è positivo, perché consente di usare un fattore di struttura maggiore

- Se si accetta il danneggiamento delle travi (perché le si ritiene duttili) e ci si sofferma su quello dei pilastri, si può considerare  $q=3$  ed assumere come valore di collasso

$$a_g = 3 \times 0.036 = 0.108 \text{ g} \quad (42.6\% \text{ di } 0.25\text{g})$$

## Telai in direzione y

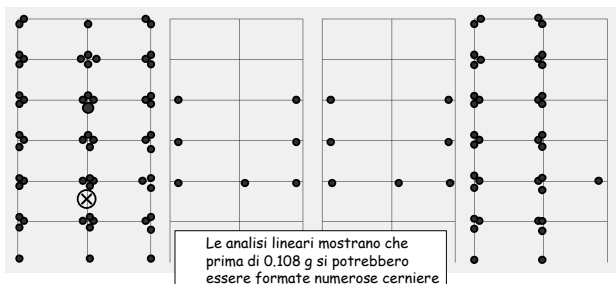
- La prima plasticizzazione nei pilastri avviene per  $p=7.0$  (14.2% di 0.25 g)



- Le analisi lineari mostrano che prima di 0.108 g si potrebbero essere formate numerose cerniere

## Telai in direzione y

- La prima plasticizzazione nei pilastri avviene per  $p=7.0$  (14.2% di 0.25 g)



x ma la rottura a taglio avviene per  $p=5.45$  (0.046 g, 18.3% di 0.25 g)

## Analisi lineare

Linee guida Basilicata, appendice D

## Valutazione della resistenza

- Si ipotizza un meccanismo di collasso di piano, con tutti i pilastri plasticizzati
- Si determina per ogni pilastro il corrispondente valore del taglio di collasso

$$V_{i,Rd} = \frac{M_{i,Rd}}{\alpha h_p}$$

$\alpha h_p$  = posizione del punto di nullo di M (in genere  $\alpha=0.5$ )

## Valutazione della resistenza

- Il taglio di collasso di ciascun pilastro viene ottenuto incrementando con un coefficiente di duttilità  $\alpha_{DUT}$ , che dipende dallo sforzo normale

$$\alpha_{DUT} = 3 \left[ 0.2 + 0.9 \left( 1 - \frac{\sigma_c}{f_c} \right)^{1.2} \right] \leq 3$$

$$\sigma_c = \frac{N_q}{A_c} \quad f_c = f_{cm} \quad \text{Più precisamente: diviso FC}$$

$$V_{i,COL} = \alpha_{DUT} V_{i,Rd}$$

## Valutazione della resistenza

- Il taglio totale di collasso di piano è somma dei contributi dei singoli pilastri, ridotto con coefficienti che tengono conto di
  - Presenza di piano sofficce
  - Irregolarità di resistenza
  - Irregolarità di rigidezza
  - Irregolarità di forma

Ad esempio: irregolarità di resistenza

per tener conto se la resistenza a taglio di un piano  $j$  è inferiore di quella al piano superiore  $j+1$  si usa il coefficiente riduttivo  $\rho_{1b}$

$$\rho_{1b} = 0.6 + 0.4 \frac{(V_{Rd} / V_{Ed})_j}{(V_{Rd} / V_{Ed})_{j+1}} \quad 0.8 \leq \rho_{1b} \leq 1$$

## Valutazione della resistenza

- Moltiplicatore di collasso - in realtà di DS, o SLV: determinato come rapporto tra taglio di collasso e taglio da sisma (calcolato per  $a_g = 1 g$ )

Considerazioni:

- l'analisi lineare con fattore di struttura  $q$  (1.5-3) si arresta quando un solo elemento raggiunge  $M_{Rd}$
- L'analisi secondo le linee guida della Basilicata somma il contributo di tutti i pilastri, ciascuno scalato con un suo "fattore di struttura"

## Valutazione della resistenza dei pilastri in direzione x

pilastro	piano	Nq	αDUT	b	h
1	6	66.1	3.000	30	30
1	5	163.7	2.995	30	30
1	4	261.3	2.815	30	30
1	3	358.9	2.637	30	30
1	2	456.5	2.462	30	30
1	1	556.4	2.532	40	30
2	6	108.0	3.000	30	30
2	5	244.0	2.847	30	30
2	4	380.0	2.599	30	30
2	3	518.2	2.583	30	40
2	2	658.7	2.572	30	50
2	1	801.4	2.562	30	60
3	6	108.0	3.000	30	30
3	5	244.0	2.847	30	30
3	4	380.0	2.599	30	30
3	3	518.2	2.583	30	40
3	2	658.7	2.572	30	50
3	1	801.4	2.562	30	60
4	6	108.0	3.000	30	30
4	5	244.0	2.847	30	30
4	4	380.0	2.599	30	30
4	3	518.2	2.583	30	40
4	2	658.7	2.572	30	50
4	1	801.4	2.562	30	60

$$\sigma_c = \frac{456.5 \times 10^3}{900 \times 10^2} = 5.07 \text{ MPa}$$

$$f_c = 19 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{DUT} = 3 \left[ 0.2 + 0.9 \left( 1 - \frac{5.07}{19} \right)^{1.2} \right] = 2.462$$

File Edificio.xls - foglio PilX (LG Bas)

## Valutazione della resistenza dei pilastri in direzione x

pilastro	piano	Nq	αDUT	b	h
1	6	66.1	3.000	30	30
1	5	163.7	2.995	30	30
1	4	261.3	2.815	30	30
1	3	358.9	2.637	30	30
1	2	456.5	2.462	30	30
1	1	556.4	2.532	40	30
2	6	108.0	3.000	30	30
2	5	244.0	2.847	30	30
2	4	380.0	2.599	30	30
2	3	518.2	2.583	30	40
2	2	658.7	2.572	30	50
2	1	801.4	2.562	30	60
3	6	108.0	3.000	30	30
3	5	244.0	2.847	30	30
3	4	380.0	2.599	30	30
3	3	518.2	2.583	30	40
3	2	658.7	2.572	30	50
3	1	801.4	2.562	30	60
4	6	108.0	3.000	30	30
4	5	244.0	2.847	30	30
4	4	380.0	2.599	30	30
4	3	518.2	2.583	30	40
4	2	658.7	2.572	30	50
4	1	801.4	2.562	30	60

Ns=0	MRd	V(MRd)	Vcoll
29.03	18.14	54.43	
39.03	24.40	73.07	
47.35	29.59	83.31	
53.88	33.68	89.81	
64.58	40.36	99.37	
87.72	54.83	136.82	
33.53	20.95	62.86	
46.00	28.75	81.85	
55.05	34.40	89.42	
101.89	63.68	164.52	
151.81	94.88	244.01	
210.92	131.83	337.71	
33.53	20.95	62.86	
46.00	28.75	81.85	
55.05	34.40	89.42	
101.89	63.68	164.52	
151.81	94.88	244.01	
210.92	131.83	337.71	

File Edificio.xls - foglio PilX (LG Bas)

## Valutazione della resistenza dei pilastri in direzione x

pilastro	piano	Ns=0	MRd	V(MRd)	Vcoll
1	6	29.03	18.14	54.43	
1	5	39.03	24.40	73.07	
1	4	47.35	29.59	83.31	
1	3	53.88	33.68	89.81	
1	2	64.58	40.36	99.37	
1	1	87.72	54.83	136.82	
2	6	33.53	20.95	62.86	
2	5	46.00	28.75	81.85	
2	4	55.05	34.40	89.42	
2	3	101.89	63.68	164.52	
2	2	151.81	94.88	244.01	
2	1	210.92	131.83	337.71	
3	6	33.53	20.95	62.86	
3	5	46.00	28.75	81.85	
3	4	55.05	34.40	89.42	
3	3	101.89	63.68	164.52	
3	2	151.81	94.88	244.01	
3	1	210.92	131.83	337.71	
4	6	33.53	20.95	62.86	
4	5	46.00	28.75	81.85	
4	4	55.05	34.40	89.42	
4	3	101.89	63.68	164.52	
4	2	151.81	94.88	244.01	
4	1	210.92	131.83	337.71	

$$54.43 + 62.86 + \dots = 733.24$$

Vres	Vcoll	p1b	ag coll
6	244.41	733.24	1.000
5	329.86	948.28	0.913
4	405.28	1073.69	0.986
3	588.95	1505.19	1.000
2	800.01	2004.87	1.000
1	1117.85	2907.94	1.000

$$\frac{733.24}{744.56} \times 0.25 \times \rho_{1b} = 0.246$$

Vsisma	
6	744.56
5	1285.37
4	1635.89
3	1911.24
2	2167.15
1	2291.83

$$a_{g,COL} = 0.162 g$$

File Edificio.xls - foglio PilX (LG Bas)

## Valutazione della resistenza dei pilastri in direzione y

pilastro	piano	Nq	αDUT	b	h
17	6	50.5	3.000	30	30
17	5	132.5	3.000	30	30
17	4	214.5	2.901	30	30
17	3	296.5	2.751	30	30
17	2	378.5	2.602	30	30
17	1	460.5	2.455	30	30
9	6	94.6	3.000	30	30
9	5	227.7	2.877	30	30
9	4	360.8	2.634	30	30
9	3	493.9	2.395	30	30
9	2	629.3	2.434	30	40
9	1	766.9	2.455	30	50
1	6	66.1	3.000	30	30
1	5	163.7	2.995	30	30
1	4	261.3	2.815	30	30
1	3	358.9	2.637	30	30
1	2	456.5	2.462	30	30
1	1	556.4	2.532	30	40
18	6	76.8	3.000	30	30
18	5	181.6	2.962	30	30
18	4	286.4	2.769	30	30
18	3	391.2	2.579	30	30
18	2	496.0	2.392	30	30
18	1	603.0	2.469	40	30

Ns=0	MRd	V(MRd)	Vcoll
27.28	17.95	51.15	
36.01	22.51	67.53	
43.58	27.24	79.02	
49.92	31.20	85.82	
54.97	34.35	89.38	
64.73	40.46	99.31	
32.12	20.07	60.22	
44.68	27.93	80.34	
53.99	33.74	88.87	
65.84	41.15	98.57	
108.32	67.70	164.80	
159.70	99.81	245.08	
29.03	18.14	54.43	
39.03	24.40	73.07	
47.35	29.59	83.31	
53.88	33.68	89.81	
64.58	40.36	99.37	
104.41	65.26	165.23	
30.21	18.88	56.63	
40.69	25.43	75.33	
49.21	30.75	85.16	
55.63	34.77	89.66	
65.90	41.19	96.50	
89.73	56.08	136.49	

File Edificio.xls - foglio PilY (LG Bas)

## Valutazione della resistenza dei pilastri in direzione y

- Attenzione:  
ha senso considerare il contributo (plastico) dei  
pilastri senza travi?

## Valutazione della resistenza dei pilastri in direzione y

pilastro piano		N <sub>g</sub> =0 MRd	V(MRd)	V <sub>coll</sub>
17	6	27.28	17.05	51.15
17	5	36.01	22.51	67.53
17	4	43.58	27.24	79.02
17	3	49.92	31.20	85.82
17	2	54.97	34.35	89.38
17	1	64.73	40.46	99.31
9	6	32.12	20.07	60.22
9	5	44.68	27.93	80.34
9	4	53.99	33.74	88.87
9	3	65.84	41.15	98.57
9	2	108.32	67.70	164.80
9	1	159.70	99.81	245.08
1	6	29.03	18.14	54.43
1	5	39.03	24.40	73.07
1	4	47.35	29.59	83.31
1	3	53.88	33.68	88.81
1	2	64.58	40.36	99.37
1	1	104.41	65.26	165.23
18	6	30.21	18.88	56.63
18	5	40.69	25.43	75.33
18	4	49.21	30.75	85.16
18	3	55.63	34.77	89.66
18	2	65.90	41.19	98.50
18	1	89.73	56.08	138.49

	V <sub>res</sub>	V <sub>coll</sub>	p1b	ag <sub>coll</sub>
6	244.41	733.24	1.000	0.244
5	329.86	948.28	0.95	0.248
4	405.28	1073.69	1.000	0.248
3	548.21	1400.80	1.000	0.283
2	678.44	1693.22	1.000	0.295
1	901.25	2254.61	1.000	0.365

$$a_{g,COL} = 0.248 g$$

ma per questo  $a_g$  i pilastri  
senza trave non sono  
plasticizzati

		momento sup. (kNm)	momento inf. (kNm)	N <sub>g</sub> =0 MRd
18	3	45.73	-43.60	55.63

File Edificio.xls - foglio PiY (LG Bas)

## Valutazione della resistenza dei pilastri in direzione y

- Attenzione:  
ha senso considerare il contributo (plastico) dei  
pilastri senza travi?

In questo caso non è corretto.  
Si può tener conto del contributo elastico (non  
plastico) dei pilastri senza travi

## Valutazione della resistenza dei pilastri in direzione y

	pil con travi	pil senza travi
6	504.74	49.03
5	721.60	171.53
4	877.68	203.30
3	1022.34	216.90
2	1187.34	246.35
1	1192.46	351.30

	ag	V <sub>agl</sub>	V <sub>res</sub>	V <sub>coll</sub>	V <sub>coll</sub>	p1b	ag <sub>coll</sub>
6	0.145	28.37	97.36	292.09	320.46	1.000	0.145
5	0.122	83.48	131.09	381.54	465.01	0.935	0.122
4	0.124	100.98	161.09	435.95	536.93	1.000	0.124
3	0.129	112.06	206.86	528.20	640.27	1.000	0.129
2	0.147	144.69	281.78	697.36	842.05	1.000	0.147
1	0.218	386.41	418.90	1040.09	1346.50	1.000	0.218

$$a_{g,COL} = 0.122 g$$

Ho considerato come taglio di collasso il  $V_{coll}$  dei pilastri con travi  
più il taglio da sisma dei pilastri senza travi, per il valore di  $a_g$   
che porta al collasso (necessità di procedere iterativamente)

File Edificio.xls - foglio PiY (LG Bas)

## Conclusioni

per analisi lineare secondo le linee guida Basilicata

- Si può ritenere che il moltiplicatore di collasso sia  
 $a_g = 0.122 g$   
raggiunto per sisma in direzione y
- Nell'analisi tradizionale con fattore di struttura  
avevamo ottenuto  $a_g = 0.108 g$ , pur assumendo  $q=3$
- ... ma in ogni caso la rottura a taglio avviene  
per  $a_g = 0.046 g$