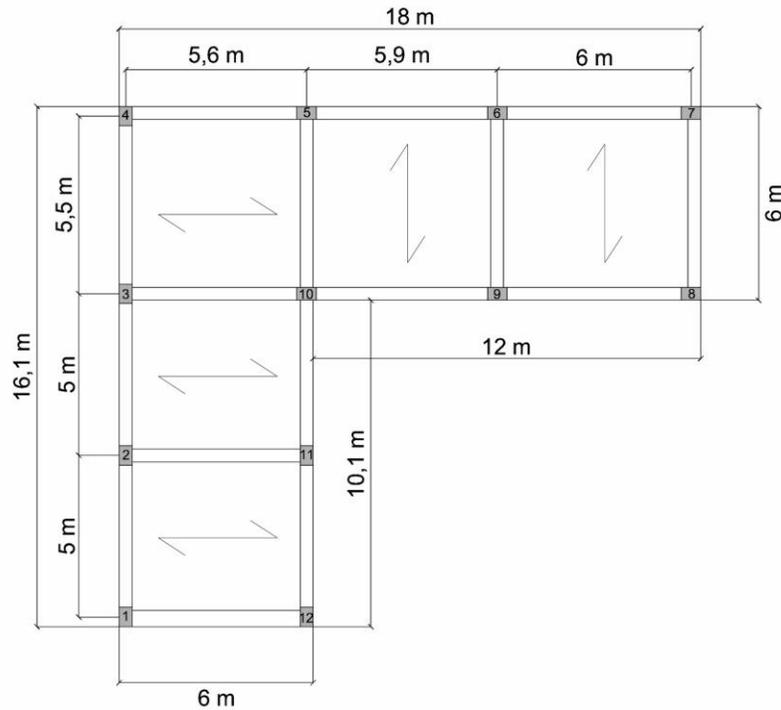
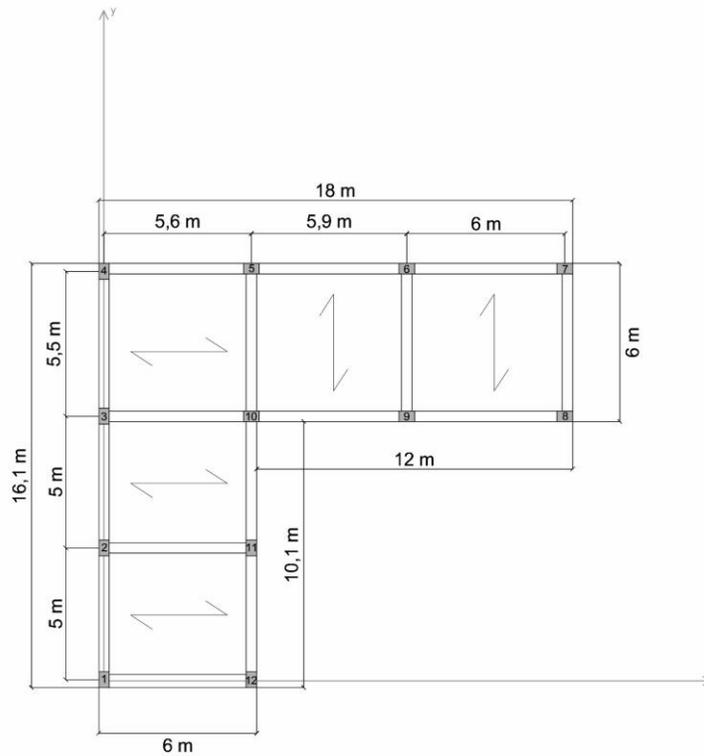


Questa esercitazione richiede il calcolo di come viene ripartita una forza orizzontale (sisma, vento) in un impalcato che ho ipotizzato. Sarà dimostrato anche il metodo su come trovare il centro d'area ed il centro delle rigidezze.



L'impalcato che andremo ad analizzare è di un edificio ipotizzato di telai piani in cls armato con controventi di modello Shear Type - un modello che garantisce che i pilastri sono vincolati dalla rotazione.



Dalla figura di sopra possiamo individuare 5 telai orizzontali lungo l'asse x e 4 verticali lungo l'asse y.

Telaio 1v composto da: Pilastri 1,2,3,4

Telaio 2v composto da: Pilastri 12,11,10,5

Telaio 3v composto da: Pilastri 6,9

Telaio 4v composto da: 7,8

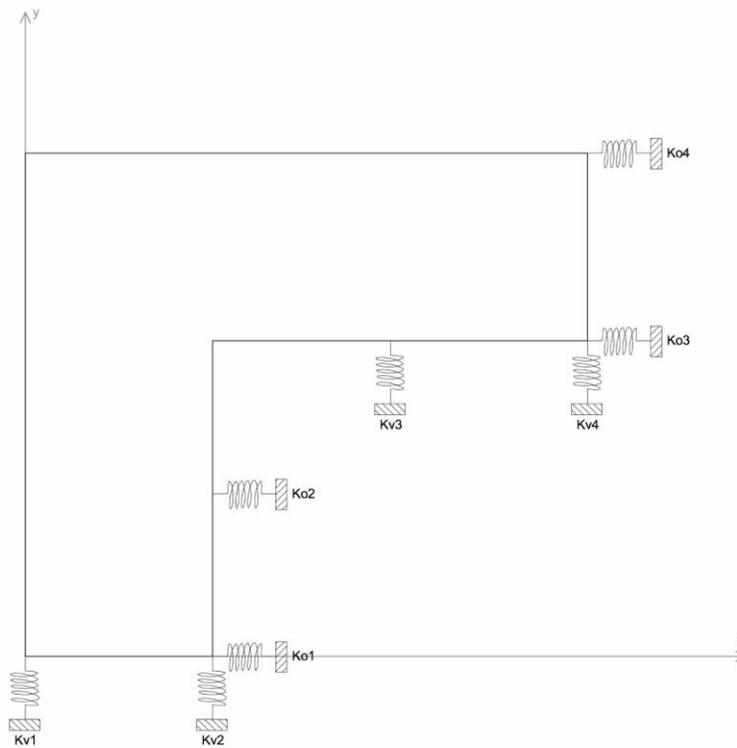
Telaio 1o composto da: 1,12

Telaio 2o composto da: 2,11

Telaio 3o composto da: 3,10,9,8

Telaio 4o composto da: 4,5,6,7

Per indicare che i controventi sono vincoli cedevoli elasticamente, vengono rappresentati come molle, aventi la loro adeguata rigidezza.



Le rigidezze di un modello Shear Type si calcola:

$$F = (12EI_1 / h^3 + 12EI_2 / h^3) \delta$$

$$F = k \delta$$

$$k = 12EI_1 / h^3 + 12EI_2 / h^3$$

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

Dove E è il modulo elastico del cls armato (21000 MPa) ed I è il momento d'inerzia che vale, a seconda di come è disposto il pilastro:

$$I_x = bh^3 / 12$$

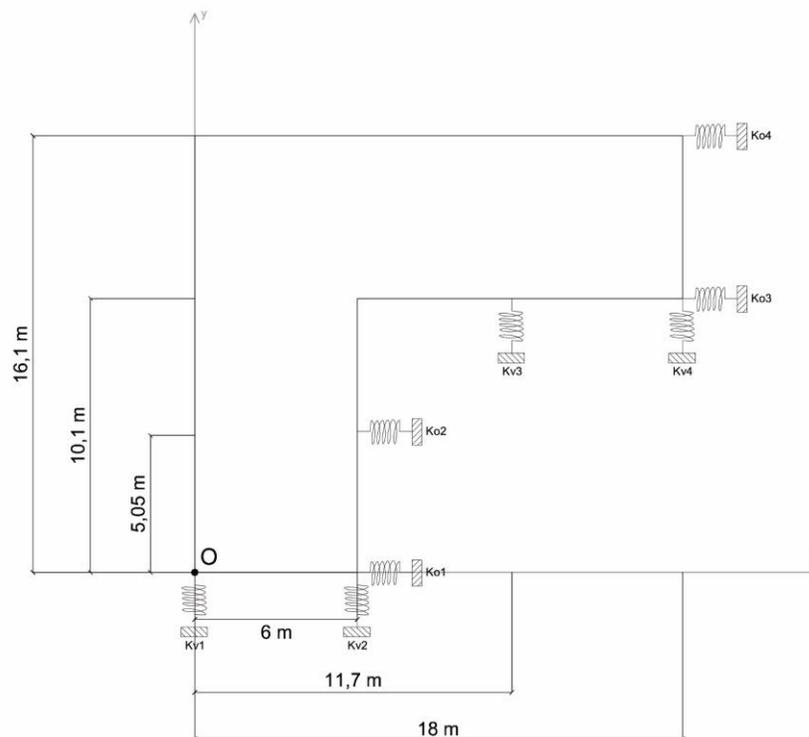
$$I_y = b^3h / 12$$

**Step 1: calcolo delle rigidzze traslanti dei controventi dell'edificio**

<b>Telaio 1v</b>	<b>1-2-3-4</b>	pilastri che individuano il telaio	<b>Telaio 1o</b>	<b>1-12</b>	pilastri che individuano il telaio
E (N/mmq)	21000,00	modulo di Young	E	21000,00	modulo di Young
H (m)	4,00	altezza dei pilastri	H	4,00	altezza dei pilastri
I <sub>1</sub> (cm <sup>4</sup> )	213333,33	momento d'inerzia pilastro 1	I <sub>1</sub>	320000,00	momento d'inerzia pilastro 1
I <sub>2</sub>	213333,33	momento d'inerzia pilastro 2	I <sub>12</sub>	320000,00	momento d'inerzia pilastro 12
I <sub>3</sub>	213333,33	momento d'inerzia pilastro 3			
I <sub>4</sub>	213333,33	momento d'inerzia pilastro 4			
<b>K T (KN/m)</b>	<b>33600,00</b>	<b>rigidezza traslante telaio 1</b>	<b>K T</b>	<b>25200,00</b>	<b>rigidezza traslante telaio 5</b>
<b>Telaio 2v</b>	<b>12-11-10-5</b>	pilastri che individuano il telaio	<b>Telaio 2o</b>	<b>2-11</b>	pilastri che individuano il telaio
E	21000,00	modulo di Young	E	21000,00	modulo di Young
H	4,00	altezza dei pilastri	H	4,00	altezza dei pilastri
I <sub>1</sub>	213333,33	momento d'inerzia pilastro 12	I <sub>2</sub>	320000,00	momento d'inerzia pilastro 2
I <sub>2</sub>	213333,33	momento d'inerzia pilastro 11	I <sub>11</sub>	320000,00	momento d'inerzia pilastro 11
I <sub>3</sub>	320000,00	momento d'inerzia pilastro 10			
I <sub>4</sub>	320000,00	momento d'inerzia pilastro 5			
<b>K T</b>	<b>42000,00</b>	<b>rigidezza traslante telaio 2</b>	<b>K T</b>	<b>25200,00</b>	<b>rigidezza traslante telaio 6</b>
<b>Telaio 3v</b>	<b>6-9</b>	pilastri che individuano il telaio	<b>Telaio 3o</b>	<b>3-10-9-8</b>	pilastri che individuano il telaio
E	21000,00	modulo di Young	E	21000,00	modulo di Young
H	4,00	altezza dei pilastri	H	4,00	altezza dei pilastri
I <sub>6</sub>	320000,00	momento d'inerzia pilastro 6	I <sub>3</sub>	20000,00	momento d'inerzia pilastro 3
I <sub>9</sub>	320000,00	momento d'inerzia pilastro 9	I <sub>10</sub>	213333,33	momento d'inerzia pilastro 10
			I <sub>9</sub>	213333,33	momento d'inerzia pilastro 9
			I <sub>8</sub>	213333,33	momento d'inerzia pilastro 8
<b>K T</b>	<b>25200,00</b>	<b>rigidezza traslante telaio 3</b>	<b>K T</b>	<b>25987,50</b>	<b>rigidezza traslante telaio 7</b>
<b>Telaio 4v</b>	<b>7-8</b>	pilastri che individuano il telaio	<b>Telaio 4o</b>	<b>4-5-6-7</b>	pilastri che individuano il telaio
E	21000,00	modulo di Young	E	21000,00	modulo di Young
H	4,00	altezza dei pilastri	H	4,00	altezza dei pilastri
I <sub>7</sub>	320000,00	momento d'inerzia pilastro 7	I <sub>4</sub>	20000,00	momento d'inerzia pilastro 4
I <sub>8</sub>	320000,00	momento d'inerzia pilastro 8	I <sub>5</sub>	213333,33	momento d'inerzia pilastro 5
			I <sub>6</sub>	213333,33	momento d'inerzia pilastro 6
			I <sub>7</sub>	213333,33	momento d'inerzia pilastro 7
<b>K T</b>	<b>25200,00</b>	<b>rigidezza traslante telaio 4</b>	<b>K T</b>	<b>25987,50</b>	<b>rigidezza traslante telaio 8</b>

**Step 2: tabella sinottica controventi e distanze**

<b>Kv1(KN/m)</b>	<b>33600,00</b>	<b>rigidezza traslante contr.vert. 1</b>
<b>Kv2</b>	<b>42000,00</b>	<b>rigidezza traslante contr.vert. 2</b>
<b>Kv3</b>	<b>25200,00</b>	<b>rigidezza traslante contr.vert. 3</b>
<b>Kv4</b>	<b>25200,00</b>	<b>rigidezza traslante contr.vert. 4</b>
<b>dv2 (m)</b>	<b>6,00</b>	<b>distanza orizzontale controvento dal punto O</b>
<b>dv3</b>	<b>11,70</b>	<b>distanza orizzontale controvento dal punto O</b>
<b>dv4</b>	<b>18,00</b>	<b>distanza orizzontale controvento dal punto O</b>
<b>Ko1(KN/m)</b>	<b>25200,00</b>	<b>rigidezza traslante contr.orizz. 1</b>
<b>Ko2</b>	<b>25200,00</b>	<b>rigidezza traslante contr.orizz. 2</b>
<b>Ko3</b>	<b>25987,50</b>	<b>rigidezza traslante contr.orizz. 3</b>
<b>do2</b>	<b>5,05</b>	<b>distanza verticale controvento punto O</b>
<b>do3</b>	<b>10,10</b>	<b>distanza verticale controvento punto O</b>
<b>do4</b>	<b>16,10</b>	<b>distanza verticale controvento punto O</b>



Dobbiamo poi trovare il centro d'area del nostro edificio. Nel nostro impalcato si trova suddividendo l'area totale in 2 aree semplici e trovando i centri d'area di ognuna di esse. Questo corrisponde allo centro geometrico. Dobbiamo poi applicare 2 formule per trovare i 2 assi che si incontrano nel centro d'area.

$$x_G = \frac{\sum A_i x_{Gi}}{A_{tot}}$$

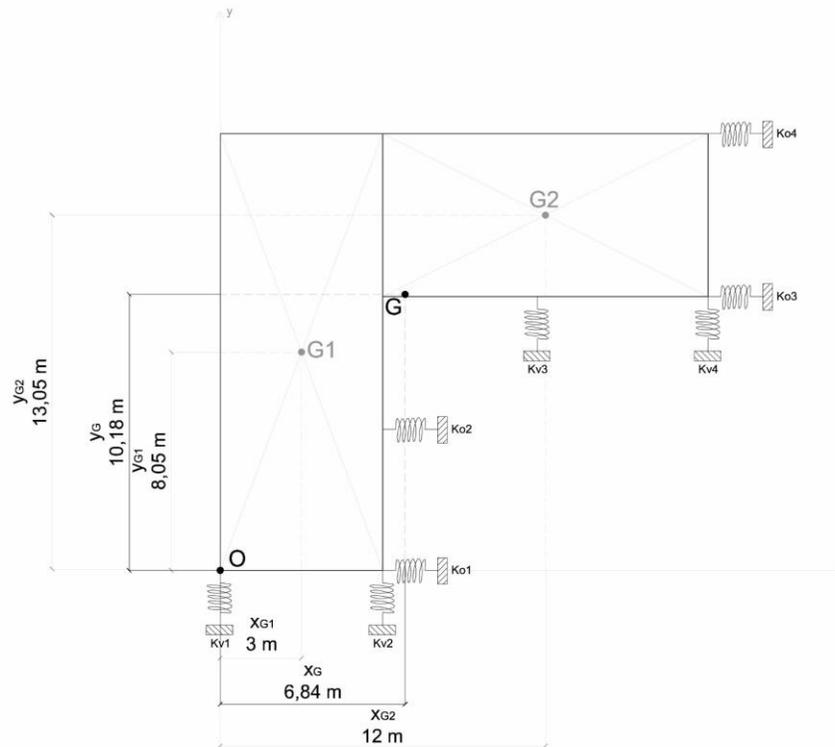
$$y_G = \frac{\sum A_i y_{Gi}}{A_{tot}}$$

Step 3: calcolo del centro di massa		
area_1 (mq)	96,60	misura dell'area superficie 1 area 1 (misura)
x_G1 (m)	3,00	coordinata X centro area 1
y_G1	8,05	coordinata Y centro area 1
area_2	72,00	misura dell'area superficie 2
x_G2	12,00	coordinata X centro area 2
y_G2	13,05	coordinata Y centro area 2
Area tot (mq)	168,60	Area totale impalcato
X_G	6,84	coordinata X centro d'area impalcato (centro massa)
Y_G	10,19	coordinata Y centro d'area impalcato (centro massa)

In seguito devo calcolare la rigidezza totale orizzontale, la rigidezza totale verticale, la rigidezza torsionale ed il centro delle rigidezze che si ricava utilizzando le formule:

$$x_C = \frac{\sum k_{vi} d_{vi}}{k_{v\_tot}}$$

$$y_C = \frac{\sum k_{oi} d_{oi}}{k_{o\_tot}}$$

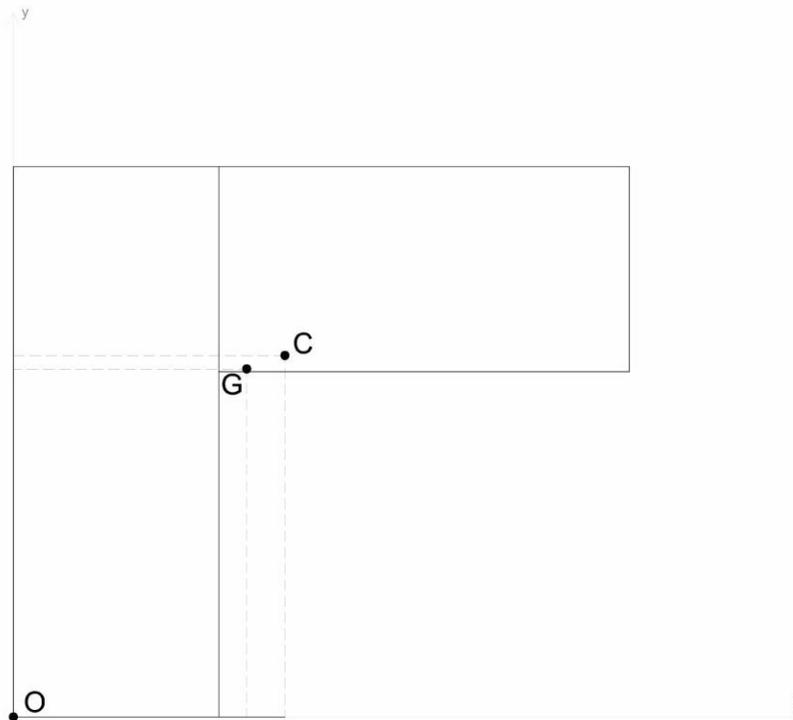


Dopo aver calcolato le distanze dei controventi dal centro delle rigidezze C possiamo trovare il valore della rigidezza torsionale con la formula:

$$k_{\phi} = \sum k_{vi} d_{vi}^2 + \sum k_{oi} d_{oi}^2$$

#### Step 4: calcolo del centro di rigidezze e delle rigidezze globali

Ko_tot	76387,50	rigidezza totale orizzontale
Kv_tot	126000,00	rigidezza totale verticale
X_C (m)	7,94	coordinata X centro rigidezze
Y_C	10,58	coordinata Y centro rigidezze
dd_v1	-7,94	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v2	-1,94	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v3	3,76	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_v4	10,06	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_o1	-10,58	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_o2	-5,53	distanze controvento dal centro rigidezze
dd_o3	-0,48	distanze controvento dal centro rigidezze
K_φ (KN*m)	8779840,14	rigidezza torsionale totale



Si nota che il centro delle rigidezze non si trova molto distante dal centro del impalcato. Su questo centro C viene applicata la forza sismica che dobbiamo in seguito applicare per questa esercitazione.

Prima di applicare la forza sismica, devo definire i tre carichi ( $q_e, q_s, q_a$ ) per poter calcolare il mio carico totale permanente  $G_k$  ed il carico permanente accidentale  $Q_k$ .

$$G_k = (q_s + q_p) \cdot A_{tot}$$

$$Q_k = q_a \cdot A_{tot}$$

Utilizzo la combinazione sismica per calcolare i pesi sismici:

$$W = G_k + \psi_{2j} \cdot Q_k$$

Dove  $\psi_{2j}$  è il coefficiente di contemporaneità tabellato nella normativa.

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.

$$F = W \cdot c$$

Step 5: analisi dei carichi sismici		
q_s (KN/mq)	2,00	carico permanente di natura strutturale
q_p	1,70	sovraccarico permanente
q_a	2,00	sovraccarico accidentale
G (KN)	623,82	carico totale permanente
Q (KN)	337,20	carico totale accidentale
$\psi$	0,30	coefficiente di contemporaneità
W (KN)	724,98	Pesi sismici
c	0,10	coefficiente di intensità sismica
F (KN)	72,50	Forza sismica orizzontale

Data la forza sismica possiamo applicarla in due casi diversi:

- 1) Forza applicata lungo la direzione x, che provoca la rotazione e traslazione dell'impalcato.
- 2) Forza applicata lungo la direzione y, che provoca rotazione e traslazione verticale dell'impalcato.

Lo spostamento orizzontale  $u$ , è uguale a:

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

Lo spostamento verticale  $v$ , è uguale a:

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

La rotazione  $\phi$ , è uguale a:

$$\phi = M_c / k_\phi$$

Dove  $M_c$  rappresenta il momento di torsione dato dal rapporto tra la forza sismica  $F$  per il braccio, che sarebbe la distanza tra G e C.

Quando la forza è applicata lungo la direzione x, la reazione elastica dei controventi orizzontali è pari a:

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

Nei controventi verticale è pari a:

$$F_{v\_n} = k_{v\_n} \phi d_{dv\_n}$$

Step 6: ripartizione forza sismica lungo X		
M (KN*m)	28,58	momento torcente (positivo se antiorario)
u_o (m)	0,001	traslazione orizzontale
$\phi$	0,00000	rotazione impalcato (positiva se antioraria)
Fv1 (KN)	-0,87	Forza sul controvento verticale 1
Fv2	-0,27	Forza sul controvento verticale 2
Fv3	0,31	Forza sul controvento verticale 3
Fv4	0,83	Forza sul controvento verticale 4
Fo1	23,05	Forza sul controvento orizzontale 1
Fo2	23,46	Forza sul controvento orizzontale 2
Fo3	24,62	Forza sul controvento orizzontale 3
Fo4	1,45	Forza sul controvento orizzontale 4
	71,14	
		23,92
		23,92
		24,66
		72,50

Quando invece è applicata lungo la direzione y la reazione elastica dei controventi verticali è pari a:

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

Negli controventi orizzontali infine sarà:

$$F_{o\_n} = k_{o\_n} \phi d_{do\_n}$$

**Step 7: ripartizione forza sismica lungo Y**

M (KN*M)	-79,50	momento torcente	
v_o (KN)	0,001	traslazione verticale	
$\varphi$	-0,00001	rotazione impalcato	
Fv1 (KN)	21,75	Forza sul controvento verticale 1	
Fv2	24,90	Forza sul controvento verticale 2	
Fv3	13,64	Forza sul controvento verticale 3	
Fv4	12,20	Forza sul controvento verticale 4	
Fo1	2,41	Forza sul controvento orizzontale 1	
Fo2	1,26	Forza sul controvento orizzontale 2	
Fo3	0,11	Forza sul controvento orizzontale 3	
Fo4	-3,79	Forza sul controvento orizzontale 4	
	76,29		
			19,33
			24,17
			14,50
			14,50
			72,50