

Catania, 22 febbraio - 29 marzo 2007
Corso di aggiornamento sul calcolo agli stati limite e
sulle nuove normative tecniche

Edifici antisismici con struttura in cemento armato: schemi di carico

Catania, 6 marzo 2007
Aurelio Ghersi

Processo progettuale

- ✓ 1. Concezione generale della struttura, nel rispetto di principi base di buona progettazione
- ✓ 2. Impostazione della carpenteria dell'edificio
- ✓ 3. Dimensionamento delle sezioni e verifica di massima della struttura
4. Analisi strutturale dettagliata e verifica del comportamento della struttura
5. Definizione delle armature ed elaborati grafici

Analisi strutturale: fasi di lavoro

1. Definizione dei carichi unitari
2. Valutazione delle masse di piano
3. Valutazione delle forze orizzontali (nel caso di analisi statica)
4. Valutazione dei carichi sulle travi
5. Definizione degli schemi di carico (schemi base e loro combinazione)

Vecchie norme: quali schemi di carico?

Schemi base:

- Q = Carichi verticali (eventualmente a scacchiera)
- F_x = Sisma in direzione x (analisi statica o modale)
- F_y = Sisma in direzione y (analisi statica o modale)

Combinazioni di carico:

- $Q \pm F_x$
- $Q \pm F_y$

Nuove norme: cosa cambia?

Carichi verticali - occorre distinguere tra:

- Carichi verticali in assenza di sisma q_{max}
(valori caratteristici incrementati con γ)
- Carichi verticali in presenza di sisma q_{min}
(valori quasi permanenti, cioè valori caratteristici dei carichi permanenti e valori ridotti dei carichi variabili)

Nuove norme: cosa cambia?

Sisma in una direzione - occorre considerare:

- Carichi variabili uniformemente distribuiti (centro di massa nella posizione nominale, come nelle vecchie norme)
- Carichi variabili disposti eccentricamente (centro di massa spostato di una quantità detta eccentricità accidentale)

Eccentricità accidentale

"Quale che sia il modello adottato, in aggiunta alla eccentricità effettiva dovrà essere considerata un'eccentricità accidentale che tenga conto della incertezza relativa all'effettiva posizione del centro di massa"

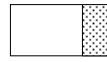
"In aggiunta all'eccentricità effettiva, dovrà essere considerata un'eccentricità accidentale e_{ai} , spostando il centro di massa di ogni piano i , in ogni direzione considerata, di una distanza pari a $\pm 5\%$ della dimensione massima del piano in direzione perpendicolare all'azione sismica"

D.M. 14/9/05, punto 5.7.4.2

Ordinanza 3431, punto 4.4

Eccentricità accidentale Perché il 5% ?

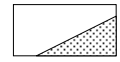
Se si applica il carico variabile massimo su un'area pari a ψ_2 x area totale si ottiene un'eccentricità nettamente minore



$$e_{a1} = 0.021 L_1$$



$$e_{a2} = 0.021 L_2$$



$$e_{a1} = 0.015 L_1$$
$$e_{a2} = 0.015 L_2$$

Il valore 0.05 è maggiore, per tener conto di:

- amplificazione della rotazione per effetti dinamici
- rotazione per lo sfasamento dell'onda sismica da un estremo all'altro dell'edificio

Eccentricità accidentale Come tenerne conto?

Effettuando più volte l'analisi modale, considerando il centro di massa spostato di una quantità pari a e_a

oppure

Considerando le forze statiche applicate al centro di massa spostato di una quantità pari a e_a

ovvero

Considerando l'effetto di coppie pari alle forze statiche per l'eccentricità e_a

Eccentricità accidentale Come tenerne conto?

Preferisco questa impostazione perché così:

- riduco il numero di schemi base di calcolo da controllare
- giudico più facilmente l'effetto della eccentricità accidentale
- evito di accentuarne l'effetto (l'eccentricità e_a è già amplificata per tener conto di effetti dinamici)

Considerando l'effetto di coppie pari alle forze statiche per l'eccentricità e_a

Nuove norme: cosa cambia?

Sisma in una direzione - occorre considerare:

- Carichi variabili uniformemente distribuiti (centro di massa nella posizione nominale, come nelle vecchie norme)
- Carichi variabili disposti eccentricamente (centro di massa spostato di una quantità detta eccentricità accidentale)

Occorre inoltre considerare:

- Combinazione delle diverse componenti del sisma (1 verticale, 2 orizzontali)

Combinazione delle componenti del sisma

"Le componenti orizzontali e verticali dell'azione sismica saranno prese come agenti simultaneamente e dovranno essere opportunamente combinate"

D.M. 14/9/05, punto 5.7.4.3

La componente verticale

"L'azione sismica verticale dovrà essere obbligatoriamente considerata nei casi seguenti: presenza di elementi a mensola ...

L'analisi sotto azione sismica verticale potrà essere limitata a modelli parziali comprendenti gli elementi indicati "

Si noti però che l'accelerazione verticale massima di calcolo (allo SLU) sarà pari a $1,8 \times 0,25 g$, cioè porta ad incrementare del 45% i carichi verticali $g_k + \psi_2 q_k$ ottenendo valori inferiori a $g_d + q_d$ di solito trascurabile !

Ordinanza 3431, punto 4.6

Le componenti orizzontali

"I valori massimi della risposta ottenuti da ciascuna delle due azioni orizzontali applicate separatamente potranno essere combinati sommando, ai massimi ottenuti per l'azione applicata in una direzione, il 30% dei massimi ottenuti per l'azione applicata nell'altra direzione"

Ordinanza 3431, punto 4.6

Nuove norme: cosa cambia?

Sisma in una direzione - occorre considerare:

- Carichi variabili uniformemente distribuiti (centro di massa nella posizione nominale, come nelle vecchie norme)
- Carichi variabili disposti eccentricamente (centro di massa spostato di una quantità detta eccentricità accidentale)

Occorre inoltre considerare:

- Sisma in due direzioni contemporaneamente (100% del massimo in una, 30% nell'altra)

Quante combinazioni di carico?

In assenza di sisma:

- schema base, col carico verticale massimo ($g_d + q_d$) su tutte le campate di trave
- eventuali altri schemi col carico variabile a scacchiera
Nota: l'effetto del carico variabile a scacchiera può essere stimato in maniera approssimata

Con le vecchie norme l'effetto dei soli carichi verticali era compreso tra i valori dovuti a $q \pm F$

Ora invece no, perché in presenza di sisma i carichi verticali sono ridotti

Quante combinazioni di carico?

In presenza di sisma:

- 1 • carico verticale con valore ridotto ($g_k + \psi_2 q_k$) su tutte le campate di trave
- 2 • forze sismiche (statiche o modali) in direzione x / y
- 4 • verso delle forze sismiche: positivo / negativo
- 8 • eccentricità accidentale: positiva / negativa
- 16 • forze in una direzione più 0.3 forze nell'altra direzione, prese col segno: positivo / negativo
- 32 • eccentricità nell'altra direzione: positiva / negativa

Azione sismica principale	segno	eccentricità	Azione sismica secondaria	eccentricità	N° comb.
E_x	+	$+e_y$	$+0.3 E_y$	$+e_x$	1
			$-0.3 E_y$	$-e_x$	2
			$+0.3 E_y$	$+e_x$	3
			$-0.3 E_y$	$-e_x$	4
		$-e_y$	$+0.3 E_y$	$+e_x$	5
			$-0.3 E_y$	$-e_x$	6
			$+0.3 E_y$	$+e_x$	7
			$-0.3 E_y$	$-e_x$	8
	-	$+e_y$	$+0.3 E_y$	$+e_x$	9
			$-0.3 E_y$	$-e_x$	10
			$+0.3 E_y$	$+e_x$	11
			$-0.3 E_y$	$-e_x$	12
		$-e_y$	$+0.3 E_y$	$+e_x$	13
			$-0.3 E_y$	$-e_x$	14
			$+0.3 E_y$	$+e_x$	15
			$-0.3 E_y$	$-e_x$	16
E_y	+	$+e_x$	$+0.3 E_x$	$+e_y$	17
			$-0.3 E_x$	$-e_y$	18
			$+0.3 E_x$	$+e_y$	19
			$-0.3 E_x$	$-e_y$	20
		$-e_x$	$+0.3 E_x$	$+e_y$	21
			$-0.3 E_x$	$-e_y$	22
			$+0.3 E_x$	$+e_y$	23
			$-0.3 E_x$	$-e_y$	24
	-	$+e_x$	$+0.3 E_x$	$+e_y$	25
			$-0.3 E_x$	$-e_y$	26
			$+0.3 E_x$	$+e_y$	27
			$-0.3 E_x$	$-e_y$	28
		$-e_x$	$+0.3 E_x$	$+e_y$	29
			$-0.3 E_x$	$-e_y$	30
			$+0.3 E_x$	$+e_y$	31
			$-0.3 E_x$	$-e_y$	32

Tante combinazioni di carico... Come gestirle?

Risultati dettagliati per tutte le combinazioni di carico? (NO)

Una montagna di valori (e di carta) che nessuno avrà mai il coraggio di esaminare
(inoltre: che senso ha per me giudicare l'effetto di, ad esempio, $q - F_x + e_{ay} - 0.3 F_y - e_{ax}$?)

Inviluppo dei risultati di tutte le combinazioni di carico? (NO)

Mi dice solo se la verifica è soddisfatta o no; ma come capire il comportamento della struttura?

Tante combinazioni di carico... Come gestirle?

Risultati dettagliati degli schemi base, più involuppo dei risultati di tutte le combinazioni di carico? (SI)

Dai risultati di ciascuno schema base posso capire il comportamento della struttura

L'inviluppo mi fornisce il giudizio complessivo

Schemi base suggeriti:

1. carichi verticali max (senza sisma)
2. carichi verticali min (con sisma)
3. forze in direzione x (statiche o modali)
4. forze in direzione y (statiche o modali)
5. eccentricità accidentale per forze in dir. x
6. eccentricità accidentale per forze in dir. y

coppie (statiche) ←

Come deve procedere il progettista o chi controlla?

- Esaminare i risultati di ogni schema base (sia spostamenti orizzontali che caratteristiche di sollecitazione)
- Discutere criticamente il comportamento della struttura per questo schema
- Giudicare quanto questo schema è influente sul comportamento complessivo
- Confrontare i risultati ottenuti con quelli previsti con modellazioni più semplici

Schemi base 1 e 2 carichi verticali max e min

- Spostamenti orizzontali: poco rilevanti (devono essere piccoli)
- Momenti flettenti: confrontare con i valori ricavati con formule semplici ($q l^2 / 10$ o simili)
- Sforzi normali: confrontare con i valori ricavati per aree d'influenza

Schemi base 3 e 4 forze orizzontali (o analisi modale)

- Importanza fondamentale degli spostamenti orizzontali
- Per analisi statica: spostamenti prodotti dalle forze nelle due direzioni
 - spostamenti analoghi nelle due direzioni o molto diversi?
 - solo traslazione, rotazione dell'impalcato modesta oppure forte?stimare e controllare il periodo

Schemi base 3 e 4 forze orizzontali (o analisi modale)

- Importanza fondamentale degli spostamenti orizzontali
- Per analisi modale: deformate modali, periodi, masse partecipanti involuppo delle deformate modali, per le due direzioni del sisma
 - spostamenti analoghi nelle due direzioni o molto diversi?
 - solo traslazione, rotazione dell'impalcato modesta oppure forte?

Schemi base 3 e 4 forze orizzontali (o analisi modale)

- Controllo delle caratteristiche della sollecitazione
- Per analisi statica e modale:
 - momenti flettenti
 - corrispondono alle previsioni?
 - sforzi normali
 - sono molto rilevanti?

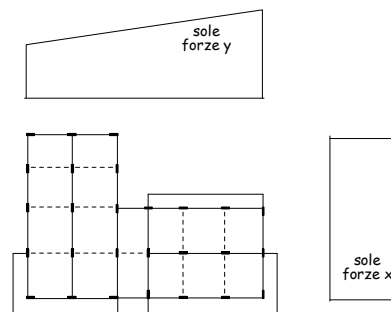
Schemi base 5 e 6 coppie per eccentricità accidentale

- Il controllo potrebbe basarsi (quasi) esclusivamente sul controllo degli spostamenti
 - le caratteristiche di sollecitazione variano in proporzione agli spostamenti
 - quanto sono grandi gli spostamenti indotti dalle coppie, rispetto a quelli indotti dalle forze?
 - la loro distribuzione è analoga a tutti i piani?

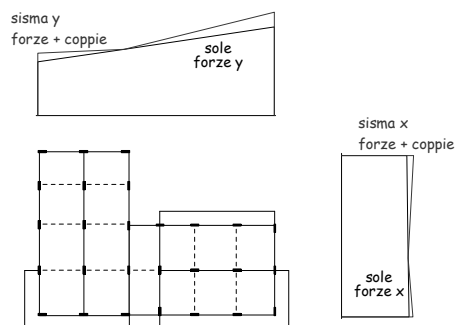
Effetto contemporaneo delle due componenti del sisma

- Il controllo potrebbe basarsi (quasi) esclusivamente sul controllo degli spostamenti
 - quanto sono grandi gli spostamenti indotti in una direzione dal sisma agente nell'altra direzione (eccentricità inclusa)?

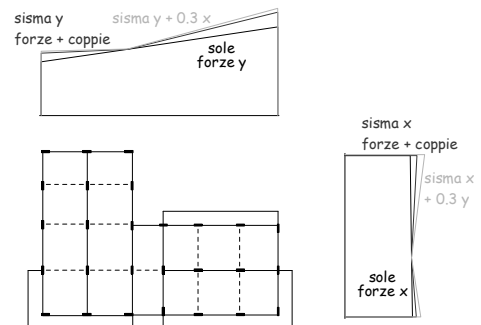
Esempio (qualitativo)



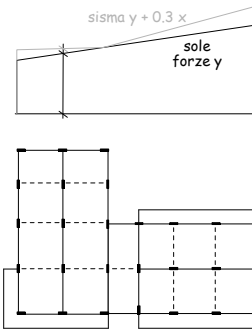
Esempio (qualitativo)



Esempio (qualitativo)



Esempio (qualitativo)



Notare:

Eccentricità accidentale e sisma nella direzione ortogonale portano sostanzialmente un incremento di spostamento e quindi di forze sul singolo telaio

Ragionando con tali forze incrementate si può tornare al consueto approccio $q \pm F$

Esempio momento flettente per schemi di carico base

II impalcato

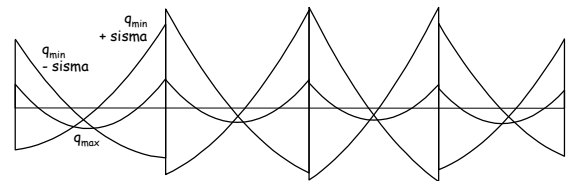
	q max	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)
22	-63.56	-36.45	-1.21	137.78	-5.61	-8.38
15	-78.57	-45.44	1.42	-166.82	6.78	10.14
15	-76.24	-43.89	-1.72	206.51	-8.39	-12.54
8	-76.26	-43.95	1.71	-203.05	8.25	12.33
8	-66.85	-38.48	-1.83	215.60	-8.76	-13.10
5	-62.76	-36.25	1.83	-217.12	8.82	13.19
5	-52.84	-30.60	-1.58	182.71	-7.43	-11.11
2	-47.40	-27.23	1.30	-146.08	5.95	8.89

Esempio momento flettente

II impalcato

	q max	q min	Fx	Fy	M(Fx)	M(Fy)	sisma x	sisma y	y+0.3 x
22	-63.56	-36.45	-1.21	137.78	-5.61	-8.38	-6.82	146.16	148.21
15	-78.57	-45.44	1.42	-166.82	6.78	10.14	8.20	-176.95	-179.41
15	-76.24	-43.89	-1.72	206.51	-8.39	-12.54	-10.11	219.05	222.08
8	-76.26	-43.95	1.71	-203.05	8.25	12.33	9.96	-215.38	-218.37
8	-66.85	-38.48	-1.83	215.60	-8.76	-13.10	-10.59	228.70	231.88
5	-62.76	-36.25	1.83	-217.12	8.82	13.19	10.65	-230.30	-233.50
5	-52.84	-30.60	-1.58	182.71	-7.43	-11.11	-9.01	193.81	196.52
2	-47.40	-27.23	1.30	-146.08	5.95	8.89	7.25	-154.97	-157.14

Esempio diagramma del momento flettente



FINE

Tratto da
Teramo2006-07
Teramo2006-08
Teramo2006-09

Per questa presentazione:
coordinamento A. Gherzi
realizzazione A. Gherzi
ultimo aggiornamento 5/03/2007