

# MARIA GIULIA DELLI COLLI

## RIPARTIZIONE FORZE SISMICHE

Determinare la reazione elastica di ogni controvento che è eguale ed opposta alla forza orizzontale che tramite il solaio viene attribuita al singolo controvento.

Tecnologia Cemento Armato e tipologia dei controventi "telai Shear-Type".

Prendiamo in considerazione un generico edificio a L ad un solo piano con il solaio abbastanza rigido nel suo piano (al di fuori del quale si inflette) la cui struttura è composta da telai piani, ossia da un insieme di travi e pilastri allineati sopra un piano verticale. Questi elementi oltre a trasmettere i carichi verticali alle fondazioni, possono svolgere il ruolo di controventi poiché sono in grado di sopportare le azioni orizzontali grazie alla loro elasticità. In termini meccanici un controvento nel piano dell'impalcato è un appoggio cedevole elasticamente, ovvero vincola la mobilità dell'impalcato deformandosi elasticamente.

I controventi possono essere schematizzati come molle.

1. Disegnare la pianta strutturale dell'edificio preso come riferimento ed individuare i telai che compongono la struttura.

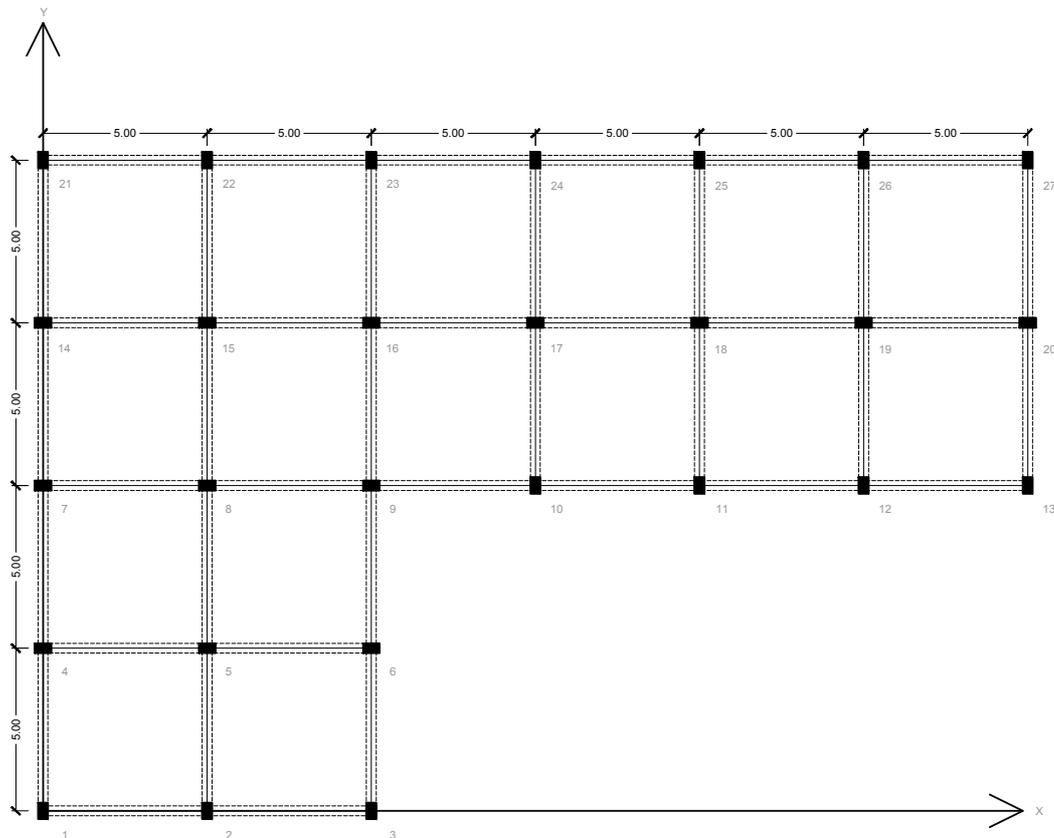


Figura 01

7 telai paralleli all'asse y (verticale) e 5 telai paralleli all'asse x (orizzontale).

Telaio 1v : composto da pilastri 1,4,7,14,21

Telaio 2v : composto da pilastri 2,5,8,15,22

Telaio 3v : composto da pilastri 3,6,9,16,23

Telaio 4v : composto da pilastri 10,17,24

Telaio 5v : composto da pilastri 11,18,25

Telaio 6v : composto da pilastri 12,19,26

Telaio 7v : composto da pilastri 13,20,27

Telaio 1o : composto da pilastri 1,2,3

Telaio 2o : composto da pilastri 4,5,6

Telaio 3o : composto da pilastri 7,8,9,10,11,12,13

Telaio 4o : composto da pilastri 14,15,16,17,18,19,20

Telaio 5o : composto da pilastri 21,22,23,24,25,26,27

2. Controventi schematizzati nel piano dell'impalcato come molle.

Passo ora all'inserimento dei dati nei vari STEP su Excel.

**STEP 1 : calcolo delle rigidezze traslanti dei controventi dell'edificio.**

La rigidezza traslante, ossia quella che lega  $F$  e  $\delta$ , di un portale semplice (due ritti) nel caso di un telaio Shear-Type è:

$$k = (24EI/h^3)$$

Generalizzando, possiamo dire che la rigidezza traslante di un telaio Shear-Type composto da  $n$  pilastri è pari a:

$$k = \frac{12E}{h^3} \sum_{i=1}^n I_i$$

con,

$h$ , altezza pilastri;

$E$ , modulo elastico del calcestruzzo;

$I$ , momento di inerzia;

DATI:

-  **$h : 3.20 \text{ m}$**

Considerando una classe di resistenza del calcestruzzo C25/30 :

$$E_{cm} = 22000 (f_{cm} / 710)^{0,3} \text{ [Mpa]}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ Mpa}$$

-  **$E : 3147,6 \text{ [N/mm}^2\text{]}$**

Considerando pilastri 30x50

-  $I_x : 312500 \text{ [cm}^4\text{]} ; I_y : 112500 \text{ [cm}^4\text{]}$

Ogni ritto contribuirà alla rigidezza traslante del telaio con un contributo pari a:

$$12 EI \delta / h^3$$

### STEP 2 : tabella sinottica controventi e distanze.

In questa tabella vengono riportate riassuntivamente le rigidezze di tutti i controventi , orizzontali e verticali, calcolate nello STEP1.

Oltre alle rigidezze vengono riportate anche le distanze dei diversi controventi dal punto O, origine di un sistema di riferimento scelto da noi.

Ogni campata dello schema dell'edificio che sto considerando è di 5x5 m.

### STEP 3 : calcolo del centro di massa.

Per calcolare il centro di massa di questa forma a L suddivido l'impalcato in figure elementari, come ad esempio il rettangolo ed indico i centri di massa e l'area di ognuna di queste figure.

Il centro di massa e il centro di area dell'impalcato coincidono in quanto la densità di massa dell'impalcato che sto considerando è uniforme su tutto l'impalcato.

Suddividendo la forma a L in figure elementari si vengono a creare due rettangoli di area uguale, ovvero 200mq.

Il centro di massa della figura a L si troverà quindi a metà dei due centri di massa dei rettangoli.

Generalizzando, possiamo dire che il centro di massa di un impalcato composto da n figure assume la seguente espressione:

$$x_G = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot x_{Gi}}{A_{tot}}$$
$$y_G = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot y_{Gi}}{A_{tot}}$$

( $X_G$ : 12.5 ;  $Y_G$ : 12.5, Figura 03)

#### STEP 4 : calcolo del centro di rigidezze e delle rigidezze globali.

Vengono calcolate  $K_{o\_tot}$ , somma delle rigidezze dei singoli controventi orizzontali, e  $K_{v\_tot}$ , somma delle rigidezze dei singoli controventi verticali e le coordinate del centro delle rigidezze dell'impalcato e la rigidezza torsionale totale.

Generalizzando ,le coordinate del centro di rigidezza formalmente analoghe alle coordinate del centro di massa, sono:

$$x_C = \frac{\sum_{i=1}^n k_{vi} \cdot d_{vi}}{k_{v\_tot}}$$

$$y_C = \frac{\sum_{i=1}^n k_{oi} \cdot d_{oi}}{k_{o\_tot}}$$

(XC: 13.84 ; YC: 11.91, Figura 03)

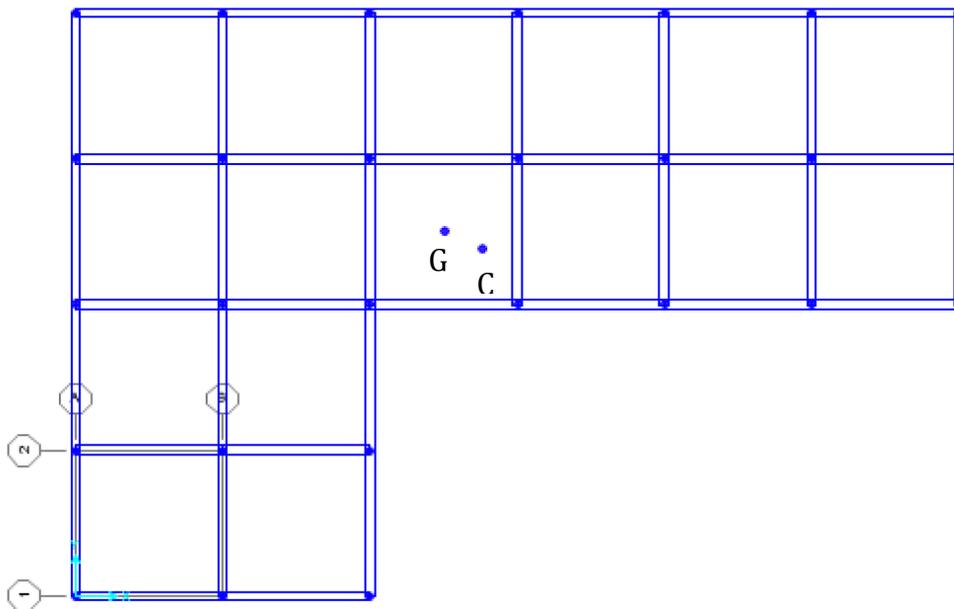


Figura 03

La rigidezza torsionale si ricava calcolando tutte le distanze dei diversi controventi da C ( $dd_{v1\_}, dd_{v2\_}, \dots, dd_{o1\_}, \dots$ ), per poter applicare la formula che segue:

$$k_{\varphi} = \sum_i k_{vi} \cdot dd_{vi}^2 + \sum_i k_{oi} \cdot dd_{oi}^2$$

( $K_{\varphi} = 87295293.58$ )

## STEP 5 : analisi dei carichi sismici.

Si effettua l'analisi dei carichi sismici per ricavare la forza sismica che agisce nel centro di massa.

ANALISI DEI CARICHI							
CARICO	ELEMENTO	H (m)	b (m)	N elementi/m <sup>2</sup>	(kN/mc) (Tab 3.1.I)	TOT parziale (kN/mq)	
G1	Travetti ( Cemento armato)	0.2	0.12	2	25	1.20	4.21
	Caldana ( Cemento armato)	0.05	1	1	25	1.25	
	Pignatte (Laterizio)	0.2	0.4	2	11	1.76	
G2	Pavimento (Piastrelle)		1	1	/	0.40	2.08
	Impermeabilizzazione (bitume polimero)		1	1	/	0.3	
	Massetto (LecaMix)	0.06	1	1	11.77	0.71	
	Sottofondo alleggerito (LecaCem)	0.06	1	1	5.88	0.35	
	Isolante	0.06	1	1	0.35	0.02	
	Intonaco	0.015	1	1	20	0.30	
Qk	Categoria H1 (Tab 3.1.II)					0.5	0.5

**G1:** 4,21 carico permanente [kN/mq]

**G2 :** 2,08 carico permanente non strutturale [kN/mq]

**Qk :** 0,5 carico accidentale [kN/mq]

Il carico totale permanente G e il carico totale accidentale Q si calcolano:

$$G = (G1+G2) \cdot Atot$$

$$Q = Qk \cdot Atot$$

( **G** = 2804 kN ; **Q** = 200 kN)

In accordo con le norme tecniche per le costruzioni (NTC2008), utilizziamo la combinazione sismica per calcolare i pesi sismici.

$$W = G + \psi 2j \cdot Q$$

con

$\psi 2j$  , coefficiente di contemporaneità, il cui valore è indicato nella Tabella 2.5.I della norma NTC2008.

Il valore scelto di  $\psi 2j$  è 0,3.

( **W** = 2864 kN )

Il peso sismico  $W$ , espresso in kN, rappresenta la forza peso dell'edificio, data dal prodotto tra la massa dell'edificio e l'accelerazione di gravità.

Poiché il sisma ha un'accelerazione mediamente più piccola dell'accelerazione di gravità, può essere introdotto un coefficiente di intensità sismica  $c$ , che tenga conto della sismicità del luogo di progettazione dell'edificio.

$$F = W c$$

Il valore scelto di  $c$  è 0,150 – 0,175 in base alla localizzazione dell'edificio che stiamo analizzando.

$$(F = 429,6 \text{ kN})$$

### STEP 6 : ripartizione forza sismica lungo X.

Si considera la forza sismica che agisce in direzione  $x$ . L'impalcato potrebbe subire una traslazione orizzontale ed una rotazione rigida.

### STEP 7 : ripartizione forza sismica lungo Y.

Si considera la forza sismica che agisce in direzione  $y$ . L'impalcato potrebbe subire una traslazione verticale ed una rotazione rigida.

I valori degli spostamenti  $u, v, \varphi$  :

#### - spostamento orizzontale

$$u = \frac{F}{k_{o\_tot}}$$

#### - spostamento verticale

$$v = \frac{F}{k_{v\_tot}}$$

#### - rotazione

$$\varphi = \frac{M}{k_{\varphi}}$$

Una volta ricavati i valori dei gradi di libertà, possiamo ricavare la forza sui singoli controventi nei due casi di carico.

Quando la forza è parallela all'asse  $x$  ( STEP 6 ), la reazione elastica dei controventi orizzontali sarà:

$$F_{o\_n} = k_{o\_n} (u + \varphi \cdot d_{do\_n})$$

mentre in quelli verticali sarà:

$$F_{v\_n} = k_{v\_n} \cdot \varphi \cdot d_{dv\_n}$$

Quando la forza è parallela all'asse  $y$  ( STEP 7 ), la reazione elastica dei controventi verticali sarà:

$$F_{v\_n} = k_{v\_n} (v + \varphi \cdot d_{dv\_n})$$

mentre in quelli orizzontali sarà:

$$F_{o_n} = k_{o_n} \cdot \varphi \cdot d_{do_n}$$

## SAP 2000 (ESERC 2)

Una volta creato il modello su SAP 2000 sono state definite e assegnate le sezioni agli elementi.

I pilastri, alla cui base è stato assegnato il vincolo "incastro", sono orientati in modo coerente con lo STEP 1 di Excel.

In seguito è stato disegnato un punto (centro di massa dell'impalcato) di coordinate 12,5; 12,5; 3,2.

A tutti i punti che appartengono all'impalcato è stato assegnato un vincolo interno "constraints, Diaphragm".

Per far sì che il telaio abbia il comportamento di un telaio Shear-Type il valore dell'inerzia delle travi è stata aumentata. Il valore inserito è 100000.

Una volta definiti i Load Pattern al centro di massa è stata assegnata la forza sismica (FX= 429,6 kN, FY = -429,6 kN) nella direzione X e Y ricavata nello STEP 5.

Facendo partire l'analisi noto che l'impalcato nelle due direzioni trasla e ruota.

Successivamente disegno un nuovo punto (centro delle rigidezze) ricavato nello STEP4 di coordinate 13,84; 11,91; 3,2.

Applico al punto la forza sismica in direzione X e Y e facendo partire l'analisi noto che l'impalcato nelle due direzioni trasla soltanto.

## MODIFICA AL CENTRO DELLE RIGIDENZE. (ESERC 2 CR SPOST)

Come sappiamo il centro di area dipende dalla forma dell'edificio. Cio' sui cui posso lavorare è quindi il centro di rigidezze.

La posizione di C (centro di rigidezze) risulta essere rispetto al centro di massa (G) più in basso e più a destra.

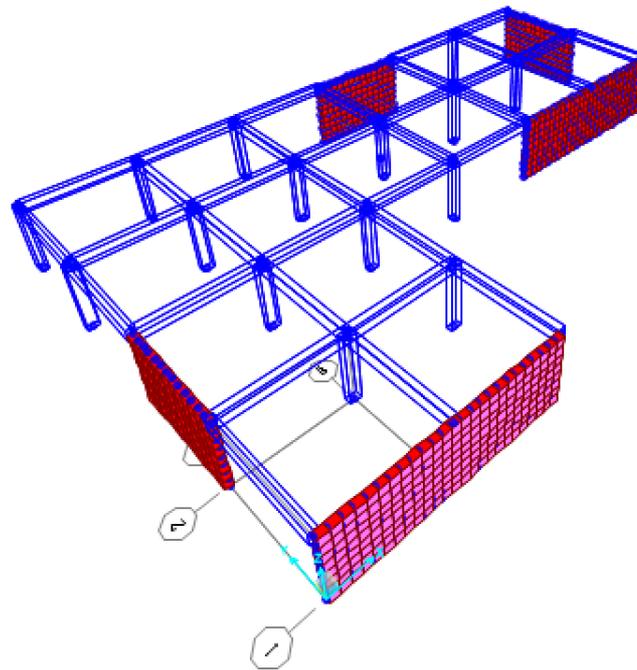
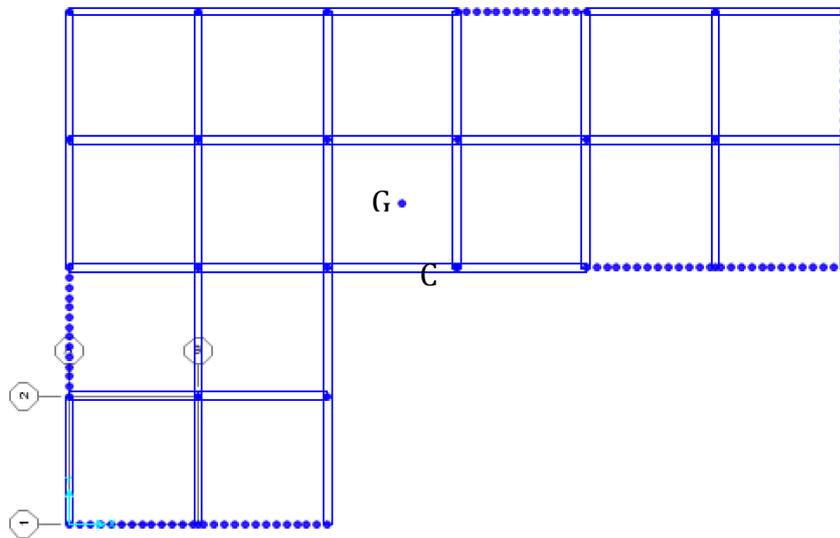
Per modificare la posizione X dovrò lavorare sulle rigidezze verticali aumentando quelle più a sinistra e diminuendo quelle più a destra. Cambio quindi la direzione dei pilastri 5,8,15,16 in modo tale da avere ora un'inerzia di 312500 cm<sup>4</sup>. Modifico la direzione del pilastro 27 in modo tale da avere un'inerzia di 112500 cm<sup>4</sup>.

Per modificare la posizione Y dovrò lavorare sulle rigidezze orizzontali aumentando quelle più in alto e diminuendo quelle più in basso.

Riporto nelle tabelle dei controventi orizzontali le modifiche dei pilastri 5,8,15,16 con inerzia quindi di 112500 cm<sup>4</sup>. Cambio poi la direzione del pilastro 27 in modo tale da avere un'inerzia di 312500 cm<sup>4</sup>.

Il centro delle rigidezze ha ora coordinate di  $x = 12,33$ ;  $y = 12,43$  . Applico su SAP la forza al centro di massa e noto che la rotazione è minore rispetto alla situazione precedente.

### SETTI (ESERC 2 SETTI)



La tabella di Excel è stata poi compilata tendendo in considerazione una struttura come l'immagine sopra riportata.

Il centro di rigidezza **C** si trova però distante dal centro di massa **G** per cui la struttura così pensata subisce traslazioni e rotazioni nelle due direzioni considerando una forza sismica che agisce in direzione  $F_x$  e  $F_y$  .

Bisognerebbe quindi pensare diversamente i setti in modo da far sì che il centro di rigidezza sia vicino al centro di massa.