

# ANALISI E CALCOLO NUMERICO-APPLICATIVO DI UN TELAIO SPAZIALE REGOLARE ESEGUITO PASSO-PASSO

Riferimento Algoritmo operativo riportato  
nel libro del Prof. Aurelio Ghersi  
"Edifici Antisismici con Struttura Intelaiata in c.a."  
Editore CUEN

CALCOLO NUMERICO:  
Domenico Pagnozzi  
ingegnere

## PREMESSA

Con il presente lavoro propongo un Calcolo Numerico Applicativo eseguito passo-passo, il tutto, inerente un Telaio Spaziale Regolare in ambiente sismico caricato da sole forze orizzontali.

Con tale metodologia intendo evidenziare a chi legge, il grande senso di responsabilità che sta alla base del calcolo, specialmente se pensiamo che molto spesso, non ci accorgiamo che i nuovi strumenti informatici, permettono di eseguire un numero enorme di calcoli in tempi brevissimi, e, tutto quello che esce dagli stessi, viene preso spesso, acriticamente come la soluzione del problema, senza conoscere adeguatamente i limiti del software utilizzato.

Preciso inoltre, che chi ha fatto enormi sacrifici dedicandosi almeno una volta ad un calcolo manuale inerente un Telaio sottoposto a forze orizzontali, e ne ha acquisito la possibile distribuzione delle sollecitazioni che conseguentemente si ottengono sui vari Nodi strutturali, conosce bene ciò che sta alla base del calcolo riguardante sia la modellazione che la congruità dei calcoli ottenuti.

Infine dalla mia personale esperienza acquisita nel campo dell'analisi e sviluppo software per problemi d'ingegneria strutturale, vedo sempre di più colleghi giovani, che, cresciuti al tempo di questa Nuova Tecnologia Informatica Avanzata, sfruttano le risorse che essa offre sul mercato, incorrendo nell'errore in premessa descritto, con la conseguenza di operare con incoscienza e superficialità.

Quanto sopra, viene aggravato dal fatto che lo Stato non ha ancora provveduto ad una forma di "Certificazione" dei software usati, e quindi il tutto lo si rimanda al gran senso di responsabilità dello strutturista calcolatore.

Nel rimanere coerente con il mio pensiero ed avendo lavorato in sintonia con tale problematica, metto a disposizione il presente lavoro elaborato a mano, in modo che il lettore possa comparare se, quanto, alla base dell'algoritmo operativo utilizzato per il calcolo, è congruo con la modellazione ed i risultati del calcolo stesso. Inoltre spero, che tale filosofia possa dare un prezioso e notevole messaggio, nell'interesse delle responsabilità del calcolatore ed a salvaguardia della incolumità degli utenti finali della struttura.

Pertanto, da un'Analisi ed Approfondimento dettagliato dell'algoritmo del Prof. Ghersi riportato nel suo libro "Edifici Antisismici con struttura intelaiata in c.a." editore CUEN, ho cercato di elaborare a mano il rispettivo calcolo in esame. Tale calcolazione numerica, è stata da me esperita sia per capire bene cosa c'è alla base di un calcolo del Telaio Spaziale, nonchè per verificare la congruità tra le formule utilizzate dall'algoritmo ed i risultati ottenuti.

Si evidenzia che nel procedere alla stesura di calcolo si è fatto bene attenzione al giusto utilizzo degli indici contenuti sia nei vettori che nelle rispettive matrici oltre alla particolare attenzione posta all'esame dei cicli isolati ed annidati governanti il calcolo stesso.

Un pensiero va a miei figli ed a moglie Imma che con grandissima pazienza, oltre a starmi molto vicino durante la stesura di questo lavoro molto arduo e complesso, mi hanno dato sempre il loro incoraggiamento per superare notevoli ostacoli che inevitabilmente si presentano nel percorso della ricerca scientifica.

Un grandissimo ringraziamento va al prof. A. Ghersi, che esponendo l'argomento in questione riportato nel libro *Edifici antisismici con struttura intelaiata in c.a.*, CUEN, 1986, lo ha fatto con una trattazione graduale, chiara ed autorevole giustificando ogni passaggio in modo che il lettore possa fare poca fatica a comprendere l'argomento di grande portata d'ingegneria. Pertanto ad avviso di chi scrive e per la mia esperienza di ricerca e studio, il suddetto libro è stato per me un prezioso regalo scientifico.

Ringrazio in modo particolare l'ing. Domenico Lombardi professionista di vecchia razza che cresciuto con vecchi, ma forti linguaggi quali Assembly, Fortran, Cobol, mi ha dato sempre preziosi suggerimenti per interpretare, elaborare e costruire l'Analisi logico funzionale di un flow-chart a base degli algoritmi.

Un particolare ringraziamento va all'ing. Carlo Molinaro per la voluminosa bibliografia scientifica esistente presso il suo studio e messa a mia disposizione.

Una sentita ma riconoscenza particolare va all'inf. Pasquale Morgillo che durante la stesura del presente lavoro mi ha stimolato e sempre incoraggiato.

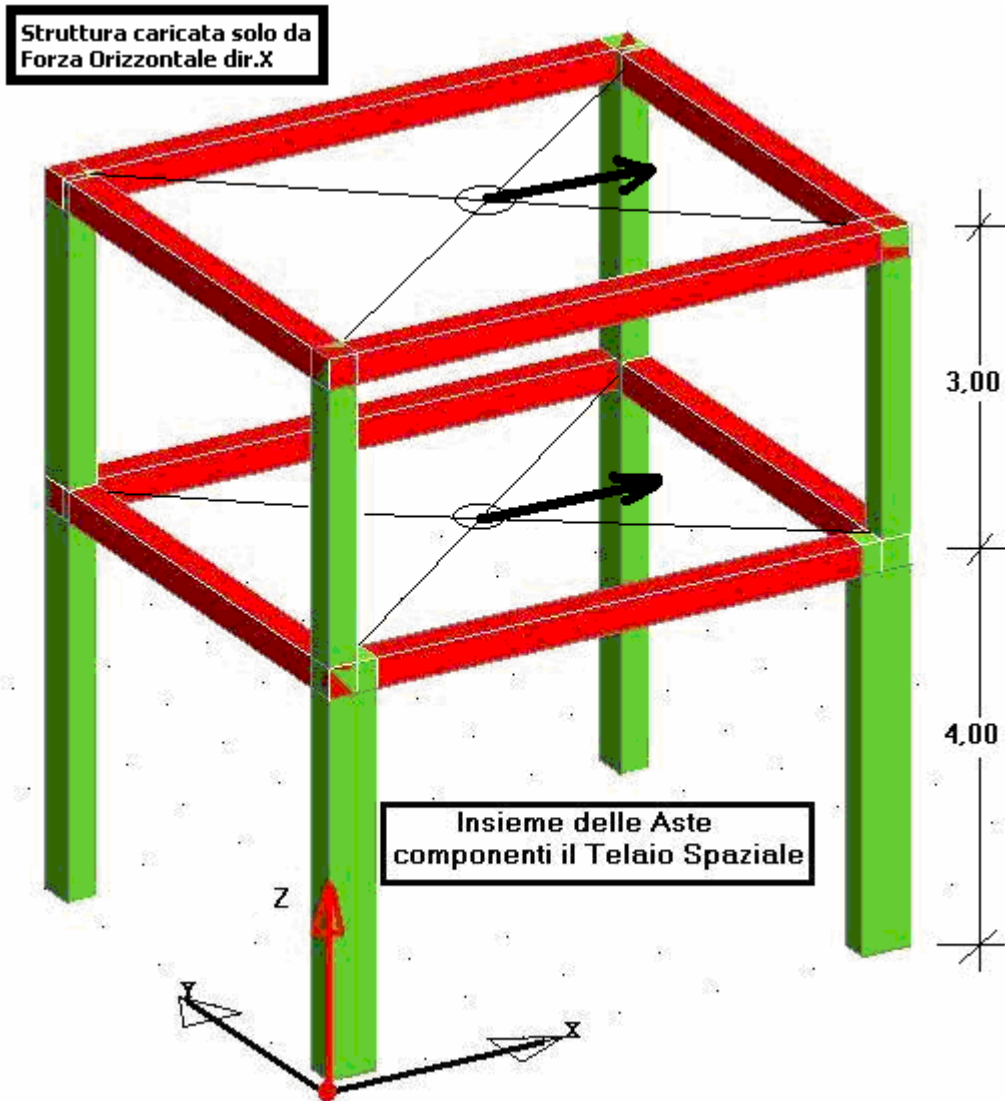
Infine un appello va a tutti i lettori a cui voglio evidenziare che lo studio, quando non è fatto per imposizione, o per inerzia o per convenienza, nasce dalla curiosità, dal desiderio di capire il perchè delle cose. La curiosità oltre ad essere una manifestazione dell'intelligenza, rappresenta anche la molla della conoscenza, del sapere, e pertanto dalla curiosità, nasce la ricerca e da questa scaturisce la scoperta.

**INFO** → Il presente lavoro previa Validazione del prof. Aurelio Ghersi, verrà pubblicato sul sito della Facoltà d'Ingegneria dell'Università di Catania unitamente a programmi software già pubblicati dallo stesso. Con la presente, si evidenzia inoltre, che tutti i programmi possono essere scaricati gratuitamente operando attraverso il motore di ricerca come appresso:  
**GOOGLE** → Aurelio Ghersi software; successivamente comparirà la voce ricercata → Software si cliccherà sulla stessa, e si potranno cercare i sottoelencati programmi sviluppati dal sottoscritto insieme all'Inf. Pasquale Morgillo che sono :

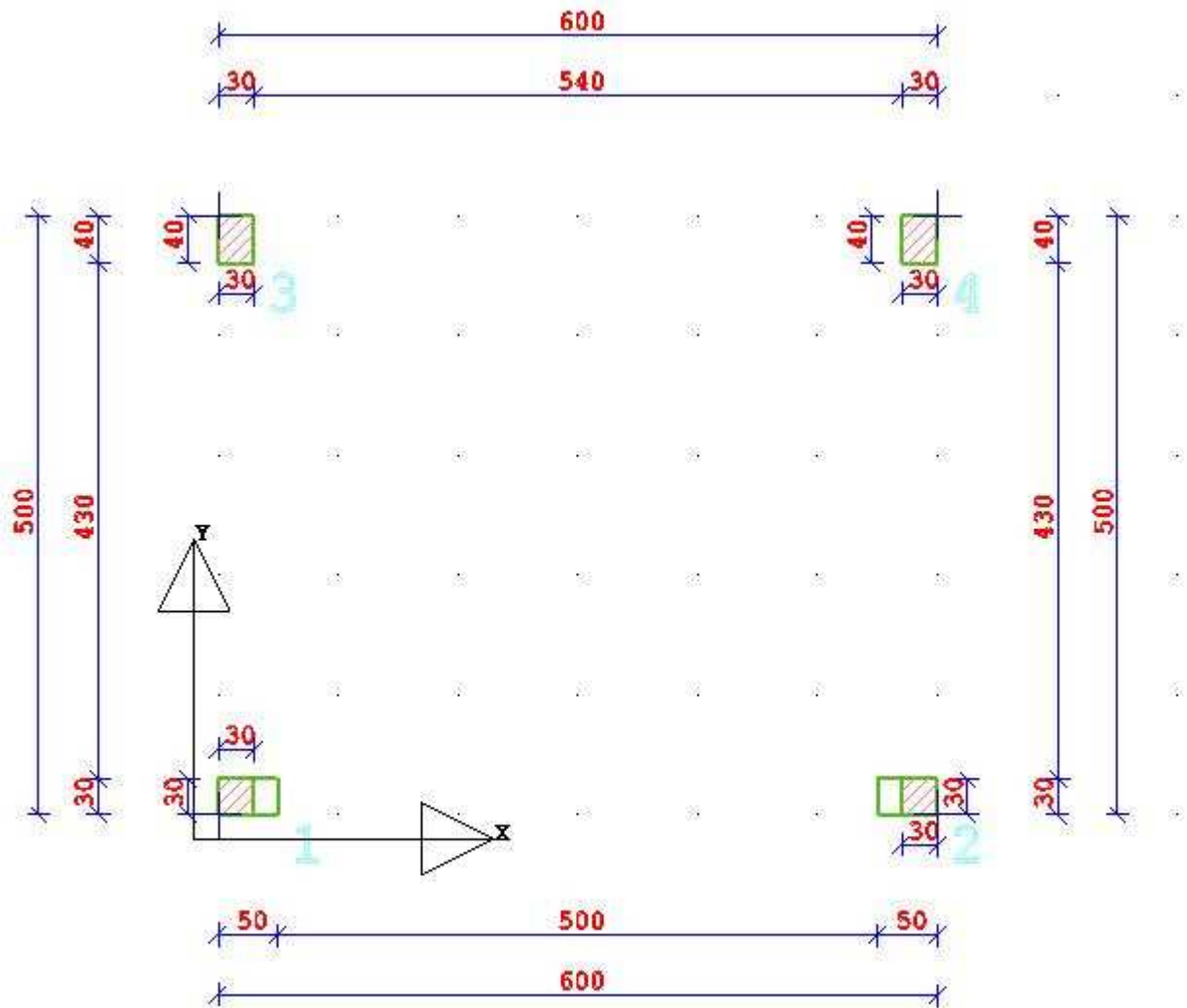
- TRAVECON 1<sup>^</sup> e 2<sup>^</sup> versione;
- TELSPAZ utilissimo per la risoluzione di Telai spaziali risolti con metodologia dell'Analisi Matriciale;
- Analisi e Calcolo del problema standard Autovalori-Autovettori Metodo Householder con relativa applicazione numerica applicata ad un Telaio Piano Shear-Type a due livelli.

Domenico Pagnozzi

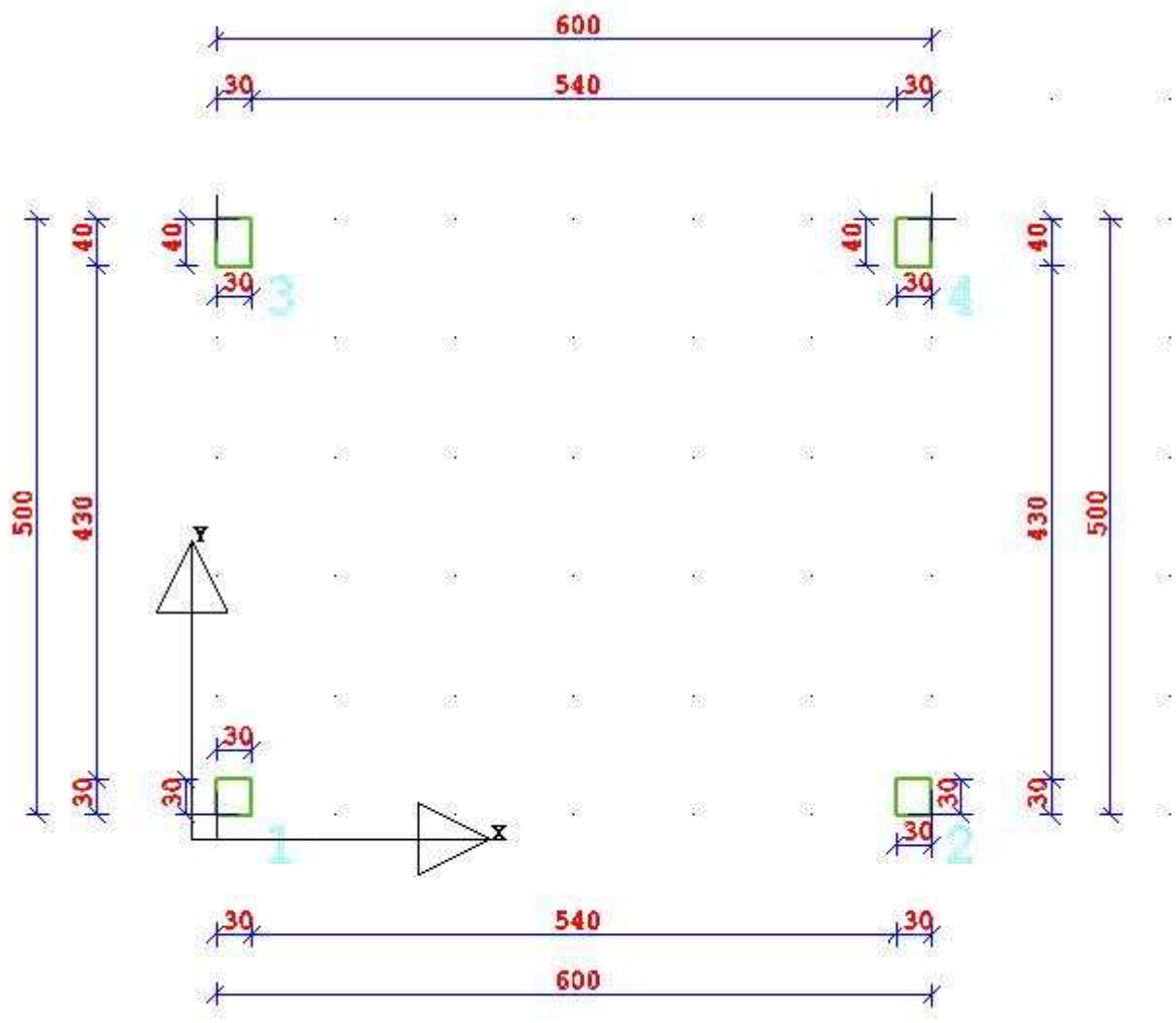
## Schema dell'Insieme Spaziale



Piante dei Pilastri alle rispettive quote e con relative dimensioni geometriche Pilastri

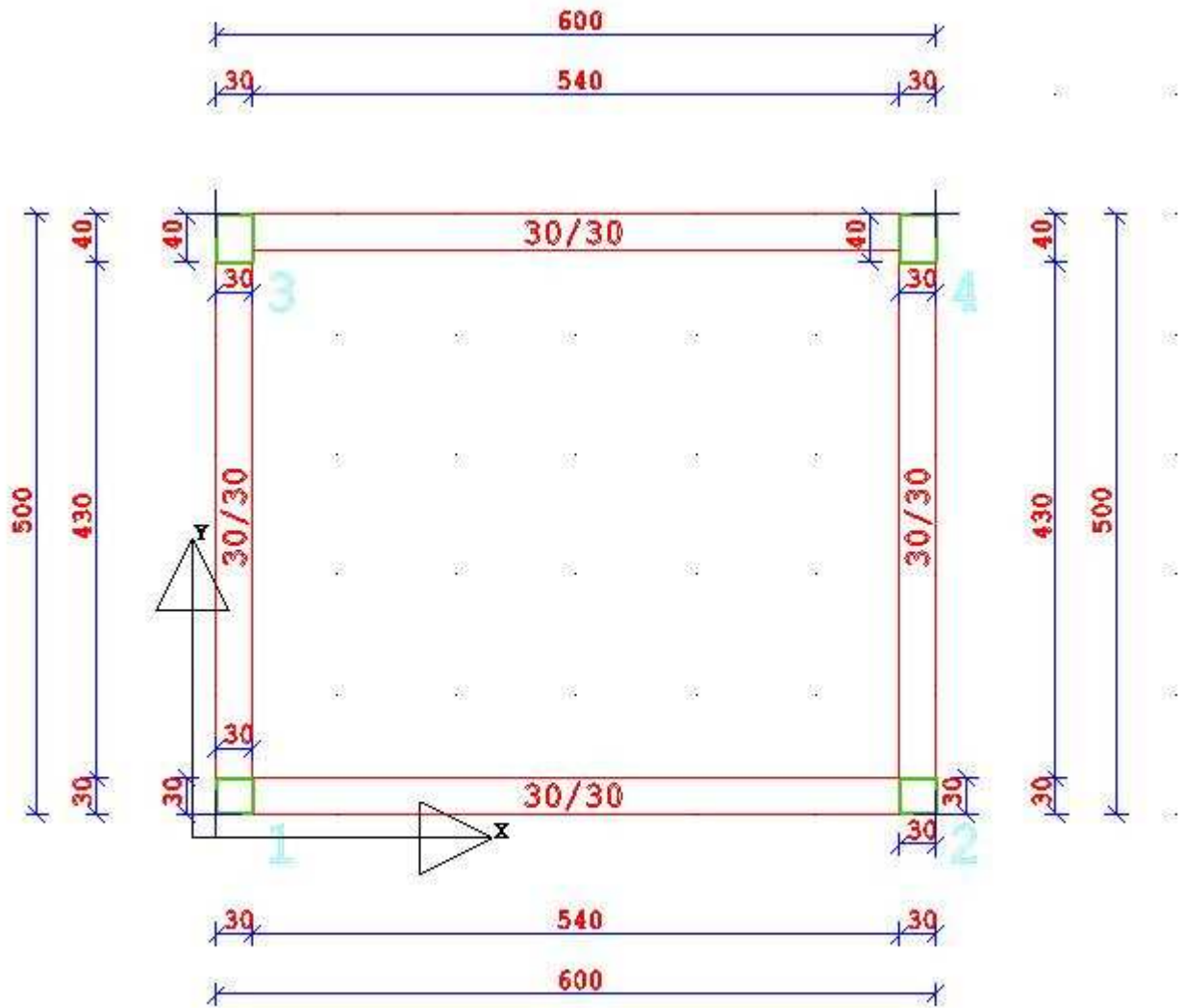


**PIANTA PILASTRI QUOTA m: 0.00- 4.00**



PIANTA PILASTRI QUOTA m: 4.00- 7.00





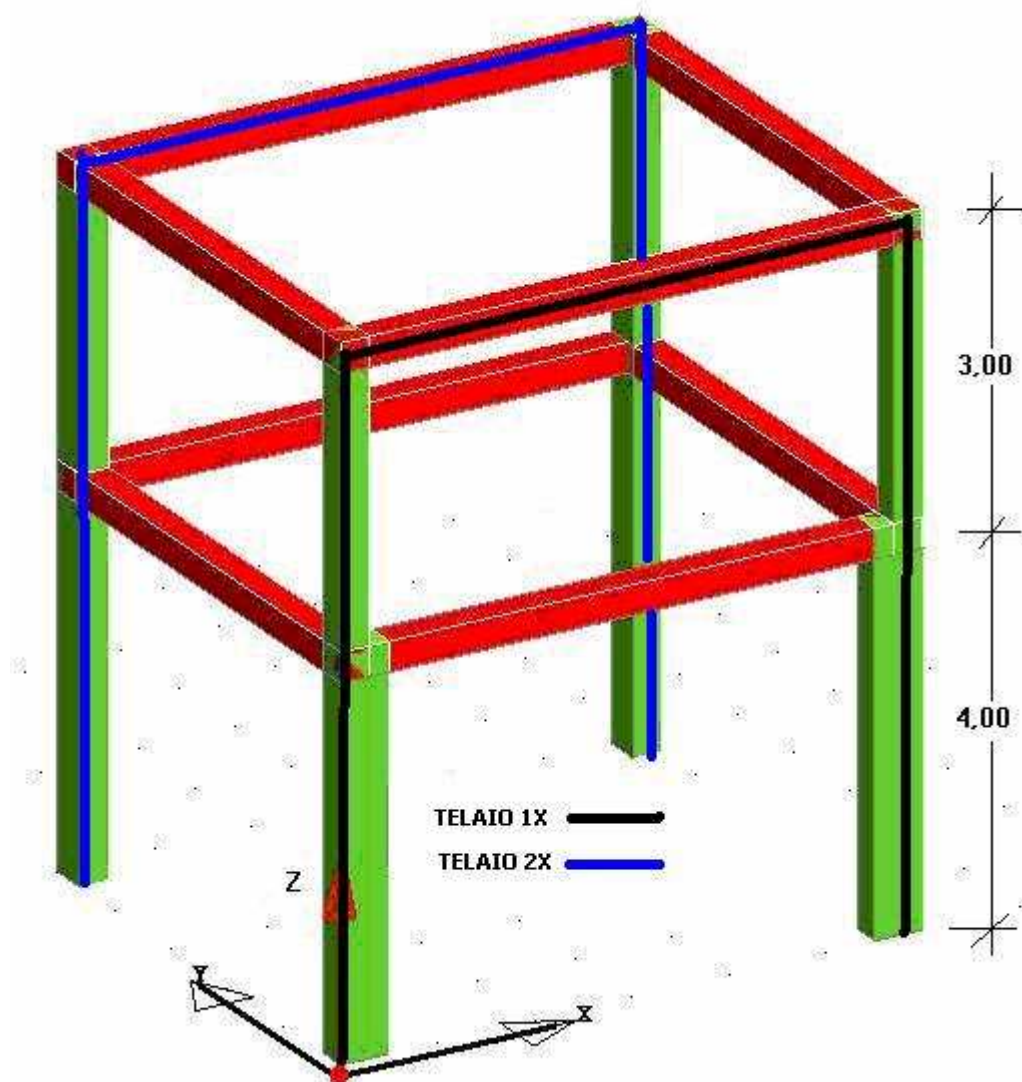
PIANTA IMPALCATO QUOTA m: 7.00



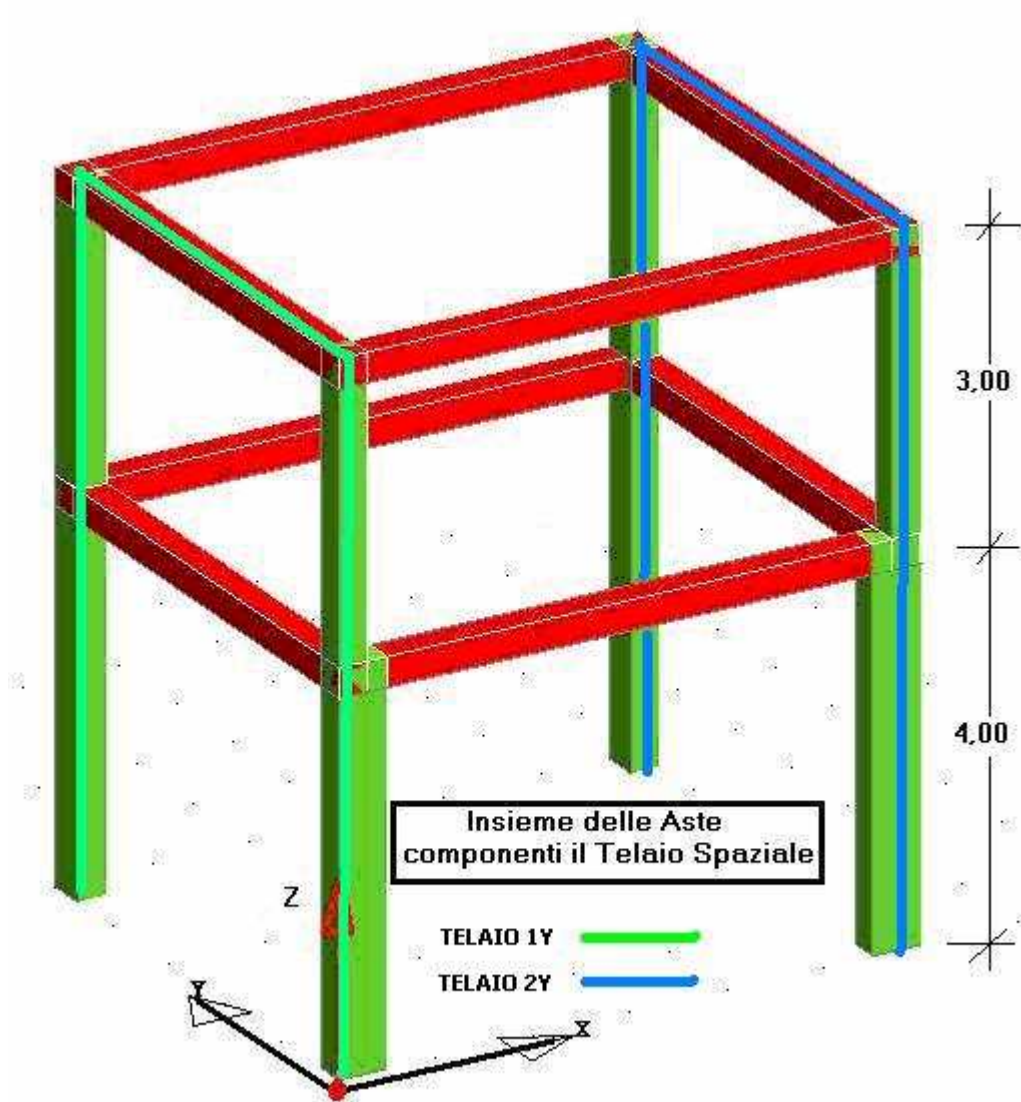
## DATI GEOMETRICI ED ELASTICI DELLA STRUTTURA SPAZIALE

Innanzitutto è necessario individuare i Telai di Piano in DirX ed in DirY

### Telai di Piano in dirX



Telai di Piano in dirY



ALTEZZA DEI PIANI	
piano	altezza (m)
1	4
2	3

POSIZIONE DEI TELAI	
telaio	distanza dall'asse (m)
1 X	0
2 X	5
1 Y	0
2 Y	6

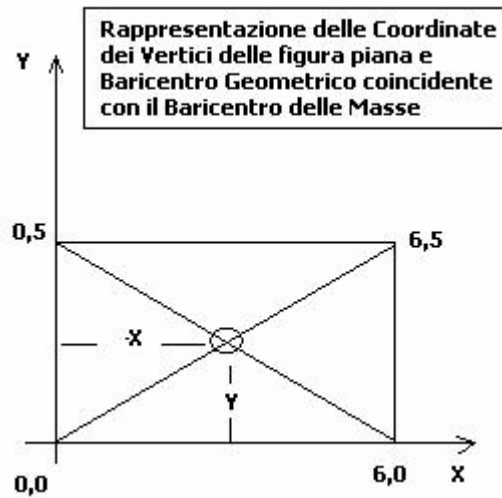
LUCI E SEZIONI DELLE TRAVI						
Telaio	Campata	Piano	Luce (m)	B (m)	H (m)	inerzia (m <sup>4</sup> )
1 x	1-2	1	6	0,3	0,3	0,000675
1 x	1-2	2	6	0,3	0,3	0,000675
2 x	3-4	1	6	0,3	0,3	0,000675
2 x	3-4	2	6	0,3	0,3	0,000675
1 y	1-3	1	5	0,3	0,3	0,000675
1 y	1-3	2	5	0,3	0,3	0,000675
2 y	2-4	1	5	0,3	0,3	0,000675
2 y	2-4	2	5	0,3	0,3	0,000675

SEZIONI DEI PILASTRI						
Telaio	Pilastro	Piano	B (m)	H (m)	Inerzia (m <sup>4</sup> )	
1 x	1	1	0,3	0,5	0,003125	
1 x	1	2	0,3	0,3	0,000675	
1 x	2	1	0,3	0,5	0,003125	
1 x	2	2	0,3	0,3	0,000675	
2 x	3	1	0,4	0,3	0,0009	
2 x	3	2	0,4	0,3	0,0009	
2 x	4	1	0,4	0,3	0,0009	
2 x	4	2	0,4	0,3	0,0009	
1 y	1	1	0,5	0,3	0,001125	
1 y	1	2	0,3	0,3	0,000675	
1 y	3	1	0,5	0,3	0,001125	
1 y	3	2	0,3	0,3	0,000675	
2 y	2	1	0,3	0,4	0,0016	
2 y	2	2	0,3	0,4	0,0016	
2 y	4	1	0,3	0,4	0,0016	
2 y	4	2	0,3	0,4	0,0016	

Modulo Elasticità E = 250000 daN/cm<sup>2</sup>

Dove il Momento d'Inerzia della Trave e del Pilastro valgono:  
 $I = B \times H^3 / 12 \text{ ( m^4 )}$

## CALCOLO BARICENTRO DELLE MASSE $G_m(X_m, Y_m)$



$$S_x = \text{Area} \cdot Y \quad \text{Momento Statico rispetto all'asse X}$$

$$S_y = \text{Area} \cdot X \quad \text{Momento Statico rispetto all'asse Y}$$

dove  $X$  ed  $Y$  sono le coordinate del baricentro geometrico della figura.

Forma Geometrica	Lato x	Lato y	Area	Baricentro Geometrico		Momento Statico	
Rettangolo	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	X(m)	Y(m)	S <sub>y</sub> (m <sup>3</sup> )	S <sub>x</sub> (m <sup>3</sup> )
1° Imp. = 2° Imp	6,00	5,00	30,00	3,00	2,50	75	90

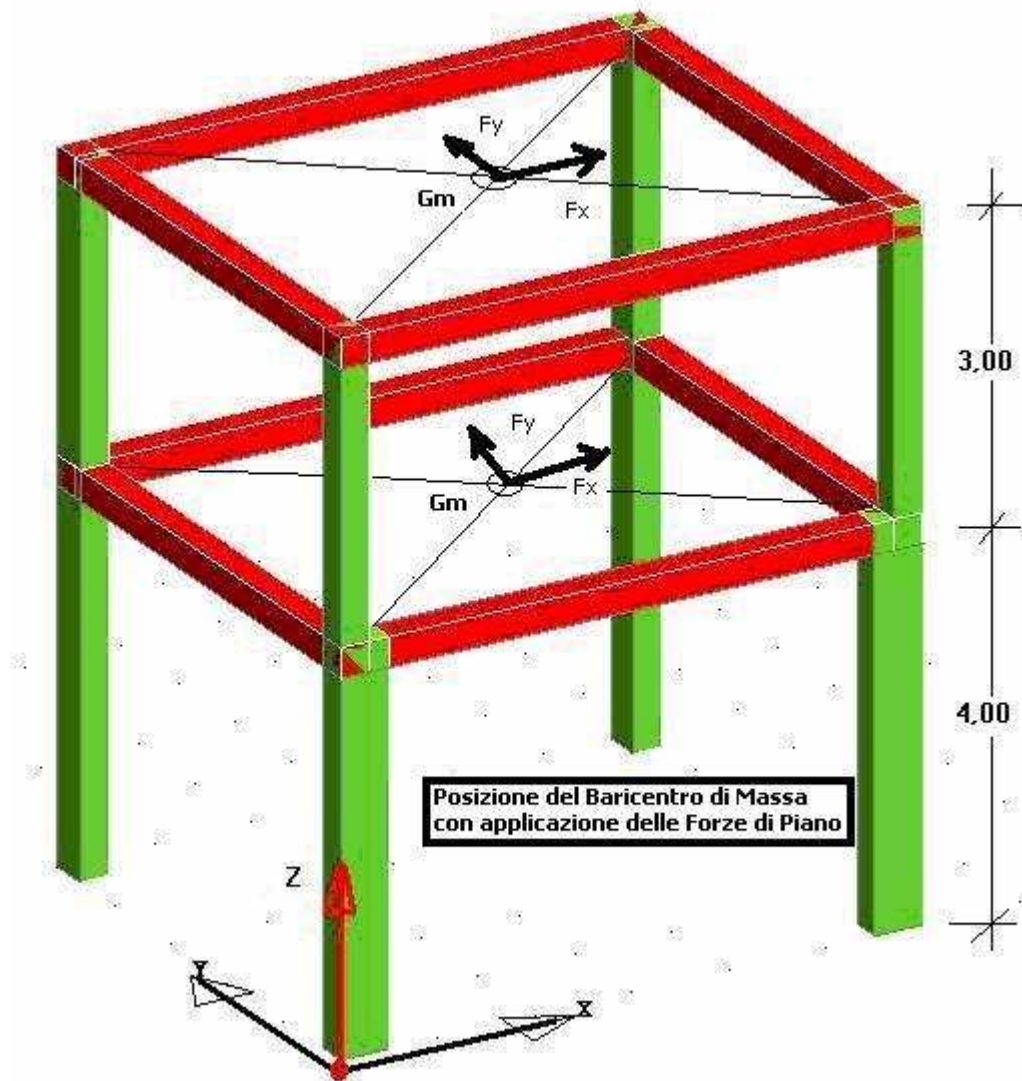
$$X_m = \frac{\sum S_y}{\text{Area}} = \frac{75}{30} = 2,50 \text{ m} \quad \text{e} \quad Y_m = \frac{\sum S_x}{\text{Area}} = \frac{90}{30} = 3,00 \text{ m}$$

Essendo la geometria della figura piana del 1° impalcato uguale con il 2° impalcato, il valore del baricentro delle masse ( $G_m$ ) coincide.

Pertanto si ha:

$$1^\circ \text{ Impalcato } G_m(2,50; 3,00) \quad \text{e} \quad 2^\circ \text{ Impalcato } G_m(2,50; 3,00)$$

Si ricorda che in tale Baricentro ( $G_m$ ) di coordinate  $X_m, Y_m$  e nelle direzioni  $x$  ed  $y$ , va applicata, la Forza Orizzontale di Piano ( $F_x$  e  $F_y$ ) come in figura rappresentato:



## CALCOLO DEGLI INDICI DI RIGIDEZZA DI TRAVI E PILASTRI

L'INDICE DI Rigidezza della Trave vale:

$$W_T = E \times I / \text{Luce trave (tm)}$$

L'INDICE DI Rigidezza del Pilastro (Ritto) vale:

$$W_R = E \times I / \text{Altezza Pilastro (tm)}$$

Segue calcolo degli Indici di Rigidezze:

Piano 1 Travi in dir X

$$WT(1,1)=28,125$$

$$WT(2,1)=28,125$$

Piano 1 Travi in dir Y

$$WT(3,1)=33,75$$

$$WT(4,1)=33,75$$

Piano 1 Pilastri in dir X

$$WR(1,1)=195,3125$$

$$WR(2,1)=195,3125$$

$$WR(3,1)=56,25$$

$$WR(4,1)=56,25$$

Piano 1 Pilastri in dir Y

$$WR(5,1)=70,3125$$

$$WR(6,1)=70,3125$$

$$WR(7,1)=100$$

$$WR(8,1)=100$$

Piano 2 Travi in dir X

$$WT(1,2)=28,125$$

$$WT(2,2)=28,125$$

Piano 2 Travi in dir Y

$$WT(3,2)=33,75$$

$$WT(4,2)=33,75$$

Piano 2 Pilastri in dir X

$$WR(1,2)=56,25$$

$$WR(2,2)=56,25$$

$$WR(3,2)=75$$

$$WR(4,2)=75$$

Piano 2 Pilastri in dir Y

$$WR(5,2)=56,25$$

$$WR(6,2)=56,25$$

$$WR(7,2)=133,33$$

$$WR(8,2)=133,33$$

## CALCOLO DELLA SOMMA DEGLI INDICI DI RIGIDEZZA DELLE ASTE NEI NODI

Dati di Partenza--> TelN°=1 Pilastro N°=1

Rigidezza Pilastro  $WR(1,1)=195,3125$

Rigidezza Trave  $WT(1,1)=28,125$

Rigidezza Pilastro  $WR(1,2)=56,25$

Somma Indice Rigidezza delle Aste nel Nodo  $WN(1,1)=279,6875$

dove  $WN(1,1)$  rappresenta la somma degli indici di rigidezza delle aste che convergono nel nodo (I,K) cioè Nodo n.1 del Piano 1.

Dati di Partenza--> TelN°=1 Pilastro N°=2

Rigidezza Pilastro  $WR(2,1)=195,3125$

Rigidezza Trave  $WT(1,1)=28,125$

Rigidezza Pilastro  $WR(2,2)=56,25$

Somma Indice Rigidezza delle Aste nel Nodo  $WN(2,1)=279,6875$

Dati di Partenza--> TelN°=2 Pilastro N°=1

$WR(3,1)=56,25$

$WT(3,1)=28,125$

$WR(3,2)=75$

Somma Indice Rigidezza delle Aste nel Nodo  $WN(3,1)=159,375$

Dati di Partenza--> TelN°=2 Pilastro N°=2

$WR(4,1)=56,25$

$WT(3,1)=28,125$

$WR(4,2)=75$

Somma Indice Rigidezza delle Aste nel Nodo  $WN(4,1)=159,375$

Dati di Partenza--> TelN°=3 Pilastro N°=1

$WR(5,1)=70,3125$

$WT(5,1)=33,75$

$WR(5,2)=56,25$

Somma Indice Rigidezza delle Aste nel Nodo  $WN(5,1)=160,3125$

Dati di Partenza--> TelN°=3 Pilastro N°=2

$WR(6,1)=70,3125$

$WT(5,1)=33,75$

$WR(6,2)=56,25$

Somma Indice Rigidezza delle Aste nel Nodo  $WN(6,1)=160,3125$

Dati di Partenza--> TelN°=4 Pilastro N°=1  
WR(7,1)=100  
WT(7,1)=33,75  
WR(7,2)=133,33  
Somma Indice Rigidezza delle Aste nel Nodo WN(7,1)=267,083

Dati di Partenza--> TelN°=4 Pilastro N°=2  
WR(8,1)=100  
WT(7,1)=33,75-> 133,75  
WR(8,2)=133,33  
Somma Indice Rigidezza delle Aste nel Nodo WN(8,1)=267,083

Dati di Partenza--> TelN°=1 Pilastro N°=1  
WR(1,2)=56,25  
WT(1,2)=28,125-> 84,375  
Somma Indice Rigidezza delle Aste nel Nodo WN(1,2)=84,375

Dati di Partenza--> TelN°=1 Pilastro N°=2  
WR(2,2)=56,25  
WT(1,2)=28,125-> 84,375  
Somma Indice Rigidezza delle Aste nel Nodo WN(2,2)=84,375

Dati di Partenza--> TelN°=2 Pilastro N°=1  
WR(3,2)=75  
WT(3,2)=28,125  
Somma Indice Rigidezza delle Aste nel Nodo WN(3,2)=103,125

Dati di Partenza--> TelN°=2 Pilastro N°=2  
WR(4,2)=75  
WT(3,2)=28,125  
Somma Indice Rigidezza delle Aste nel Nodo WN(4,2)=103,125

Dati di Partenza--> TelN°=3 Pilastro N°=1  
WR(5,2)=56,25  
WT(5,2)=33,75  
Somma Indice Rigidezza delle Aste nel Nodo WN(5,2)=90

Dati di Partenza--> TelN°=3 Pilastro N°=2  
WR(6,2)=56,25  
WT(5,2)=33,75  
Somma Indice Rigidezza delle Aste nel Nodo WN(6,2)=90



Dati di Partenza--> TelN°=4 Pilastro N°=1  
 WR(7,2)=133,33  
 WT(7,2)=33,75  
 Somma Indice Rigidezza delle Aste nel Nodo WN(7,2)=167,083

Dati di Partenza--> TelN°=4 Pilastro N°=2  
 WR(8,2)=133,33  
 WT(7,2)=33,75  
 Somma Indice Rigidezza delle Aste nel Nodo WN(8,2)=167,083

### CALCOLO DEL BARICENTRO DELLE RIGIDENZE

Ai fini del calcolo del Baricentro delle Rigidezze si calcola il Momento Statico delle rigidezze rispetto all'asse e lo si rapporta alla somma delle rigidezze dei telai paralleli all'asse considerato.

Nel caso specifico per calcolare l'ordinata Xgr ed Ygr del baricentro delle rigidezze (Gr) userò le seguenti espressioni:

$$X_{gr} = \frac{\sum S_y}{\sum K_y} \quad Y_{gr} = \frac{\sum S_x}{\sum K_x}$$

Dove Sy del singolo Telaio, è uguale al prodotto della Rigidezza del Telaio in considerazione lungo la direzione X per la distanza del Telaio rispetto all'asse X

e Sx del singolo Telaio, è uguale al prodotto della Rigidezza del Telaio in considerazione lungo la direzione Y per la distanza del Telaio rispetto all'asse Y

$$X_{gr} = \frac{\sum_{ry} \left( \frac{w'}{h^2} \right)_{ik} \times d_{jr}}{\sum_{ry} \left( \frac{w'}{h^2} \right)_{ik}}$$

$$Y_{gr} = \frac{\sum_{rx} \left( \frac{w'}{h^2} \right)_{ik} \times d_{jr}}{\sum_{rx} \left( \frac{w'}{h^2} \right)_{ik}}$$

dove:  $w'_{ik} = \frac{EI}{I}$

	WT(I,K)	indice di rigidezza dell'asta (i,k);
	WR(I,K)	indice di rigidezza della trave I,K (tm);
$\sum_k w'_{(ik)}$	WN(I,K)	indice di rigidezza del ritto I,K (tm);
$\sum_r w'/h^2$	WX(K)	somma degli indici di rigidezza delle aste che convergono nel nodo i (I,K) (tm);
		somma dei $w'/h^2$ dei ritti dell'interpiano r (K) (tm).

Calcolo del Baricentro delle rigidezze

Calcolo numerico di  $Y_{gr}(k)$

Piano N.1

Telaio n.1 dir X

Pilastro n.1

$$H2=1/H(k)^2 \rightarrow H(1)=4 \text{ m}$$

$H2=0,0625$  dove  $H(k)$  è riferita al Piano in questione

$$WR(1, 1) * H2=12,20703125$$

Dove  $WR(1,1)=195,3125$  ed  $H2=0,0625$

Pilastro n.2

$$WR(2, 1) * H2=12,20703125$$

Dove  $WR(2,1)=195,3125$  ed  $H2=0,0625$

$$\Sigma (WR(1, 1) * H2) + (WR(2, 1) * H2) = 24,4140625$$

$$\Sigma ((WR(1, 1) * H2) + (WR(2, 1) * H2)) \times dt(1) = 24,4140625 \times 0,00 = 0,00$$

dove  $dt(1)=0$  è la distanza dal Telaio n.1 in dir.X dall'asse X e

$$\Sigma (WR(1, 1) * H2) + (WR(2, 1) * H2) = 24,4140625$$

$dt(1)=0$

Telaio n.2 dir X

Pilastro n.3

$$WR(3,1)=56,25$$

$$H2=0,0625$$

$$WR(3, 1) * H2=3,515625$$

Pilastro n.4

$$WR(4,1)=56,25$$

$$H2=0,0625$$

$$WR(4, 1) * H2=3,515625$$

$$\Sigma (WR(3, 1) * H2) + (WR(4, 1) * H2)= 7,03125$$

$$\Sigma (WR(3, 1) * H2) + (WR(4, 1) * H2)) \times dt(2) = 7,03125 \times 5,00 = 35,15625$$

dove  $dt(2)=5$  è la distanza dal Telaio n.1 dall'asse X e

$$\Sigma (WR(3, 1) * H2) + (WR(4, 1) * H2) = 24,4140625$$

$$dt(2)=5$$

Sommatoria delle rigidezze dei Telai 1 e 2 dir X

$$\Sigma (WR(1, 1) * H2) + (WR(2, 1) * H2) + (WR(3, 1) * H2) + (WR(4, 1) * H2)=$$

$$= 24,4140625 + 7,03125 = 31,4453125$$

Sommatoria del Momento Statico rispetto all'asse X

$$\Sigma (WR(1, 1) * H2) + (WR(2, 1) * H2)) \times dt(1) + (WR(3, 1) * H2) + (WR(4, 1) * H2)) \times dt(2) = 0 + 35,15625$$

$$Y_{gr} = \frac{\Sigma \{WR(1, 1) * H2\} + \{WR(2, 1) * H2\} \times dt(1) + \{WR(3, 1) * H2\} + \{WR(4, 1) * H2\} \times dt(2)}{\Sigma \{WR(1, 1) * H2\} + \{WR(2, 1) * H2\} + \{WR(3, 1) * H2\} + \{WR(4, 1) * H2\}}$$

$$Y_{gr}(1)=35,15625 / 31,4453125 = 1,118 \text{ m}$$

Calcolo numerico di  $X_{gr}(k)$

Piano N.1

Telaio n.1 dir Y

$$H2=1/H(k)^2 \rightarrow H(1)=4 \quad H2=0,0625$$

$$V=4,39453125$$

$$WR(5,1)=70,3125$$

$$H2=0,0625$$

$$WR(5,1) \times H2=4,39453125$$

$$WR(6,1)=70,3125$$

$$H2=0,0625$$

$$WR(6,1) \times H2=4,39453125$$

$$\Sigma (WR(5, 1) * H2) + (WR(6, 1) * H2) = 8,7890625$$

$$\Sigma ((WR(5, 1) * H2) + (WR(6, 1) * H2)) \times dt(1) = 8,7890625 \times 0,00 = 0,00$$

dove  $dt(1)=0$  è la distanza dal Telaio n.1 in dir.Y dall'asse Y e

$$\Sigma (WR(5, 1) * H2) + (WR(6, 1) * H2) = 8,7890625$$

$$dt(1)=0$$

Telaio n.2 dir Y

$$WR(7,1)=100$$

$$H2=0,0625$$

$$WR(7,1) \times H2 = 6,25$$

Calcolo di  $V = V + WR(I, k) * H2 \rightarrow 6,25$

Entro nel Ciclo Pilastri (For  $I = IR(J) + 1$  To  $IR(J) + MR(J)$ ) con  $I=8$

e Calcolo ( $V = V + WR(I, k) * H2$ )

$$WR(8,1)=100$$

$$H2=0,0625$$

$$WR(8,1) \times H2 = 6,25$$

$$\Sigma (WR(7, 1) * H2) + (WR(8, 1) * H2) = 12,5$$

$$\Sigma ((WR(7, 1) * H2) + (WR(8, 1) * H2)) \times dt(2) = 12,5 \times 6,00 = 75,00$$

dove  $dt(2)=6$  è la distanza dal Telaio n.2 in dir.Y dall'asse Y e

$$\Sigma (WR(7, 1) * H2) + (WR(8, 1) * H2) = 75,00$$

$$dt(2)=6,00$$

Sommatoria delle rigidezze dei Telai 1 e 2 dir Y

$$\Sigma (WR(5, 1) * H2) + (WR(6, 1) * H2) + (WR(7, 1) * H2) + (WR(8, 1) * H2) =$$

$$= 8,78 + 12,50 = 21,28$$

Sommatoria del Momento Statico rispetto all'asse X

$$\Sigma (WR(5, 1) * H2) + (WR(6, 1) * H2) \times dt(1) + (WR(7, 1) * H2) + (WR(8, 1) * H2) \times dt(2) = 0 + 75,00$$

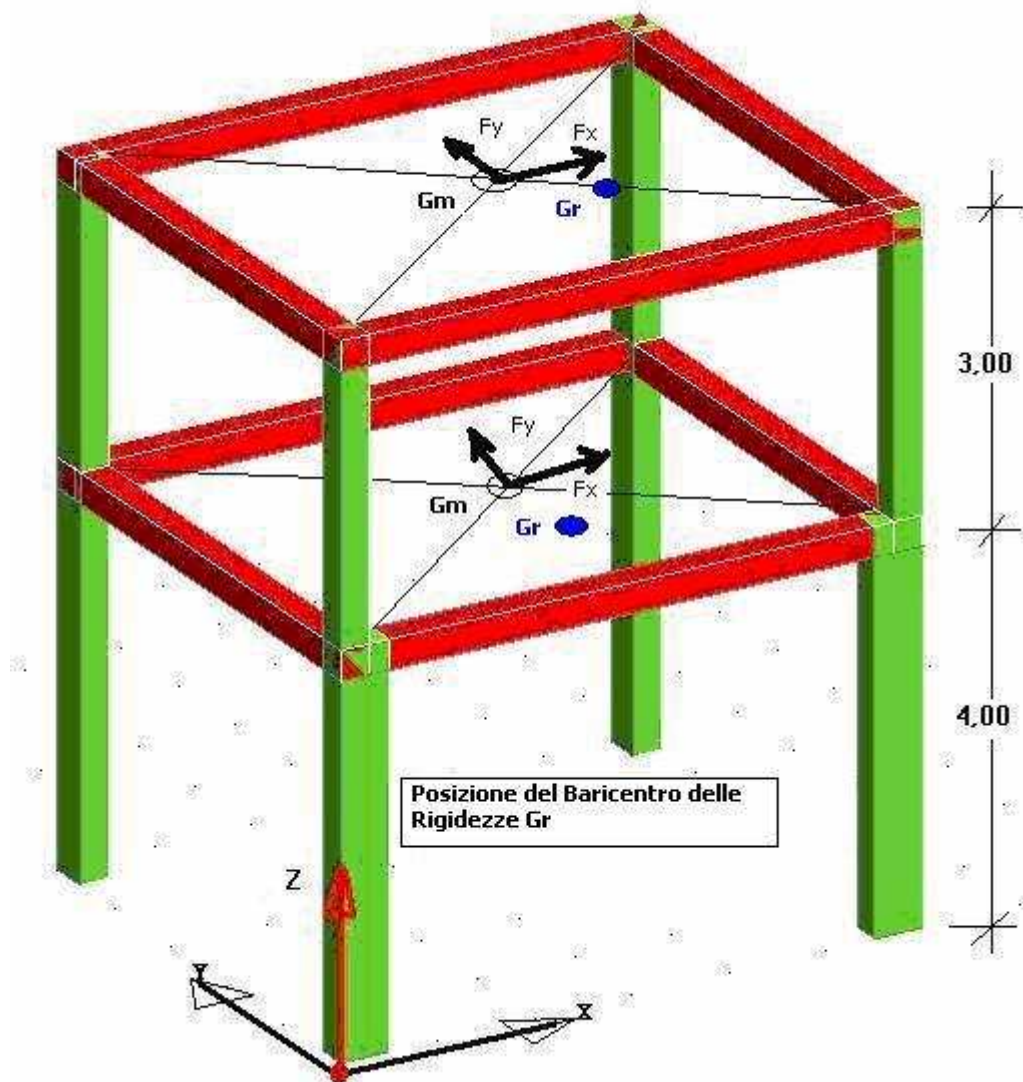
$$X_{gr} = \frac{\Sigma (WR(5, 1) * H2) + (WR(6, 1) * H2) \times dt(1) + (WR(7, 1) * H2) + (WR(8, 1) * H2) \times dt(2)}{\Sigma (WR(5, 1) * H2) + (WR(6, 1) * H2) + (WR(7, 1) * H2) + (WR(8, 1) * H2)}$$

$$X_{gr(1)} = 75,00 / 21,25 = 3,52 \text{ m}$$

Operando alla stessa maniera al Piano 2 per i Telai in direzione X ed Y ed omettendo le calcolazioni di passaggio in quanto simili a quelle effettuate per il Piano 1, si riportano i risultati finali ottenuti al Piano 2 che appresso si descrivono:

Piano 2

$$X_{gr(2)} = 4,22 \text{ m} \quad Y_{gr(2)} = 2,85 \text{ m}$$



A questo punto dovremmo Calcolare **la Somma dei Momenti d'incastro perfetto e dei Momenti nei Nodi**, nel caso in specie, essendo i Telai caricati solo da Forza Orizzontale in dir X il risultato dei suddetti momenti è uguale a zero, per cui conseguentemente si omette tale calcolazione.

#### CARICHI VERTICALI

TELAIO	CAMPATA (t / m)	PIANO	CARICO
1 x	1-2	1	0
1 x	1-2	2	0
2 x	3-4	1	0
2 x	3-4	2	0
1 y	1-3	1	0
1 y	1-3	2	0
2 y	2-4	1	0
2 y	2-4	2	0

#### CALCOLO DELLA SOMMA FORZE E MOMENTI DI PIANO

Dati:

piano	FORZE ORIZZONTALI				M (tm)
	x (m)	y (m)	Fx (t)	Fy (t)	
1	3	2,5	3	0	0
2	3	2,5	4	0	0

Calcola somma forze e momenti di piano

Piano N.=1

Prendo i valori dei Carichi Orizzontali pari a  $FX(1)=3$   $FY(1)=0$

Momenti sollecitanti dovuti ai Carichi Orizzontali  $FX(K)$  e  $FY(K)$

calcolati con la formula

$$QM(K) = FM(K) + FX(K) * (Ygm(K) - Ygr(K)) - FY(K) * (Xgm(K) - Xgr(K))$$

$$QM(1)=FM(1)+FX(1)x(Ygm(1)-(Ygr(1)))-FY(1)x(Xgm(1)- Xgr(1))=4,14596273291926$$

Piano N.=2

Prendo i valori dei Carichi Orizzontali pari a  $FX(2)=4$   $FY(2)=0$

Momenti sollecitanti dovuti ai Carichi Orizzontali  $FX(K)$  e  $FY(K)$

calcolati con la formula

$$QM(K) = FM(K) + FX(K) * (Ygm(K) - Ygr(K)) - FY(K) * (Xgm(K) - Xgr(K))$$

$$QM(2)=FM(2)+FX(2)x(Ygm(2)-(Ygr(2)))-FY(2)x(Xgm(2)- Xgr(2))=-1,42857142857143$$

Adesso calcolerò la Somma delle forze in gioco in Dir X ed Y dal Piano Superiore all'Inferiore

Calcolo di  $QX(K) = QX(K) + QX(K1)$

$QX(1)=QX(1)+QX(2)=7$

Calcolo di  $QY(K) = QY(K) + QY(K1)$

$QY(1)=QY(1)+QY(2)=0$

Calcolo di

$QM(K) = QM(K) + QM(K1) + QX(K1) * (Y_{gr}(K1) - Y_{gr}(K)) - QY(K1) * (X_{gr}(K1) - X_{gr}(K))$

$QM(1)=QM(1)+QM(2)+QX(2)x(Y_{gr}(2)-Y_{gr}(1))-QY(2)x(X_{gr}(2)-X_{gr}(1))=9,67391304347826$

### RISOLUZIONE ITERATIVA DEL SISTEMA CON OPERAZIONE DI NODO E DI PIANO

Infine nel calcolare la Caratteristiche di Sollecitazioni delle aste  $M, N, T, \delta$  e  $\varphi$  (Momento, Sforzo Normale, Taglio, Spostamento e Rotazione), così come riportato nell'algoritmo di calcolo, e per la risoluzione dell'insieme spaziale ci si è riferiti al Metodo degli Spostamenti assumendo come incognite:

-le rotazioni dei nodi dei Telai nel piano cui ciascun telaio appartiene ( $\varphi$  per il nodo  $i$ ),  
fig.3 riportata a pag 244 del libro prof. Ghersi Editore CUEN appresso riportata:

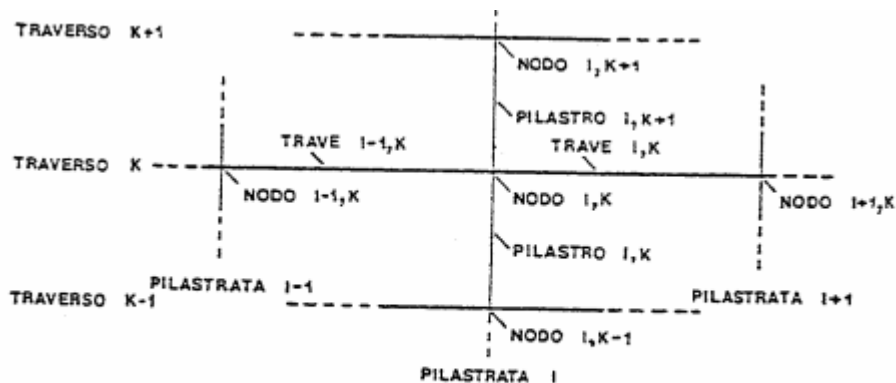


FIG.3

-le tre componenti di movimento che definiscono lo spostamento relativo tra impalcati adiacenti e più precisamente:

- le componenti in direzione  $x$  ed  $y$  dello spostamento relativo di un punto  $G_r$  dell'impalcato  $r$  rispetto alla sua posizione sull'impalcato sottostante ( $\delta_{grx}$  e  $\delta_{gry}$ );
- la rotazione relativa dell'impalcato  $r$  rispetto all'impalcato sottostante ( $\Phi_r$ ) il tutto meglio descritto e rappresentato nella figura n.8 pag 305 del libro prof. Ghersi Editore CUEN e sottorappresentata:

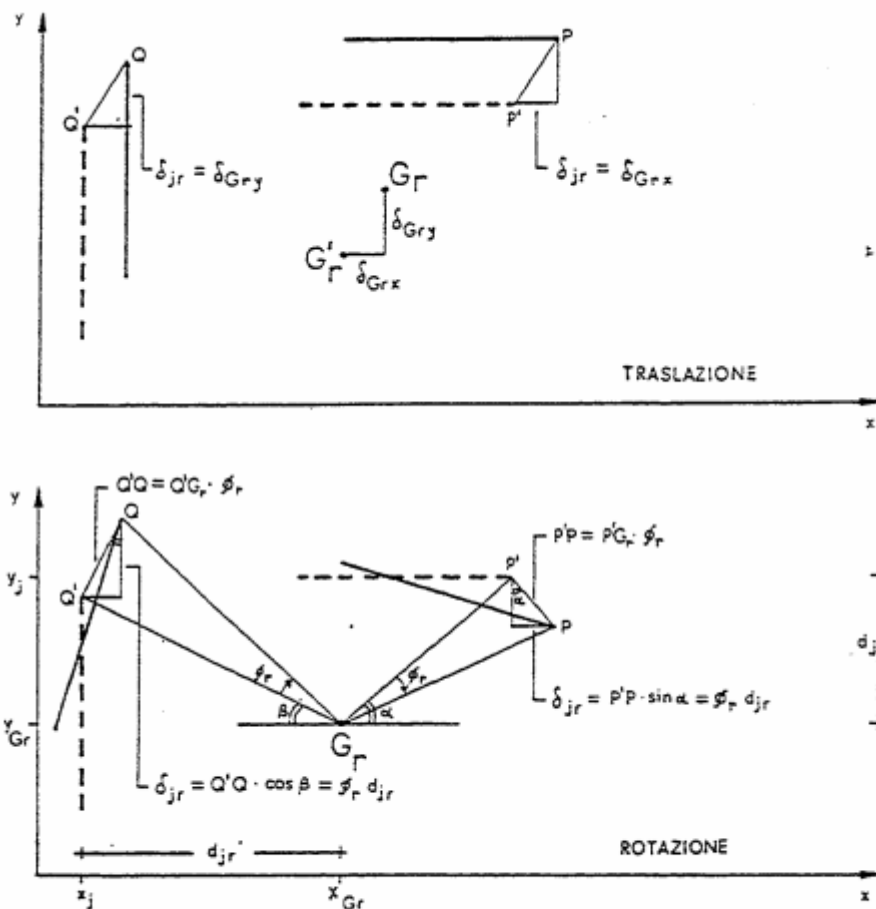


FIG.8 Relazione tra componenti di movimento dell'impalcato e spostamento dei telai piani.

telai paralleli all'asse  $x$ :

$$d_{jr} = y_j - y_{Gr}$$

$$\delta_{jr} = \delta_{Grx} + \Phi_r d_{jr}$$

telai paralleli all'asse  $y$ :

$$d_{jr} = -(x_j - x_{Gr})$$

$$\delta_{jr} = \delta_{Gry} + \Phi_r d_{jr}$$



Si evidenzia che la risoluzione iterativa del sistema di equazioni viene esperita alternando ciclicamente le operazioni di nodo e di piano fino al raggiungimento della convergenza e cioè finchè i valori determinati in un ciclo non siano sufficientemente prossimi a quelli ottenuti nel ciclo precedente.

In particolare l'algoritmo risolutivo del sistema determina il valore della rotazione del generico nodo I al piano K necessaria per il suo equilibrio per l'operazione di Nodo, ed inoltre per l'operazione di Piano determina il valore delle componenti di movimento relativo tra gli impalcati che racchiudono l'interpiano K, necessarie per l'equilibrio alla traslazione in direzione x,y ed alla rotazione.

Infine determina gli spostamenti relativi tra i traversi dei Telai Piani conseguenti alle componenti di movimento trovate.

La formula utilizzata per la determinazione della **Rotazione ( $\varphi_i$ ) del generico Nodo(I,K)** è la seguente:

$$\varphi_i = \frac{\sum_k M_{ik}^{\circ}}{\sum_k 4 w'_{(ik)}}$$

E per la stessa determinazione concorrono le formule analitiche che appresso vengono rappresentate:

$$M_{ik}^{\circ} = 4 w'_{(ik)} \varphi_i$$

$$M_{(ik)}^* = -6 w'_{(ik)} \psi_{(ik)}$$

essendo

$M_{ik}^{\circ}$  il momento che insorge all'estremo i dell'asta ik in conseguenza di una rotazione  $\varphi_i$  dello stesso estremo (con  $\varphi_k = \psi_{(ik)} = 0$ );

$M_{(ik)}^*$  il momento che insorge agli estremi del ritto ik per effetto di uno spostamento relativo  $\delta_{jr}$  dei due estremi (con  $\varphi_i = \varphi_k = 0$ ).

Poiché lo spostamento  $\delta_{jr}$  può essere considerato somma di due aliquote, dovute rispettivamente alla traslazione ed alla rotazione relativa dei due impalcati che racchiudono l'interpiano r, si può scrivere:

$$M_{(ik)}^* = M_{(ik)}^{\delta} + M_{(ik)}^{\phi}$$

avendo posto:

$$M_{(ik)}^{\delta} = -6 w'_{(ik)} \frac{\delta_{Gr}}{h_r}$$

$$M_{(ik)}^{\phi} = -6 w'_{(ik)} \frac{\phi_r d_{jr}}{h_r}$$

ed essendo:

$M_{(ik)}^{\delta}$  il momento conseguente all'aliquota di spostamento dovuta alla traslazione;

$M_{(ik)}^{\phi}$  il momento conseguente all'aliquota di spostamento dovuta alla rotazione.

$w'_{(ik)} = \left( \frac{EI}{I} \right)_{(ik)}$  l'indice di rigidezza dell'asta ik;

$\varphi_i, \varphi_k$  le rotazioni dei nodi i e k;

$\psi_{(ik)}$  la rotazione dell'asta ik; essa è nulla per le travi, mentre per i ritti è pari al rapporto  $\delta_{jr}/h_r$ ;

$M_{ik}^\circ$  il momento che insorge all'estremo i dell'asta ik in conseguenza di una rotazione  $\varphi_i$  dello stesso estremo (con  $\varphi_k = \psi_{(ik)} = 0$ );

La formula utilizzata per calcolare l'Equilibrio del Piano alla Traslazione è:

$$\delta_{Gr} = \left[ Q_r + \sum_r 6 \frac{w'_{(ik)}}{h_r} (\varphi_i + \varphi_k) - \Phi_r \sum_r 12 \frac{w'_{(ik)}}{h_r^2} d_{jr} \right] \frac{1}{\sum_r 12 \frac{w'_{(ik)}}{h_r^2}}$$

La formula utilizzata per calcolare l'Equilibrio del Piano alla Rotazione è:

$$\Phi_r = \left[ M_r + \sum_r 6 \frac{w'_{(ik)}}{h_r} (\varphi_i + \varphi_k) d_{jr} - \delta_{Gr} \sum_r 12 \frac{w'_{(ik)}}{h_r^2} d_{jr} \right] \frac{1}{\sum_r 12 \frac{w'_{(ik)}}{h_r^2} d_{jr}^2}$$

Si precisa altresì che le operazioni di equilibramento sopradescritte equivalgono fisicamente a lasciar libero di deformarsi il singolo nodo o l'interpiano, mantenendo tutti gli altri nella configurazione precedentemente raggiunta e determinare i Momenti che insorgono al raggiungimento dell'equilibrio dell'elemento rilasciato.

Calcolo Numerico dell'Operazione di Nodo

Si riporta appresso un stralcio della Simbologia utilizzata dal programma tratto dallo stesso libro del prof. Ghersi (Editore CUEN) in modo che il lettore può desumere la relativa descrizione delle variabili utilizzate dallo stesso algoritmo operativo.

teoria	programma	descrizione
$\sum_k w'_{(ik)}$	WN(I,K)	somma degli indici di rigidezza delle aste che convergono nel nodo $i$ (I,K) (tm);
$\sum_{rx} \frac{w'}{h^2}$	WX(K)	somma dei $w'/h^2$ dei ritti appartenenti a telai paralleli all'asse x, nell'interpiano $r$ (K) (tm <sup>-1</sup> );
$\sum_{ry} \frac{w'}{h^2}$	WX(K)	somma dei $w'/h^2$ dei ritti appartenenti a telai paralleli all'asse y, nell'interpiano $r$ (K) (tm <sup>-1</sup> );
$\sum_r \frac{w'}{h^2} djr$	WF(K)	momento d'inerzia rispetto al loro baricentro dei $w'/h^2$ dei ritti dell'interpiano $r$ (K) (tm).

*Spostamenti e rotazioni.*

teoria	programma	descrizione
$\varphi_i$	FI(I,K)	rotazione del nodo $i$ (I,K) nel piano del telaio cui esso appartiene;
$\varphi_k$		rotazione del nodo $k$ ;
$\delta_{Grx}$	DX(K)	componente in direzione x dello spostamento relativo tra il punto $G_r$ e la sua proiezione sull'impalcato sottostante (m);
$\delta_{Gry}$	DY(K)	componente in direzione y dello spostamento relativo tra il punto $G_r$ e la sua proiezione sull'impalcato sottostante (m);
$\Phi_r$	DF(K)	rotazione relativa tra l'impalcato $r$ (K) e l'impalcato sottostante;
$\delta_{jr}$	D(J,K)	componente dello spostamento relativo tra gli estremi dei ritti del telaio $j$ (J) nell'interpiano $r$ (K) valutata rispetto alla direzione del telaio stesso (m);
	D(J,K)	una volta effettuata la risoluzione iterativa del sistema: componente dello spostamento assoluto del traverso del telaio J all'impalcato K rispetto alla base del telaio, valutata nella direzione del telaio stesso (m).

Carichi esterni e caratteristiche di sollecitazione.

teoria	programma	descrizione
	IV	indice di esistenza di carichi verticali sulle travi (0 = non esistono);
	IM	indice di esistenza di carichi concentrati nei nodi (0 = non esistono);
	IO	indice di esistenza di carichi orizzontali agli impalcati (0 = non esistono);
$q_{(ik)}$	Q(I,K)	carico verticale uniformemente distribuito sulla trave (ik) (I,K) ( $tm^{-1}$ );
$\overline{M}_{ik}$		momento d'incastro perfetto all'estremo i della trave (ik);
$M_i$	MN(I,K)	momento concentrato nel nodo i (I,K) (tm);
$\sum_k \overline{M}_{ik}$		somma dei momenti d'incastro perfetto delle aste che confluiscono nel nodo i;
	SM(I,K)	momento concentrato nel nodo I,K meno la somma dei momenti d'incastro perfetto delle travi;
$x_{Fr}$	XF(K)	ascissa del punto di applicazione del carico orizzontale dell'impalcato r (K) (m);
$y_{Fr}$	YF(K)	ordinata del punto di applicazione del carico orizzontale sull'impalcato r (K) (m);
$F_{xr}$	FX(K)	componente in direzione x del carico orizzontale applicato all'impalcato r (K) (t);
$F_{yr}$	FY(K)	componente in direzione y del carico orizzontale applicato all'impalcato r (K) (t);
	FM(K)	momento esterno applicato all'impalcato r (K) (tm);
$Q_{xr}$	QX(K)	componente in direzione x del taglio globale all'interpiano r (K) (somma delle componenti $F_x$ delle forze applicate all'impalcato r (K) e agli impalcati sovrastanti) (t);

teoria	programma	descrizione
$Q_{yr}$	QT(K)	componente in direzione $y$ del taglio globale all'interpiano $r$ (K) (somma delle componenti $F_y$ delle forze applicate all'impalcato $r$ (K) e agli impalcati sovrastanti) (t);
$M_r$	QM(K)	momento globale dei tagli all'interpiano $r$ (K) rispetto al baricentro dei $w'/h^2$ (momento rispetto a tale punto delle forze $F_x$ ed $F_y$ applicate all'impalcato $r$ (K) ed agli impalcati sovrastanti, più i momenti concentrati di piano) (tm);
$M_{ik}$		momento all'estremo $i$ dell'asta ( $ik$ );
$T_{ik}$		taglio all'estremo $i$ dell'asta ( $ik$ );
	MS(I,K)	momento all'estremo sinistro della trave I,K (tm);
	MD(I,K)	momento all'estremo destro della trave I,K (tm);
	MT(I,K)	momento in testa al ritto I,K (tm);
	MP(I,K)	momento al piede del ritto I,K (tm);
	TS(I,K)	taglio all'estremo sinistro della trave I,K (t);
	TD(I,K)	taglio all'estremo destro della trave I,K (t);
	TR(I,K)	taglio nel ritto I,K (t);
	SN(I,K)	sforzò normale nel ritto I,K (t).

*Altre variabili.*

teoria	programma	descrizione
	ER	indica errore nei dati;
	FIS	nome del file che contiene i dati;
	FO\$	nome del file a cui inviare i risultati;
	H2	altezza dell'interpiano elevata al quadrato;
	J1	primo estremo di un ciclo in J;
	J2	secondo estremo di un ciclo in J;

*Risoluzione di telai spaziali a maglie rettangolari*

- 315 -

K1	K + 1;
KV	per stampa intestazioni;
IT\$	intestazione dell'elaborazione;
N	valore letto della numerazione dei pilastri in carpenteria;
S,S1,S2	registri ausiliari per somma;
SQ	indica l'esistenza di squilibrio (0=no, 1=si);
V	variabile ausiliaria di uso generico;
V\$	stringa per la stampa; contiene "x" o "y".

Si evidenzia che per ogni ciclo di equilibrio Nodo e Piano viene controllata la convergenza pari ad un valore inferiore di 0,0005, quando ciò accade durante l'iesimo giro, e si verifica che i valori ottenuti in un ciclo iesimo sono sufficientemente prossimi a quelli ottenuti nel ciclo precedente allora si può dire che si è raggiunto l'equilibramento del Nodo e del Piano. Infine si precisa che in tale calcolo viene effettuato anche la determinazione degli spostamenti relativi.

Al fine di non avere nessun disorientamento o senso di noia al discorso in specie, ed anche al fine di agevolare il lettore, cerco con le operazioni numeriche che seguono, di abbinare lo studio e l'approfondimento del percorso dell'algoritmo operativo utilizzato per la risoluzione del Telaio Spaziale, con i risultati ottenuti.

Si Ricorda che  $K_z=2$  è il Numero di Piani

Inizio 1° Giro

Inizio per il nodo  $I,K=1,1$

Vado sul Nodo n.1 del Piano n.1

Nel nodo troverò che il valore di sarà:

$$WN(1,1)=279,6875$$

Calcolo del Momento:

$$S = SM(1,1) + 6 \times WR(1,1) \times D(1,1) / H(1) = 0$$

- dove  $SM(I,K)$  è il Momento concentrato nel Nodo  $(I,K)$ ;
- il valore di  $6 \times WR(1,1) \times D(1,1) / H(1)$  rappresenta il valore del Momento che insorge agli estremi del Ritto  $ik$  per effetto di uno spostamento relativo  $\delta ir$  dei due estremi con  $\phi_i = \phi_k = 0$ ;
- $S$  è una variabile di registro utilizzata per sommatore.

Nel nostro caso i valori sono:

$$SM(1, 1)=0 \quad WR(1, 1)=195,3125 \quad D(1, 1)=0 \quad e \quad H(1)=4$$

Vado sul Piano n.1 e sulla Pilastrata n.1

$$K=1 \quad ed \quad M=1$$

Nell'algoritmo si nota che essendo  $K < K_z$  per il Calcolo del Momento si applicherà la formula

$$S = S + 6 * WR(1,2) * D(1, 2) / H(2) - 2 * WR(1, 2) * FI(1, 2) = 0$$

In quanto  $D(1,2)=0$  e  $FI(1,2)=0$

Mentre sulla Pilastrata essendo il numero della Pilastrata  $M < MR(J)$  si applicherà la formula

$$S = S - 2 * WT(1,1) * FI(2,1) \quad dove \quad M=1$$

Infine calcolerò il Valore assoluto per verificare la convergenza che deve essere inferiore a 0,0005

$$Abs(S - 4 * WN(1, 1) * FI(1, 1)) < 0.0005 \quad in \quad questo \quad caso \quad non \quad Verifica.$$

Mi sposto sul Nodo n.2 del Piano n.1

Inizio Operazione di nodo per il nodo  $I,K=2,1$

$$WN(2,1)=279,6875$$

$$S = SM(2,1) + 6 \times WR(2,1) \times D(1,1) / H(1) = 0$$

$$dove \quad SM(I, K)=0 \quad WR(I, K)=195,3125 \quad D(J, K)=0 \quad e \quad H(K)=4$$

Vado sul Piano n.1 e sulla Pilastrata n.2

$$K=1 \quad ed \quad M=2$$

Nell'algoritmo si nota che essendo  $K < K_z$  per il Calcolo del Momento si applicherà la formula

$$S = S + 6 * WR(2, 2) * D(1, 2) / H(2) - 2 * WR(2, 2) * FI(2, 2) = 0$$

In quanto  $D(1,2)=0$  e  $FI(2,2)=0$

Mentre sulla Pilastrata essendo il numero della Pilastrata  $M > 1$  si applicherà la formula

$$S = S - 2 * WT(1, 1) * FI(1,1) \text{ dove } M=2$$

Infine calcolerò il Valore assoluto per verificare la convergenza che deve essere inferiore a 0,0005  
 $Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005$  in questo caso non Verifica.

Operando come sopra descritto, continuerò le operazioni numeriche per i restanti nodi appartenenti ai Telai di competenza lungo x ed y. Infine per far in modo da poter seguire l'algoritmo operativo ho lasciato le formule riportate nello stesso indicandone in anteprima all'operazione il valore degli indici matriciali.

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=3,1

$$WN(3,1)=159,375$$

$$S = SM(3,1)+6 * WR(3,1) * D(2,1) / H(1)=0$$

dove  $SM(I, K)=0$   $WR(I, K)=56,25$   $D(J, K)=0$  e  $H(K)=4$

K =1 ed M=1

$$S = S + 6 * WR(I, K + 1) * D(J, K + 1) / H(K + 1) - 2 * WR(I, K + 1) * FI(I, K + 1) \quad K=1$$

Pilastrata n.1

$$S - 2 * WT(I, K) * FI(I + 1, K) \text{ dove } M=1$$

$Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005$  non Verifica

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=4,1

$$WN(4,1)=159,375$$

$$S = SM(4,1)+6 * WR(4,1) * D(2,1) / H(1)=0$$

dove  $SM(I, K)=0$   $WR(I, K)=56,25$   $D(J, K)=0$  e  $H(K)=4$

K =1 ed M=2

$$S = S + 6 * WR(I, K + 1) * D(J, K + 1) / H(K + 1) - 2 * WR(I, K + 1) * FI(I, K + 1) \quad K=1$$

Pilastrata n.2

$$S = S - 2 * WT(I - 1, K) * FI(I - 1, K) \text{ dove } M=2$$

$Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005$  non Verifica

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=5,1

$$WN(5,1)=160,3125$$

$$S = SM(5,1)+6 * WR(5,1) * D(3,1) / H(1)=0$$

$SM(I, K)=0$   $WR(I, K)=70,3125$   $D(J, K)=0$  e  $H(K)=4$

K =1 ed M=1

$$S = S + 6 * WR(I, K + 1) * D(J, K + 1) / H(K + 1) - 2 * WR(I, K + 1) * FI(I, K + 1) \quad K=1$$

$$S = S - 2 * WT(I, K) * FI(I + 1, K) \text{ dove } M=1$$

$Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005$  non Verifica

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=6,1

$$WN(6,1)=160,3125$$

$$S = SM(6,1)+6 * WR(6,1) * D(3,1) / H(1)=0$$

dove  $SM(I, K)=0$   $WR(I, K)=70,3125$   $D(J, K)=0$  e  $H(K)=4$

K =1 ed M=2

$$S = S + 6 * WR(I, K + 1) * D(J, K + 1) / H(K + 1) - 2 * WR(I, K + 1) * FI(I, K + 1) \quad K=1$$

$$S = S - 2 * WT(I - 1, K) * FI(I - 1, K) \text{ dove } M=2$$

$Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005$  non Verifica

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=7,1

$$WN(7,1)=267,083$$

$$S = SM(7,1)+6 * WR(7,1) * D(4,1) / H(1)=0$$

dove  $SM(I, K)=0$   $WR(I, K)=100$   $D(J, K)=0$  e  $H(K)=4$

K =1 ed M=1

$$S = S + 6 * WR(I, K + 1) * D(J, K + 1) / H(K + 1) - 2 * WR(I, K + 1) * FI(I, K + 1) \quad K=1$$

$$S = S - 2 * WT(I, K) * FI(I + 1, K) \quad \text{dove } M=1$$

$$Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005 \quad \text{non Verifica}$$

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=8,1

$$WN(8,1)=267,083$$

$$S = SM(8,1)+6 * WR(8,1) * D(4,1) / H(1)=0$$

$$\text{dove } SM(I, K)=0 \quad WR(I, K)=100 \quad D(J, K)=0 \quad \text{e} \quad H(K)=4$$

K =1 ed M=2

$$S = S + 6 * WR(I, K + 1) * D(J, K + 1) / H(K + 1) - 2 * WR(I, K + 1) * FI(I, K + 1) \quad K=1$$

$$S = S - 2 * WT(I - 1, K) * FI(I - 1, K) \quad \text{dove } M=2$$

$$Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005 \quad \text{non Verifica}$$

Adesso Passiamo al Piano n.2

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=1,2

$$WN(1,2)=84,375$$

$$S = SM(1,2)+6 * WR(1,2) * D(1,2) / H(2)=0$$

$$\text{dove } SM(I, K)=0 \quad WR(I, K)=56,25 \quad D(J, K)=0 \quad \text{e} \quad H(K)=3$$

K =2 ed M=1

$$S = S - 2 * WR(I, K) * FI(I, K - 1) \quad K=2$$

$$S = S - 2 * WT(I, K) * FI(I + 1, K) \quad \text{dove } M=1$$

$$Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005 \quad \text{non Verifica}$$

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=2,2

$$WN(2,2)=84,375$$

$$S = SM(2,2)+6 * WR(2,2) * D(1,2) / H(2)=0$$

$$\text{dove } SM(I, K)=0 \quad WR(I, K)=56,25 \quad D(J, K)=0 \quad \text{e} \quad H(K)=3$$

K =2 ed M=2

$$S = S - 2 * WR(I, K) * FI(I, K - 1) \quad K=2$$

$$S = S - 2 * WT(I - 1, K) * FI(I - 1, K) \quad \text{dove } M=2$$

$$Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005 \quad \text{non Verifica}$$

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=3,2

$$WN(3,2)=103,125$$

$$S = SM(3,2)+6 * WR(3,2) * D(2,2) / H(2)=0$$

$$\text{dove } SM(I, K)=0 \quad WR(I, K)=75 \quad D(J, K)=0 \quad \text{e} \quad H(K)=3$$

K =2 ed M=1

$$S = S - 2 * WR(I, K) * FI(I, K - 1) \quad K=2$$

$$S = S - 2 * WT(I, K) * FI(I + 1, K) \quad \text{dove } M=1$$

$$Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005 \quad \text{non Verifica}$$

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=4,2

$$WN(4,2)=103,125$$

$$S = SM(4,2)+6 * WR(4,2) * D(2,2) / H(2)=0$$

$$\text{dove } SM(I, K)=0 \quad WR(I, K)=75 \quad D(J, K)=0 \quad \text{e} \quad H(K)=3$$

K =2 ed M=2

$$S = S - 2 * WR(I, K) * FI(I, K - 1) \quad K=2$$

$$S = S - 2 * WT(I - 1, K) * FI(I - 1, K) \quad \text{dove } M=2$$

$$Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005 \quad \text{non Verifica}$$



Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=5,2  
 $WN(5,2)=90$   
 $S = SM(5,2)+6 \times WR(5,2) \times D(3,2) / H(2)=0$   
dove  $SM(I, K)=0$   $WR(I, K)=56,25$   $D(J, K)=0$  e  $H(K)=3$   
 $K=2$  ed  $M=1$   
 $S = S - 2 * WR(I, K) * FI(I, K - 1)$   $K=2$   
 $S = S - 2 * WT(I, K) * FI(I + 1, K)$  dove  $M=1$   
 $Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005$  non Verifica

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=6,2  
 $WN(6,2)=90$   
 $S = SM(6,2)+6 \times WR(6,2) \times D(3,2) / H(2)=0$   
dove  $SM(I, K)=0$   $WR(I, K)=56,25$   $D(J, K)=0$  e  $H(K)=3$   
 $K=2$  ed  $M=2$   
 $S = S - 2 * WR(I, K) * FI(I, K - 1)$   $K=2$   
 $S = S - 2 * WT(I - 1, K) * FI(I - 1, K)$  dove  $M=2$   
 $Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005$  Non Verifica

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=7,2  
 $WN(7,2)=167,0833333333333$   
 $S = SM(7,2)+6 \times WR(7,2) \times D(4,2) / H(2)=0$   
dove  $SM(I, K)=0$   $WR(I, K)=133,3333333333333$   $D(J, K)=0$  e  $H(K)=3$   
 $K=2$  ed  $M=1$   
 $S = S - 2 * WR(I, K) * FI(I, K - 1)$   $K=2$   
 $S = S - 2 * WT(I, K) * FI(I + 1, K)$  dove  $M=1$   
 $Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005$  Non Verifica

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=8,2  
 $WN(8,2)=167,0833333333333$   
 $S = SM(8,2)+6 \times WR(8,2) \times D(4,2) / H(2)=0$   
dove  $SM(I, K)=0$   $WR(I, K)=133,3333333333333$   $D(J, K)=0$  e  $H(K)=3$   
 $K=2$  ed  $M=2$   
 $S = S - 2 * WR(I, K) * FI(I, K - 1)$   $K=2$   
 $S = S - 2 * WT(I - 1, K) * FI(I - 1, K)$  dove  $M=2$   
 $Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005$  Non Verifica

## Segue Operazione di Piano

Piano n.1  
Operazione di piano per il piano K=1

Ciclando le Pilastrate ed accumulando in una variabile ausiliaria V il valore della rotazione F(I,K) che nel nostro caso è pari a:

$$V = FI(1,1)=0$$

Calcolerò il valore di S pari a  $S=S+V*WR(I,K)$  con valore iniziale di  $S=0$  essendo il contatore

Si precisa che se  $K > 1$  allora si userà la formula di  $V=V+FI(I,K-1)$  e poi si va a seguire

$$S = 0+0 \times WR(1,1)=0$$

$$V = FI(2,1)=0$$

$$S = 0+0 \times WR(2,1)=0$$

Calcolo di  $S1 = S1 + S \rightarrow S1 = 0+0=0$  accumulo in S1 il valore di S

$$\text{Calcolo di } S2 = S2 + S * DG(J, K) \rightarrow S2 = 0+0 \times DG(1,1)=0$$

$$V = FI(3,1)=0$$

$$S = 0+0 \times WR(3,1)=0$$

$$V = FI(4,1)=0$$

$$S = 0 + 0 \times WR(4,1) = 0$$

$$\text{Calcolo di } S1 = S1 + S \rightarrow S1 = 0 + 0 = 0$$

$$\text{Calcolo di } S2 = S2 + S * DG(J, K) \rightarrow S2 = 0 + 0 \times DG(2,1) = 0$$

Con tale procedura ho ciclato i due Telai in direzione X, per cui tornerò nell'operazione di Piano ed utilizzando le formule appresso indicate, calcolerò il valore di S1 che è pari a:

$\sum_{rx} \left( \frac{w'}{h^2} \right)_{(ik)}$	WX (K)	somma dei $w'/h^2$ dei ritti appartenenti a telai paralleli all'asse x, nell'interpiano r (K) (t/m)
$\sum_{ry} \left( \frac{w'}{h^2} \right)_{(ik)}$	WY (K)	somma dei $w'/h^2$ dei ritti appartenenti a telai paralleli all'asse y, nell'interpiano r (K) (t/m)
$\sum_r \left( \frac{w'}{h^2} \right) d_{ir}^2$	WF (K)	momento d'inerzia rispetto al loro baricentro dei $w'/h^2$ dei ritti dell'interpiano r (K) (tm)

Dall'equilibrio del Piano alla Traslazione si ha:

$$Q_r + \sum_r 6 w'_{(ik)} \frac{\varphi_i + \varphi_k}{h_r} - \sum_r 12 w'_{(ik)} \frac{\delta_{ir}}{h_r^2} = 0$$

Dove

$$S1 = Q_r + \sum_r 6 w'_{(ik)} \frac{\varphi_i + \varphi_k}{h_r}$$

$$WX (K) = \sum_{rx} \left( \frac{w'}{h^2} \right)_{(ik)}$$

e

$Q_{xr}$	QX (K)	componente in direzione x del taglio globale all'interpiano r (K) (somma delle componenti $F_x$ delle forze applicate all'impalcato r (K) e agli impalcati sovrastanti) (t)
----------	--------	---

Calcolato S1 potrà calcolare il valore di  $\delta_{ir}$  (componente dello spostamento relativo tra gli estremi dei ritti del telaio j nell'interpiano r(K) valutata nella direzione del telaio stesso in (m) è pari a:

$$\delta_{ir} = \frac{Q_r + \sum_r 6 w'_{(ik)} \frac{\varphi_i + \varphi_k}{h_r}}{12 \sum_{rx} \left( \frac{w'}{h^2} \right)_{(ik)}}$$

Calcolo operativo:

$$\text{Calcolo di } S1 = QX(1) + 6 \times S1 / H(1) = 7$$

$$\text{Calcolo di } DX(1) = S1 / 12 / WX(1) = 1,85507246376812E-02$$

Adesso Passerò al calcolo dei Telai in direzione Y ed opererò allo stesso modo:

$$V = FI(5,1) = 0$$

$S = 0 + 0 \times WR(5,1) = 0$   
 $V = FI(6,1) = 0$   
 $S = 0 + 0 \times WR(6,1) = 0$   
 Calcolo di  $S1 = S1 + S \rightarrow S1 = 0 + 0 = 0$   
 Calcolo di  $S2 = S2 + S * DG(J, K) \rightarrow S2 = 0 + 0 \times DG(3,1) = 0$   
 $V = FI(7,1) = 0$   
 $S = 0 + 0 \times WR(7,1) = 0$   
 $V = FI(8,1) = 0$   
 $S = 0 + 0 \times WR(8,1) = 0$   
 Calcolo di  $S1 = S1 + S \rightarrow S1 = 0 + 0 = 0$   
 Calcolo di  $S2 = S2 + S * DG(J, K) \rightarrow S2 = 0 + 0 \times DG(4,1) = 0$

Calcolo di  $S1 = QY(1) + 6 \times S1 / H(1) = 0$   
 Calcolo di  $S2 = QM(1) + 6 \times S2 / H(1) = 9,67391304347826$

Ricorda che per il calcolo del  $DX(K)$  e  $DY(K)$  si utilizza la formula che segue :

$$\delta_{Gr} = \left[ Q_r + \sum_r 6 \frac{w'_{(ik)}}{h_r} (\varphi_i + \varphi_k) \right] \frac{1}{\sum_r 12 \frac{w'_{(ik)}}{h_r^2}}$$

Mentre per il calcolo di  $DF(K)$  rotazione:

$$\Phi_r = \left[ M_r + \sum_r 6 \frac{w'_{(ik)}}{h_r} (\varphi_i + \varphi_k) d_{jr} \right] \frac{1}{\sum_r 12 \frac{w'_{(ik)}}{h_r^2} d_{jr}^2}$$

Calcolo Spostamento Telaio in dir X

$D(1,1) = DX(1) + DG(1,1) \times DF(1) = 0,015753891040505$   
 dove  $DX(1) = 1,85507246376812E-02$   $DG(1,1) = -1,11801242236025$   
 e  $DF(1) = 2,50161227302983E-03$   
 $D(2,1) = DX(1) + DG(2,1) \times DF(1) = 2,82619524056541E-02$   
 dove  $DX(1) = 1,85507246376812E-02$   $DG(2,1) = 3,88198757763975$   
 e  $DF(1) = 2,50161227302983E-03$

Calcolo Spostamento Telaio in dir Y

$D(3,1) = DY(1) + DG(3,1) \times DF(1) = 8,81301938388492E-03$   
 dove  $DY(1) = 0$   $DG(3,1) = 3,52293577981651e$   $DF(1) = 2,50161227302983E-03$   
 $D(4,1) = DY(1) + DG(4,1) \times DF(1) = -6,19665425429408E-03$   
 dove  $DY(1) = 0$   $DG(4,1) = -2,47706422018349e$   $DF(1) = 2,50161227302983E-03$

Piano n.2

Operazione di piano per il piano  $K=2$   
 Valgono le stesse ed identiche operazioni già sopradescritte.  
 $V = FI(1,2) = 0$   
 $V = V + FI(I, K - 1)$   $K=2$  per cui  $V = 0 + FI(1,1) = 0$   
 $S = 0 + 0 \times WR(1,2) = 0$   
 $V = FI(2,2) = 0$

$V = V + FI(I, K - 1) \quad K=2$  per cui  $V = 0 + FI(2,1)=0$   
 $S = 0+0x \quad WR(2,2)=0$   
 Calcolo di  $S1 = S1 + S \rightarrow S1 = 0+0=0$   
 Calcolo di  $S2 = S2 + S * DG(J, K) \rightarrow S2 = 0+0xDG(1,2)=0$   
 $V = FI(3,2)=0$   
 $V = V + FI(I, K - 1) \quad K=2$  per cui  $V = 0 + FI(3,1)=0$   
 $S = 0+0x \quad WR(3,2)=0$   
 $V = FI(4,2)=0$   
 $V = V + FI(I, K - 1) \quad K=2$  per cui  $V = 0 + FI(4,1)=0$   
 $S = 0+0x \quad WR(4,2)=0$   
 Calcolo di  $S1 = S1 + S \rightarrow S1 = 0+0=0$   
 Calcolo di  $S2 = S2 + S * DG(J, K) \rightarrow S2 = 0+0xDG(2,2)=0$

Calcolo di  $S1 = QX(2) + 6 x S1/ H(2)=4$   
 Calcolo di  $DX(2) = S1/12/WX(2)=1,14285714285714E-02$

$V = FI(5,2)=0$   
 $V = V + FI(I, K - 1) \quad K=2$  per cui  $V = 0 + FI(5,1)=0$   
 $S = 0+0x \quad WR(5,2)=0$   
 $V = FI(6,2)=0$   
 $V = V + FI(I, K - 1) \quad K=2$  per cui  $V = 0 + FI(6,1)=0$   
 $S = 0+0x \quad WR(6,2)=0$   
 Calcolo di  $S1 = S1 + S \rightarrow S1 = 0+0=0$   
 Calcolo di  $S2 = S2 + S * DG(J, K) \rightarrow S2 = 0+0xDG(3,2)=0$   
 $V = FI(7,2)=0$   
 $V = V + FI(I, K - 1) \quad K=2$  per cui  $V = 0 + FI(7,1)=0$   
 $S = 0+0x \quad WR(7,2)=0$   
 $V = FI(8,2)=0$   
 $V = V + FI(I, K - 1) \quad K=2$  per cui  $V = 0 + FI(8,1)=0$   
 $S = 0+0x \quad WR(8,2)=0$   
 Calcolo di  $S1 = S1 + S \rightarrow S1 = 0+0=0$   
 Calcolo di  $S2 = S2 + S * DG(J, K) \rightarrow S2 = 0+0xDG(4,2)=0$

Calcolo di  $S1 = QY(2) + 6 x S1/ H(2)=0$   
 Calcolo di  $S2 = QM(2) + 6 x S2/ H(2)=-1,42857142857143$

Calcolo Spostamento Telaio in dir X  
 $D(1,2)=DX(2) + DG(1,2)xDF(2)=1,21156387083135E-02$   
 dove  $DX(2)=1,14285714285714E-02 \quad DG(1,2)=-2,85714285714286$   
 e  $DF(2)=-2,4047354790973E-04$   
 $D(2,2)=DX(2) + DG(2,2)xDF(2)=1,09132709687649E-02$   
 dove  $DX(2)=1,14285714285714E-02 \quad DG(2,2)=2,14285714285714$   
 e  $DF(2)=-2,4047354790973E-04$   
 Calcolo Spostamento Telaio in dir Y  
 $D(3,2)=DY(2) + DG(3,2)xDF(2)=-1,01474552084985E-03$   
 dove  $DY(2)=0 \quad DG(3,2)=4,21978021978022$   
 e  $DF(2)=-2,4047354790973E-04$   
 $D(4,2)=DY(2) + DG(4,2)xDF(2)=4,2809576660853E-04$   
 dove  $DY(2)=0 \quad DG(4,2)=-1,78021978021978$   
 e  $DF(2)=-2,4047354790973E-04$

Fine 1° Giro

## Inizio 2° Giro

Ripartiamo con il Piano n.1

Inizio **Operazione di nodo** per il nodo I,K=1,1

$WN(1,1)=279,6875$

$S = SM(1,1) + 6 \times WR(1,1) \times D(1,1) / H(1) = 4,61539776577293$

dove  $SM(I, K)=0$   $WR(I, K)=195,3125$   $D(1,1)=0,015753891040505$  e  $H(K)=4$

Piano n.1 Pilastrata n.1

$K=1$  ed  $M=1$

$S = S + 6 * WR(I, K + 1) * D(J, K + 1) / H(K + 1) - 2 * WR(I, K + 1) * FI(I, K + 1)$

Dove:

il 1° termine è pari a  $\rightarrow 6 * WR(1, 2) * D(1, 2) / H(2) = 6 * 56,25 * 1,2115638E-2 / 3 = 1,363$

ed il 2°  $\rightarrow 2 * WR(1, 2) * FI(1, 2) = 0$  in quanto nel 1° giro la rotazione  $FI(1,2)=0$

$K=1$

If  $M < MR(J)$  Then  $S = S - 2 * WT(I, K) * FI(I + 1, K)$  dove  $M=1$

Dove ancora il termine  $WT(I, K) * FI(I + 1, K) = 0$  per cui in definitiva  $S = 5,97840712045821$

$Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005$  non Verifica

Pertanto la rotazione del Nodo n.1 al Piano n.1 vale  $FI(1,1) = 5,34382759370566E-03$

Calcolo:

$FI(I, K) = S / 4 / WN(I, K) = 5,34382759370566E-03$

dove  $S = 5,97840712045821$   $WN(I, K) = 279,6875$

Fine operazione di nodo per il nodo I,K=1,1

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=2,1

$WN(2,1)=279,6875$

$S = SM(2,1) + 6 \times WR(2,1) \times D(1,1) / H(1) = 4,61539776577293$

dove  $SM(I, K)=0$   $WR(I, K)=195,3125$   $D(J, K)=0,015753891040505$  e  $H(K)=4$

$K=1$  ed  $M=2$

$S = S + 6 * WR(I, K + 1) * D(J, K + 1) / H(K + 1) - 2 * WR(I, K + 1) * FI(I, K + 1)$   $K=1$

$S = S - 2 * WT(I - 1, K) * FI(I - 1, K)$  dove  $M=2$

If  $Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005$  non Verifica

$FI(I, K) = S / 4 / WN(I, K) = 5,07514352474839E-03$

dove  $S = 5,67781681831226$   $WN(I, K) = 279,6875$

Fine operazione di nodo per il nodo I,K=2,1

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=3,1

$WN(3,1)=159,375$

$S = SM(3,1) + 6 \times WR(3,1) \times D(2,1) / H(1) = 2,38460223422707$

dove  $SM(I, K)=0$   $WR(I, K)=56,25$   $D(J, K)=2,82619524056541E-02$  e  $H(K)=4$

$K=1$  ed  $M=1$

$S = S + 6 * WR(I, K + 1) * D(J, K + 1) / H(K + 1) - 2 * WR(I, K + 1) * FI(I, K + 1)$   $K=1$

$S = S - 2 * WT(I, K) * FI(I + 1, K)$  dove  $M=1$

$Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005$  non Verifica

Calcolo

$FI(I, K) = S / 4 / WN(I, K) = 6,30838098751654E-03$

dove  $S = 4,0215928795418$   $WN(I, K) = 159,375$

Fine operazione di nodo per il nodo I,K=3,1

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=4,1

WN(4,1)=159,375

$S = SM(4,1) + 6 \times WR(4,1) \times D(2,1) / H(1) = 2,38460223422707$

dove  $SM(I, K)=0$   $WR(I, K)=56,25$   $D(J, K)=2,82619524056541E-02$  e  $H(K)=4$

$K=1$  ed  $M=2$

$S = S + 6 * WR(I, K + 1) * D(J, K + 1) / H(K + 1) - 2 * WR(I, K + 1) * FI(I, K + 1)$   $K=1$

$S = S - 2 * WT(I - 1, K) * FI(I - 1, K)$  dove  $M=2$

$Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005$  non Verifica

Calcolo

$FI(I, K) = S / 4 / WN(I, K) = 5,75175913567685E-03$

dove  $S=3,66674644899399$   $WN(I, K)=159,375$

Fine operazione di nodo per il nodo I,K=4,1

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=5,1

WN(5,1)=160,3125

$S = SM(5,1) + 6 \times WR(5,1) \times D(3,1) / H(1) = 0,929498138144112$

dove  $SM(I, K)=0$   $WR(I, K)=70,3125$   $D(J, K)=8,81301938388492E-03$  e  $H(K)=4$

$K=1$  ed  $M=1$

$S = S + 6 * WR(I, K + 1) * D(J, K + 1) / H(K + 1) - 2 * WR(I, K + 1) * FI(I, K + 1)$   $K=1$

$S = S - 2 * WT(I, K) * FI(I + 1, K)$  dove  $M=1$

$Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005$  non Verifica

$FI(I, K) = S / 4 / WN(I, K) = 1,27148423711268E-03$

dove  $S=0,815339267048504$   $WN(I, K)=160,3125$

Fine operazione di nodo per il nodo I,K=5,1

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=6,1

WN(6,1)=160,3125

$S = SM(6,1) + 6 \times WR(6,1) \times D(3,1) / H(1) = 0,929498138144112$

dove  $SM(I, K)=0$   $WR(I, K)=70,3125$   $D(J, K)=8,81301938388492E-03$  e  $H(K)=4$

$K=1$  ed  $M=2$

$S = S + 6 * WR(I, K + 1) * D(J, K + 1) / H(K + 1) - 2 * WR(I, K + 1) * FI(I, K + 1)$   $K=1$

$S = S - 2 * WT(I - 1, K) * FI(I - 1, K)$  dove  $M=2$

$Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005$  non Verifica

Calcolo

$FI(I, K) = S / 4 / WN(I, K) = 1,13764379110082E-03$

dove  $S=0,729514081043399$   $WN(I, K)=160,3125$

Fine operazione di nodo per il nodo I,K=6,1

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=7,1

WN(7,1)=267,083333333333

$S = SM(7,1) + 6 \times WR(7,1) \times D(4,1) / H(1) = -0,929498138144112$

dove  $SM(I, K)=0$   $WR(I, K)=100$   $D(J, K)=-6,19665425429408E-03$  e  $H(K)=4$

$K=1$  ed  $M=1$

$S = S + 6 * WR(I, K + 1) * D(J, K + 1) / H(K + 1) - 2 * WR(I, K + 1) * FI(I, K + 1)$   $K=1$

$S = S - 2 * WT(I, K) * FI(I + 1, K)$  dove  $M=1$

$Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005$  non Verifica

Calcolo

$FI(I, K) = S / 4 / WN(I, K) = -7,63188081480659E-04$

dove  $S=-0,815339267048504$   $WN(I, K)=267,083333333333$

Fine operazione di nodo per il nodo I,K=7,1

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=8,1

$WN(8,1)=267,083333333333$

$S = SM(8,1) + 6 \times WR(8,1) \times D(4,1) / H(1) = -0,929498138144112$

dove  $SM(I, K)=0$   $WR(I, K)=100$   $D(J, K)=-6,19665425429408E-03$  e  $H(K)=4$

$K=1$  ed  $M=2$

$S = S + 6 \times WR(I, K + 1) \times D(J, K + 1) / H(K + 1) - 2 \times WR(I, K + 1) \times FI(I, K + 1)$   $K=1$

$S = S - 2 \times WT(I - 1, K) \times FI(I - 1, K)$  dove  $M=2$

$Abs(S - 4 \times WN(I, K) \times FI(I, K)) < 0.0005$  non Verifica

Calcolo

$FI(I, K) = S / 4 / WN(I, K) = -7,14967929686639E-04$

dove  $S=-0,76382407154856$   $WN(I, K)=267,083333333333$

Fine operazione di nodo per il nodo I,K=8,1

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=1,2

$WN(1,2)=84,375$

$S = SM(1,2) + 6 \times WR(1,2) \times D(1,2) / H(2) = 1,36300935468527$

dove  $SM(I, K)=0$   $WR(I, K)=56,25$   $D(J, K)=1,21156387083135E-02$  e  $H(K)=3$

$K=2$  ed  $M=1$

$S = S - 2 \times WR(I, K) \times FI(I, K - 1)$   $K=2$

$S = S - 2 \times WT(I, K) \times FI(I + 1, K)$  dove  $M=1$

$Abs(S - 4 \times WN(I, K) \times FI(I, K)) < 0.0005$  non Verifica

$FI(I, K) = S / 4 / WN(I, K) = 2,25727037153595E-03$

dove  $S=0,761828750393384$   $WN(I, K)=84,375$

Fine operazione di nodo per il nodo I,K=1,2

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=2,2

$WN(2,2)=84,375$

$S = SM(2,2) + 6 \times WR(2,2) \times D(1,2) / H(2) = 1,36300935468527$

dove  $SM(I, K)=0$   $WR(I, K)=56,25$   $D(J, K)=1,21156387083135E-02$  e  $H(K)=3$

$K=2$  ed  $M=2$

$S = S - 2 \times WR(I, K) \times FI(I, K - 1)$   $K=2$

$S = S - 2 \times WT(I - 1, K) \times FI(I - 1, K)$  dove  $M=2$

$Abs(S - 4 \times WN(I, K) \times FI(I, K)) < 0.0005$  non Verifica

Calcolo

$FI(I, K) = S / 4 / WN(I, K) = 1,97061999926572E-03$

dove  $S=0,665084249752179$   $WN(I, K)=84,375$

Fine operazione di nodo per il nodo I,K=2,2

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=3,2

$WN(3,2)=103,125$

$S = SM(3,2) + 6 \times WR(3,2) \times D(2,2) / H(2) = 1,63699064531473$

dove  $SM(I, K)=0$   $WR(I, K)=75$   $D(J, K)=1,09132709687649E-02$  e  $H(K)=3$

$K=2$  ed  $M=1$

$S = S - 2 \times WR(I, K) \times FI(I, K - 1)$   $K=2$

$S = S - 2 \times WT(I, K) \times FI(I + 1, K)$  dove  $M=1$

$Abs(S - 4 \times WN(I, K) \times FI(I, K)) < 0.0005$  non Verifica

Calcolo

$FI(I, K) = S / 4 / WN(I, K) = 1,67450544772666E-03$

dove  $S=0,690733497187249$   $WN(I, K)=103,125$

Fine operazione di nodo per il nodo I,K=3,2

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=4,2

WN(4,2)=103,125

$S = SM(4,2) + 6 \times WR(4,2) \times D(2,2) / H(2) = 1,63699064531473$

dove  $SM(I, K) = 0$   $WR(I, K) = 75$   $D(J, K) = 1,09132709687649E-02$  e  $H(K) = 3$

$K = 2$  ed  $M = 2$

$S = S - 2 * WR(I, K) * FI(I, K - 1)$   $K = 2$

$S = S - 2 * WT(I - 1, K) * FI(I - 1, K)$  dove  $M = 2$

$Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005$  non Verifica

Calcolo

$FI(I, K) = S / 4 / WN(I, K) = 1,64857174188746E-03$

dove  $S = 0,680035843528578$   $WN(I, K) = 103,125$

Fine operazione di nodo per il nodo I,K=4,2

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=5,2

WN(5,2)=90

$S = SM(5,2) + 6 \times WR(5,2) \times D(3,2) / H(2) = -0,114158871095608$

dove  $SM(I, K) = 0$   $WR(I, K) = 56,25$   $D(J, K) = -1,01474552084985E-03$  e  $H(K) = 3$

$K = 2$  ed  $M = 1$

$S = S - 2 * WR(I, K) * FI(I, K - 1)$   $K = 2$

$S = S - 2 * WT(I, K) * FI(I + 1, K)$  dove  $M = 1$

$Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005$  non Verifica

Calcolo

$FI(I, K) = S / 4 / WN(I, K) = -7,1444679936329E-04$

dove  $S = -0,257200847770784$   $WN(I, K) = 90$

Fine operazione di nodo per il nodo I,K=5,2

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=6,2

WN(6,2)=90

$S = SM(6,2) + 6 \times WR(6,2) \times D(3,2) / H(2) = -0,114158871095608$

dove  $SM(I, K) = 0$   $WR(I, K) = 56,25$   $D(J, K) = -1,01474552084985E-03$  e  $H(K) = 3$

$K = 2$  ed  $M = 2$

$S = S - 2 * WR(I, K) * FI(I, K - 1)$   $K = 2$

$S = S - 2 * WT(I - 1, K) * FI(I - 1, K)$  dove  $M = 2$

$Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005$  non Verifica

Calcolo

$FI(I, K) = S / 4 / WN(I, K) = -5,38662885103966E-04$

dove  $S = -0,193918638637428$   $WN(I, K) = 90$

Fine operazione di nodo per il nodo I,K=6,2

Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=7,2

WN(7,2)=167,083333333333

$S = SM(7,2) + 6 \times WR(7,2) \times D(4,2) / H(2) = 0,114158871095608$

dove  $SM(I, K) = 0$   $WR(I, K) = 133,333333333333$   $D(J, K) = 4,2809576660853E-04$  e  $H(K) = 3$

$K = 2$  ed  $M = 1$

$S = S - 2 * WR(I, K) * FI(I, K - 1)$   $K = 2$

$S = S - 2 * WT(I, K) * FI(I + 1, K)$  dove  $M = 1$

$Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005$  non Verifica

Calcolo

$FI(I, K) = S / 4 / WN(I, K) = 4,7532522617025E-04$

dove  $S = 0,317675692823784$   $WN(I, K) = 167,083333333333$

Fine operazione di nodo per il nodo I,K=7,2



Inizio Operazione di nodo per il nodo I,K=8,2  
 $WN(8,2)=167,0833333333333$   
 $S = SM(8,2)+6 \times WR(8,2) \times D(4,2) / H(2)=0,114158871095608$   
dove  $SM(I, K)=0$   $WR(I, K)=133,3333333333333$   $D(J, K)=4,2809576660853E-04$  e  $H(K)=3$   
 $K=2$  ed  $M=2$   
 $S = S - 2 * WR(I, K) * FI(I, K - 1)$   $K=2$   
 $S = S - 2 * WT(I - 1, K) * FI(I - 1, K)$  dove  $M=2$   
 $Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005$  non Verifica  
Calcolo  
 $FI(I, K) = S / 4 / WN(I, K)=4,08078602861177E-04$   
dove  $S=0,27273253291222$   $WN(I, K)=167,0833333333333$   
Fine operazione di nodo per il nodo I,K=8,2

## Operazione di Piano

### Inizio 2° Giro

Operazione di piano per il piano K=1  
 $V = FI(1,1)=5,34382759370566E-03$   
 $S = 1,04371632689564+5,34382759370566E-03 \times WR(1,1)=1,04371632689564$   
 $V = FI(2,1)=5,07514352474839E-03$   
 $S = 2,03495529657306+5,07514352474839E-03 \times WR(2,1)=2,03495529657306$   
Calcolo di  $S1 = S1 + S \rightarrow S1 = 2,03495529657306+2,03495529657306=2,03495529657306$   
Calcolo di  $S2 = S2 + S * DG(J, K) \rightarrow$   
 $S2 = -2,27510530051646+2,03495529657306 \times DG(1,1)=-2,27510530051646$   
 $V = FI(3,1)=6,30838098751654E-03$   
 $S = 0,354846430547805+6,30838098751654E-03 \times WR(3,1)=0,354846430547805$   
 $V = FI(4,1)=5,75175913567685E-03$   
 $S = 0,678382881929628+5,75175913567685E-03 \times WR(4,1)=0,678382881929628$   
Calcolo di  $S1 = S1 + S \rightarrow S1 = 2,71333817850268+0,678382881929628=2,71333817850268$   
Calcolo di  $S2 = S2 + S * DG(J, K) \rightarrow$   
 $S2 = 0,35836862001781+0,678382881929628 \times DG(2,1)=0,35836862001781$

Calcolo di  $S1 = QX(1) + 6 \times S1 / H(1)=11,070007267754$   
Calcolo di  $DX(1) = S1/12/WX(1)=2,93366652230334E-02$   
 $V = FI(5,1)=1,27148423711268E-03$   
 $S = 8,94012354219851E-02+1,27148423711268E-03 \times WR(5,1)=8,94012354219851E-02$   
 $V = FI(6,1)=1,13764379110082E-03$   
 $S = 0,169391814483761+1,13764379110082E-03 \times WR(6,1)=0,169391814483761$   
Calcolo di  $S1 = S1 + S \rightarrow S1 = 0,169391814483761+0,169391814483761=0,169391814483761$   
Calcolo di  $S2 = S2 + S * DG(J, K) \rightarrow$   
 $S2 = 0,955125104070694+0,169391814483761 \times DG(3,1)=0,955125104070694$   
 $V = FI(7,1)=-7,63188081480659E-04$   
 $S = -7,63188081480659E-02+-7,63188081480659E-04 \times WR(7,1)=-7,63188081480659E-02$   
 $V = FI(8,1)=-7,14967929686639E-04$   
 $S = -0,14781560111673+-7,14967929686639E-04 \times WR(8,1)=-0,14781560111673$   
Calcolo di  $S1 = S1 + S \rightarrow$   
 $S1 = 2,15762133670314E-02+-0,14781560111673=2,15762133670314E-02$   
Calcolo di  $S2 = S2 + S * DG(J, K) \rightarrow$   
 $S2 = 1,32127384078186+-0,14781560111673 \times DG(4,1)=1,32127384078186$

Calcolo di  $S1 = QY(1) + 6 \times S1 / H(1) = 3,23643200505471E-02$

Calcolo di  $DY(1) = S1 / 12 / WY(1) = 1,26686023439451E-04$

Calcolo di  $S2 = QM(1) + 6 \times S2 / H(1) = 11,6558238046511$

Calcolo Spostamento Telaio in dir X

$D(1,1) = DX(1) + DG(1,1) \times DF(1) = 2,59668396443767E-02$

dove  $DX(1) = 2,93366652230334E-02$   $DG(1,1) = -1,11801242236025$

e  $DF(1) = 3,01412176757632E-03$

$D(2,1) = DX(1) + DG(2,1) \times DF(1) = 4,10374484822583E-02$

dove  $DX(1) = 2,93366652230334E-02$   $DG(2,1) = 3,88198757763975$

e  $DF(1) = 3,01412176757632E-03$

Calcolo Spostamento Telaio in dir Y

$D(3,1) = DY(1) + DG(3,1) \times DF(1) = 1,07452434431579E-02$

dove  $DY(1) = 1,26686023439451E-04$   $DG(3,1) = 3,52293577981651$

e  $DF(1) = 3,01412176757632E-03$

$D(4,1) = DY(1) + DG(4,1) \times DF(1) = -7,33948716230006E-03$

dove  $DY(1) = 1,26686023439451E-04$   $DG(4,1) = -2,47706422018349$

e  $DF(1) = 3,01412176757632E-03$

Operazione di piano per il piano  $K=2$

$V = FI(1,2) = 2,25727037153595E-03$

$V = V + FI(I, K - 1)$   $K=2$  per cui  $V = 7,60109796524161E-03 + FI(1,1) = 7,60109796524161E-03$

$S = 0,427561760544841 + 7,60109796524161E-03 \times WR(1,2) = 0,427561760544841$

$V = FI(2,2) = 1,97061999926572E-03$

$V = V + FI(I, K - 1)$   $K=2$  per cui  $V = 7,04576352401411E-03 + FI(2,1) = 7,04576352401411E-03$

$S = 0,823885958770634 + 7,04576352401411E-03 \times WR(2,2) = 0,823885958770634$

Calcolo di  $S1 = S1 + S \rightarrow S1 = 0,823885958770634 + 0,823885958770634 = 0,823885958770634$

Calcolo di  $S2 = S2 + S * DG(J, K) \rightarrow$

$S2 = -2,35395988220181 + 0,823885958770634 \times DG(1,2) = -2,35395988220181$

$V = FI(3,2) = 1,67450544772666E-03$

$V = V + FI(I, K - 1)$   $K=2$  per cui  $V = 7,98288643524321E-03 + FI(3,1) = 7,98288643524321E-03$

$S = 0,59871648264324 + 7,98288643524321E-03 \times WR(3,2) = 0,59871648264324$

$V = FI(4,2) = 1,64857174188746E-03$

$V = V + FI(I, K - 1)$   $K=2$  per cui  $V = 7,40033087756431E-03 + FI(4,1) = 7,40033087756431E-03$

$S = 1,15374129846056 + 7,40033087756431E-03 \times WR(4,2) = 1,15374129846056$

Calcolo di  $S1 = S1 + S \rightarrow S1 = 1,9776272572312 + 1,15374129846056 = 1,9776272572312$

Calcolo di  $S2 = S2 + S * DG(J, K) \rightarrow$

$S2 = 0,118342900213682 + 1,15374129846056 \times DG(2,2) = 0,118342900213682$

Calcolo di  $S1 = QX(2) + 6 \times S1 / H(2) = 7,95525451446239$

Calcolo di  $DX(2) = S1 / 12 / WX(2) = 2,27292986127497E-02$

Operazione Somma Gosub 7800

$V = FI(5,2) = -7,1444679936329E-04$

$V = V + FI(I, K - 1)$   $K=2$  per cui  $V = 5,57037437749388E-04 + FI(5,1) = 5,57037437749388E-04$

$S = 0,031333355873403 + 5,57037437749388E-04 \times WR(5,2) = 0,031333355873403$

$V = FI(6,2) = -5,38662885103966E-04$

$V = V + FI(I, K - 1)$   $K=2$  per cui  $V = 5,9898090599685E-04 + FI(6,1) = 5,9898090599685E-04$

$S = 6,50260318357259E-02 + 5,9898090599685E-04 \times WR(6,2) = 6,50260318357259E-02$

Calcolo di  $S1 = S1 + S \rightarrow S1 = 6,50260318357259E-02 + 6,50260318357259E-$

$02 = 6,50260318357259E-02$

Calcolo di  $S2 = S2 + S * DG(J, K) \rightarrow$

$S2 = 0,392738463124877 + 6,50260318357259E-02 \times DG(3,2) = 0,392738463124877$

$V = FI(7,2) = 4,7532522617025E-04$

$V = V + FI(I, K - 1) \quad K=2$  per cui  $V = -2,87862855310409E-04 + FI(7,1) = -2,87862855310409E-04$   
 $S = -3,83817140413879E-02 + -2,87862855310409E-04 \times WR(7,2) = -3,83817140413879E-02$   
 $V = FI(8,2) = 4,08078602861177E-04$   
 $V = V + FI(I, K - 1) \quad K=2$  per cui  $V = -3,06889326825462E-04 + FI(8,1) = -3,06889326825462E-04$   
 $S = -7,93002909514495E-02 + -3,06889326825462E-04 \times WR(8,2) = -7,93002909514495E-02$   
 Calcolo di  $S1 = S1 + S \rightarrow$   
 $S1 = -1,42742591157237E-02 + -7,93002909514495E-02 = -1,42742591157237E-02$   
 Calcolo di  $S2 = S2 + S * DG(J, K) \rightarrow$   
 $S2 = 0,533910409653831 + -7,93002909514495E-02 \times DG(4,2) = 0,533910409653831$

Calcolo di  $S1 = QY(2) + 6 \times S1 / H(2) = -2,85485182314473E-02$   
 Calcolo di  $DY(2) = S1 / 12 / WY(2) = -5,64695965017639E-05$   
 Calcolo di  $S2 = QM(2) + 6 \times S2 / H(2) = -0,360750609263767$

Calcolo Spostamento Telaio in dir X  
 $D(1,2) = DX(2) + DG(1,2) \times DF(2) = 2,29028005705902E-02$   
 dove  $DX(2) = 2,27292986127497E-02$   $DG(1,2) = -2,85714285714286$   
 e  $DF(2) = -6,07256852441783E-05$   
 $D(2,2) = DX(2) + DG(2,2) \times DF(2) = 2,25991721443693E-02$   
 dove  $DX(2) = 2,27292986127497E-02$   $DG(2,2) = 2,14285714285714$   
 e  $DF(2) = -6,07256852441783E-05$

Calcolo Spostamento Telaio in dir Y  
 $D(3,2) = DY(2) + DG(3,2) \times DF(2) = -3,12718641927747E-04$   
 dove  $DY(2) = -5,64695965017639E-05$   $DG(3,2) = 4,21978021978022$   
 e  $DF(2) = -6,07256852441783E-05$   
 $D(4,2) = DY(2) + DG(4,2) \times DF(2) = 5,16354695373227E-05$   
 dove  $DY(2) = -5,64695965017639E-05$   $DG(4,2) = -1,78021978021978$   
 e  $DF(2) = -6,07256852441783E-05$

## Fine 2° Giro

Continueranno le operazioni di iterazioni del sistema con l'Inizio del 3° Giro  
 .....fino a raggiungere l'Ennesimogiro-1 che darà risultati del sistema  
 sufficientemente prossimi a quelli ottenuti con il ciclo Ennesimo e quindi con manifestazione di  
 convergenza raggiunta del sistema.  
 Si ricorda che la convergenza sarà data dal calcolo del valore assoluto come appresso descritto ed è  
 pari ad un valore minore di 0,0005:

$$Abs(S - 4 * WN(I, K) * FI(I, K)) < 0.0005 \text{ Verificato OK!!!!!!}$$

Si precisa che vengono omissi i successivi giri in quanto le operazioni sopra esposte sono le stesse  
 di quelle già sopradescritte, ed inoltre, volendole rappresentare, le stesse, sono molto voluminose  
 circa 250-300 pagine che allo stato, devo ancora dattiloscivere, per cui ai fini dell'applicazione  
 numerica in prosiegua vengono enunciati direttamente i risultati delle caratteristiche di  
 sollecitazioni M,N,T all'interno dei quali, **si possono desumere i valori delle rotazioni FI(I,K)  
 calcolate con le iterazioni innanzi descritte.**

Si rappresenta che ovemai i lettori interessati sono numerosi e gli stessi vogliono acquisire, il  
 prosiegua delle operazioni numeriche iniziando dal 3° giro e fino alla convergenza del sistema,  
 possono inviare la propria richiesta all'indirizzo di posta elettronica del sottoscritto  
 E-Mail: [→dopa.ingricercatore@libero.it](mailto:dopa.ingricercatore@libero.it)

## Sviluppo delle Operazioni Numeriche per Determinare le Sollecitazioni su Travi e Pilastri

### Determinazione dei Momenti

#### Impalcato N=1

##### Telaio N=1

##### Esegui il Ciclo sulle Travi

Calcolo MomIncPerfetto  $V = Q(I, k) * DL(I) ^ 2 / 12$

$V=Q(1,1) \times DL(1) ^ 2 / 12 = 0$

dove  $Q(1,1) = 0$  e  $DL(1) = 6$

**MS(1,1)=2,57197201703702**

Calcolo Mom a Sx della Trave--> $MS(I, K) = (4 * FI(I, K) + 2 * FI(I + 1, K)) * WT(I, K) - V$

$MS(1,1) = (4 * FI(1,1) + 2 * FI(2,1)) * WT(1,1) - V = 2,57197201703702$

dove  $(4 * FI(1,1)) = 6,09652595023456E-02$  e  $2 * FI(2,1) = 3,04826344367487E-02$   $WT(1,1) = 28,125$

**MD(1,1)=-2,57197214881885**

Calcolo Mom a Dx della Trave--> $MD(I, K) = -((2 * FI(I, K) + 4 * FI(I + 1, K)) * WT(I, K) + V)$

$MD(1,1) = -((2 * FI(1,1) + 4 * FI(2,1)) * WT(1,1) + V) = -2,57197214881885$

dove  $-(2 * FI(1,1)) = -3,04826297511728E-02$  e  $+4 * FI(2,1) = 6,09652688734974E-02$

$WT(1,1) = 28,125$

##### Esegui il Ciclo sui Pilastri

Calcolo Mom in Testa al Pilastro

$MT(I, K) = -((4 * FI(I, K) + 2 * V - 6 * D(J, K) / H(K)) * WR(I, K))$

**MT(1,1)=1,51074658453834**

$MT(1,1) = -((4 * FI(1,1) + 2 * V - 6 * D(1,1) / H(1)) * WR(1,1)) = 1,51074658453834$

dove  $-(4 * FI(1,1) + 2 * V - 6 * D(1,1) / H(1)) = -6,09652595023456E-02 - 6 * D(1,1) / H(1) = -6,87002820151819E-02$

$WR(1,1) = 195,3125$

Calcolo Mom al Piede del Pilastro

$MP(I, K) = (2 * FI(I, K) + 4 * V - 6 * D(J, K) / H(K)) * WR(I, K)$

**MP(1,1)=-7,46438520781427**

$MP(1,1) = (2 * FI(1,1) + 4 * V - 6 * D(1,1) / H(1)) * WR(1,1) = -7,46438520781427$

dove  $(2 * FI(1,1) + 4 * V - 6 * D(1,1) / H(1)) = 3,04826297511728E-02 - 6 * D(1,1) / H(1) = -6,87002820151819E-02$  e

$WR(1,1) = 195,3125$

Calcolo Mom in Testa al Pilastro

$MT(I, K) = -((4 * FI(I, K) + 2 * V - 6 * D(J, K) / H(K)) * WR(I, K))$

**MT(2,1)=1,51074475423525**

$MT(2,1) = -((4 * FI(2,1) + 2 * V - 6 * D(1,1) / H(1)) * WR(2,1)) = 1,51074475423525$

dove  $-(4 * FI(2,1) + 2 * V - 6 * D(1,1) / H(1)) = -6,09652688734974E-02 - 6 * D(1,1) / H(1) = -6,87002820151819E-02$

$WR(2,1) = 195,3125$

Calcolo Mom al Piede del Pilastro

$MP(I, K) = (2 * FI(I, K) + 4 * V - 6 * D(J, K) / H(K)) * WR(I, K)$

**MP(2,1)=-7,46438429266273**

$MP(2,1) = (2 * FI(2,1) + 4 * V - 6 * D(1,1) / H(1)) * WR(2,1) = -7,46438429266273$

dove  $(2 * FI(2,1) + 4 * V - 6 * D(1,1) / H(1)) = 3,04826344367487E-02 - 6 * D(1,1) / H(1) = -6,87002820151819E-02$  e

$WR(2,1) = 195,3125$

##### Telaio N=2

##### Esegui il Ciclo sulle Travi

Calcolo MomIncPerfetto  $V = Q(I, k) * DL(I) ^ 2 / 12$

$V=Q(3,1) \times DL(3) ^ 2 / 12 = 0$

dove  $Q(3,1) = 0$  e  $DL(3) = 6$

**MS(3,1)=2,83465082909917**

Calcolo Mom a Sx della Trave--> $MS(I, K) = (4 * FI(I, K) + 2 * FI(I + 1, K)) * WT(I, K) - V$

$MS(3,1) = (4 * FI(3,1) + 2 * FI(4,1)) * WT(3,1) - V = 2,83465082909917$

dove  $(4 * FI(3,1)) = 6,71916135407497E-02$  e  $2 * FI(4,1)) = 3,35959714938874E-02$   $WT(3,1) = 28,125$

**MD(3,1)=-2,83465546194796**

Calcolo Mom a Dx della Trave--> $MD(I, K) = -((2 * FI(I, K) + 4 * FI(I + 1, K)) * WT(I, K) + V)$

$MD(3,1) = -((2 * FI(3,1) + 4 * FI(4,1)) * WT(3,1) + V) = -2,83465546194796$

dove  $-(2 * FI(3,1)) = -3,35958067703749E-02$  e  $+4 * FI(4,1)) = 6,71919429877749E-02$

$WT(3,1) = 28,125$

### **Eseguo il Ciclo sui Pilastri**

Calcolo Mom in Testa al Pilastro

$MT(I, K) = -((4 * FI(I, K) + 2 * V - 6 * D(J, K) / H(K)) * WR(I, K))$

**MT(3,1)=1,56708436613803**

$MT(3,1) = -((4 * FI(3,1) + 2 * V - 6 * D(2,1) / H(1)) * WR(3,1)) = 1,56708436613803$

dove  $-(4 * FI(3,1) + 2 * V - 6 * D(2,1) / H(1)) = -6,71916135407497E-02 - 6 * D(2,1) / H(1) = -9,50508911609813E-02$

$WR(3,1) = 56,25$

Calcolo Mom al Piede del Pilastro

$MP(I, K) = (2 * FI(I, K) + 4 * V - 6 * D(J, K) / H(K)) * WR(I, K)$

**MP(3,1)=-3,45684849697161**

$MP(3,1) = (2 * FI(3,1) + 4 * V - 6 * D(2,1) / H(1)) * WR(3,1) = -3,45684849697161$

dove  $(2 * FI(3,1) + 4 * V - 6 * D(2,1) / H(1)) = 3,35958067703749E-02 - 6 * D(2,1) / H(1) = -9,50508911609813E-02$  e

$WR(3,1) = 56,25$

Calcolo Mom in Testa al Pilastro

$MT(I, K) = -((4 * FI(I, K) + 2 * V - 6 * D(J, K) / H(K)) * WR(I, K))$

**MT(4,1)=1,56706583474286**

$MT(4,1) = -((4 * FI(4,1) + 2 * V - 6 * D(2,1) / H(1)) * WR(4,1)) = 1,56706583474286$

dove  $-(4 * FI(4,1) + 2 * V - 6 * D(2,1) / H(1)) = -6,71919429877749E-02 - 6 * D(2,1) / H(1) = -9,50508911609813E-02$

$WR(4,1) = 56,25$

Calcolo Mom al Piede del Pilastro  $MP(I, K) = (2 * FI(I, K) + 4 * V - 6 * D(J, K) / H(K)) * WR(I, K)$

**MP(4,1)=-3,45683923127403**

$MP(4,1) = (2 * FI(4,1) + 4 * V - 6 * D(2,1) / H(1)) * WR(4,1) = -3,45683923127403$

dove  $(2 * FI(4,1) + 4 * V - 6 * D(2,1) / H(1)) = 3,35959714938874E-02 - 6 * D(2,1) / H(1) = -9,50508911609813E-02$  e

$WR(4,1) = 56,25$

### **Telaio N=3**

#### **Eseguo il Ciclo sulle Travi**

Calcolo MomIncPerfetto  $V = Q(I, k) * DL(I) ^ 2 / 12$

$V = Q(5,1) * DL(5) ^ 2 / 12 = 0$

dove  $Q(5,1) = 0$  e  $DL(5) = 5$

**MS(5,1)=0,437584899458729**

Calcolo Mom a Sx della Trave--> $MS(I, K) = (4 * FI(I, K) + 2 * FI(I + 1, K)) * WT(I, K) - V$

$MS(5,1) = (4 * FI(5,1) + 2 * FI(6,1)) * WT(5,1) - V = 0,437584899458729$

dove  $(4 * FI(5,1)) = 8,64357466266205E-03$  e  $2 * FI(6,1)) = 4,32190383981881E-03$   $WT(5,1) = 33,75$

**MD(5,1)=-0,437588831620192**

Calcolo Mom a Dx della Trave--> $MD(I, K) = -((2 * FI(I, K) + 4 * FI(I + 1, K)) * WT(I, K) + V)$

$MD(5,1) = -((2 * FI(5,1) + 4 * FI(6,1)) * WT(5,1) + V) = -0,437588831620192$

dove  $-(2 * FI(5,1)) = -4,32178733133102E-03$  e  $+4 * FI(6,1)) = 8,64380767963763E-03$

$WT(5,1) = 33,75$

#### **Eseguo il Ciclo sui Pilastri**

Calcolo Mom in Testa al Pilastro

$MT(I, K) = -((4 * FI(I, K) + 2 * V - 6 * D(J, K) / H(K)) * WR(I, K))$

**MT(5,1)=0,671490277600276**

MT(I 5,1) = -((4 x FI(I,1) + 2 x V - 6 x D(3,1) / H(1)) x WR(5,1))=0,671490277600276

dove -((4 x FI(I,1) + 2 x V = -8,64357466266205E-03- 6 x D(3,1) / H(1))-1,81936586107549E-02  
WR(5,1)=70,3125

Calcolo Mom al Piede del Pilastro

MP(I, K) = (2 \* FI(I, K) + 4 \* V - 6 \* D(J, K) / H(K)) \* WR(I, K)

**MP(5,1)=-0,975365949334489**

MP(5,1) = (2 x FI(5,1) + 4 x V - 6 x D( 3,1) / H(1)) x WR(5,1)=-0,975365949334489

dove (2 x FI(5,1) + 4 x V =4,32178733133102E-03- 6 x D( 3,1) / H(1)=-1,81936586107549E-02 e  
WR(5, 1) = 70,3125

Calcolo Mom in Testa al Pilastro

MT(I, K) = -((4 \* FI(I, K) + 2 \* V - 6 \* D(J, K) / H(K)) \* WR(I, K))

**MT(6,1)=0,671473893594181**

MT(I 6,1) = -((4 x FI(I,1) + 2 x V - 6 x D(3,1) / H(1)) x WR(6,1))=0,671473893594181

dove -((4 x FI(I,1) + 2 x V = -8,64380767963763E-03- 6 x D(3,1) / H(1))-1,81936586107549E-02  
WR(6,1)=70,3125

Calcolo Mom al Piede del Pilastro

MP(I, K) = (2 \* FI(I, K) + 4 \* V - 6 \* D(J, K) / H(K)) \* WR(I, K)

**MP(6,1)=-0,975357757331441**

MP(6,1) = (2 x FI(6,1) + 4 x V - 6 x D( 3,1) / H(1)) x WR(6,1)=-0,975357757331441

dove (2 x FI(6,1) + 4 x V =4,32190383981881E-03- 6 x D( 3,1) / H(1)=-1,81936586107549E-02 e  
WR(6, 1) = 70,3125

#### **Telaio N=4**

##### **Esegui il Ciclo sulle Travi**

Calcolo MomIncPerfetto  $V = Q(I, k) * DL(I) ^ 2 / 12$

$V=Q(7,1)xDL(7) ^ 2 / 12 =0$

dove  $Q(7,1)= 0$  e  $DL(7)=5$

**MS(7,1)=-0,350847369104281**

Calcolo Mom a Sx della Trave--> $MS(I, K) = (4 * FI(I, K) + 2 * FI(I + 1, K)) * WT(I, K) - V$

$MS(7,1) = (4 x FI(7,1) + 2 x FI(8,1)) x WT(7,1) - V =-0,350847369104281$

dove  $(4 x FI(7,1)=-6,93033019042172E-03$  e  $2 x FI(8,1))=-3,4651474126681E-03$   $WT(7,1)=33,75$

**MD(7,1)=0,350846772318463**

Calcolo Mom a Dx della Trave--> $MD(I, K) = -((2 * FI(I, K) + 4 * FI(I + 1, K)) * WT(I, K) + V)$

$MD(7,1) = -((2 x FI(7,1) + 4 x FI(8,1)) x WT(7,1) + V =0,350846772318463$

dove  $-(2 x FI(7,1)=3,46516509521086E-03$  e  $+4 x FI(8,1))=-6,9302948253362E-03$

$WT(7,1)=33,75$

##### **Esegui il Ciclo sui Pilastri**

Calcolo Mom in Testa al Pilastro

MT(I, K) = -((4 \* FI(I, K) + 2 \* V - 6 \* D(J, K) / H(K)) \* WR(I, K))

**MT(7,1)=-0,649674217378277**

MT(I 7,1) = -((4 x FI(I,1) + 2 x V - 6 x D(4,1) / H(1)) x WR(7,1))=-0,649674217378277

dove -((4 x FI(I,1) + 2 x V = 6,93033019042172E-03- 6 x D(4,1) / H(1))1,34270723642045E-02  
WR(7,1)=100

Calcolo Mom al Piede del Pilastro

MP(I, K) = (2 \* FI(I, K) + 4 \* V - 6 \* D(J, K) / H(K)) \* WR(I, K)

**MP(7,1)=0,996190726899363**

MP(7,1) = (2 x FI(7,1) + 4 x V - 6 x D( 4,1) / H(1)) x WR(7,1)=0,996190726899363

dove (2 x FI(7,1) + 4 x V =-3,46516509521086E-03- 6 x D( 4,1) / H(1)=1,34270723642045E-02 e  
WR(7, 1) = 100

Calcolo Mom in Testa al Pilastro

MT(I, K) = -((4 \* FI(I, K) + 2 \* V - 6 \* D(J, K) / H(K)) \* WR(I, K))

**MT(8,1)=-0,649677753886829**

MT(I 8,1) = -((4 x FI(I,1) + 2 x V - 6 x D(4,1) / H(1)) x WR(8,1))=-0,649677753886829  
dove -((4 x FI(I,1) + 2 x V = 6,9302948253362E-03- 6 x D(4,1) / H(1))1,34270723642045E-02  
WR(8,1)=100

Calcolo Mom al Piede del Pilastro

MP(I, K) = (2 \* FI(I, K) + 4 \* V - 6 \* D(J, K) / H(K)) \* WR(I, K)

**MP(8,1)=0,996192495153639**

MP(8,1) = (2 x FI(8,1) + 4 x V - 6 x D( 4,1) / H(1)) x WR(8,1)=0,996192495153639

dove (2 x FI(8,1) + 4 x V =-3,4651474126681E-03- 6 x D( 4,1) / H(1)=1,34270723642045E-02 e  
WR(8, 1) = 100

## Impalcato N=2

Telaio N=1

Eseguo il Ciclo sulle Travi

Calcolo MomIncPerfetto V = Q(I, k) \* DL(I) ^ 2 / 12

V=Q(1,2)xDL(1) ^ 2 / 12 =0

dove Q(1,2)= 0 e DL(1)=6

**MS(1,2)=1,66538765813191**

Calcolo Mom a Sx della Trave-->MS(I, K) = (4 \* FI(I, K) + 2 \* FI(I + 1, K)) \* WT(I, K) - V

MS(1,2) = (4 x FI(1,2) + 2 x FI(2,2)) x WT(1,2) - V =1,66538765813191

dove (4 x FI(1,2)=3,94762599036464E-02 e 2 x FI(2,2))=1,97375234965991E-02 WT(1,2)=28,125

**MD(1,2)=-1,66537060157873**

Calcolo Mom a Dx della Trave-->MD(I, K) = -((2 \* FI(I, K) + 4 \* FI(I + 1, K)) \* WT(I, K) + V)

MD(1,2) = -((2 x FI(1,2) + 4 x FI(2,2)) x WT(1,2) + V =-1,66537060157873

dove -(2 x FI(1,2))=-1,97381299518232E-02 e +4 x FI(2,2))=3,94750469931982E-02

WT(1,2)=28,125

Eseguo il Ciclo sui Pilastrini

Calcolo Mom in Testa al Pilastro

MT(I, K) = -((4 \* FI(I, K) + 2 \* V - 6 \* D(J, K) / H(K)) \* WR(I, K))

**MT(1,2)=1,66568676799137**

MT(I 1,2) = -((4 x FI(I,2) + 2 x V - 6 x D(1,2) / H(2)) x WR(1,2))=1,66568676799137

dove -((4 x FI(I,2) + 2 x V = -8,99363015247366E-03- 6 x D(1,2) / H(2))-9,95710988635547E-02

WR(1,2)=56,25

Calcolo Mom al Piede del Pilastro

MP(I, K) = (2 \* FI(I, K) + 4 \* V - 6 \* D(J, K) / H(K)) \* WR(I, K)

**MP(1,2)=-1,06130865427796**

MP(1,2) = (2 x FI(1,2) + 4 x V - 6 x D( 1,2) / H(2)) x WR(1,2)=-1,06130865427796

dove (2 x FI(1,2) + 4 x V =8,07033894541688E-02- 6 x D( 1,2) / H(2)=-9,95710988635547E-02 e

WR(1, 2) = 56,25

Calcolo Mom in Testa al Pilastro

MT(I, K) = -((4 \* FI(I, K) + 2 \* V - 6 \* D(J, K) / H(K)) \* WR(I, K))

**MT(2,2)=1,66575473064044**

MT(I 2,2) = -((4 x FI(I,2) + 2 x V - 6 x D(1,2) / H(2)) x WR(2,2))=1,66575473064044

dove -((4 x FI(I,2) + 2 x V = -8,99241255644954E-03- 6 x D(1,2) / H(2))-9,95710988635547E-02

WR(2,2)=56,25

Calcolo Mom al Piede del Pilastro

MP(I, K) = (2 \* FI(I, K) + 4 \* V - 6 \* D(J, K) / H(K)) \* WR(I, K)

**MP(2,2)=-1,06134224025702**

MP(2,2) = (2 x FI(2,2) + 4 x V - 6 x D( 1,2) / H(2)) x WR(2,2)=-1,06134224025702

dove (2 x FI(2,2) + 4 x V =8,07027923700965E-02- 6 x D( 1,2) / H(2)=-9,95710988635547E-02 e

WR(2, 2) = 56,25



## Telaio N=2

Eseguo il Ciclo sulle Travi

Calcolo MomIncPerfetto  $V = Q(I, k) * DL(I) ^ 2 / 12$

$V=Q(3,2) \times DL(3) ^ 2 / 12 = 0$

dove  $Q(3,2) = 0$  e  $DL(3) = 6$

**MS(3,2)=2,00483621789572**

Calcolo Mom a Sx della Trave--> $MS(I, K) = (4 * FI(I, K) + 2 * FI(I + 1, K)) * WT(I, K) - V$

$MS(3,2) = (4 * FI(3,2) + 2 * FI(4,2)) * WT(3,2) - V = 2,00483621789572$

dove  $(4 * FI(3,2)) = 4,75228628039034E-02$  e  $2 * FI(4,2) = 2,37602027212779E-02$   $WT(3,2) = 28,125$

**MD(3,2)=-2,00480166125177**

Calcolo Mom a Dx della Trave--> $MD(I, K) = -((2 * FI(I, K) + 4 * FI(I + 1, K)) * WT(I, K) + V)$

$MD(3,2) = -((2 * FI(3,2) + 4 * FI(4,2)) * WT(3,2) + V) = -2,00480166125177$

dove  $-(2 * FI(3,2)) = -2,37614314019517E-02$  e  $4 * FI(4,2) = 4,75204054425557E-02$

$WT(3,2) = 28,125$

## Eseguo il Ciclo sui Pilastri

Calcolo Mom in Testa al Pilastro

$MT(I, K) = -((4 * FI(I, K) + 2 * V - 6 * D(J, K) / H(K)) * WR(I, K))$

**MT(3,2)=2,00510033731318**

$MT(3,2) = -((4 * FI(I,2) + 2 * V - 6 * D(2,2) / H(2)) * WR(3,2)) = 2,00510033731318$

dove  $-(4 * FI(I,2) + 2 * V - 6 * D(2,2) / H(2)) = -1,39270560335286E-02 - 6 * D(2,2) / H(2) = -0,107853340738454$

$WR(3,2) = 75$

Calcolo Mom al Piede del Pilastro  $MP(I, K) = (2 * FI(I, K) + 4 * V - 6 * D(J, K) / H(K)) * WR(I, K)$

**MP(3,2)=-1,26752218468144**

$MP(3,2) = (2 * FI(3,2) + 4 * V - 6 * D(2,2) / H(2)) * WR(3,2) = -1,26752218468144$

dove  $(2 * FI(3,2) + 4 * V - 6 * D(2,2) / H(2)) = 9,09530449427014E-02 - 6 * D(2,2) / H(2) = -0,107853340738454$  e

$WR(3,2) = 75$

Calcolo Mom in Testa al Pilastro  $MT(I, K) = -((4 * FI(I, K) + 2 * V - 6 * D(J, K) / H(K)) * WR(I, K))$

**MT(4,2)=2,00527228515081**

$MT(4,2) = -((4 * FI(I,2) + 2 * V - 6 * D(2,2) / H(2)) * WR(4,2)) = 2,00527228515081$

dove  $-(4 * FI(I,2) + 2 * V - 6 * D(2,2) / H(2)) = -1,39244339486683E-02 - 6 * D(2,2) / H(2) = -0,107853340738454$

$WR(4,2) = 75$

Calcolo Mom al Piede del Pilastro  $MP(I, K) = (2 * FI(I, K) + 4 * V - 6 * D(J, K) / H(K)) * WR(I, K)$

**MP(4,2)=-1,2675896272051**

$MP(4,2) = (2 * FI(4,2) + 4 * V - 6 * D(2,2) / H(2)) * WR(4,2) = -1,2675896272051$

dove  $(2 * FI(4,2) + 4 * V - 6 * D(2,2) / H(2)) = 9,09521457090527E-02 - 6 * D(2,2) / H(2) = -0,107853340738454$  e

$WR(4,2) = 75$

## Telaio N=3

Eseguo il Ciclo sulle Travi

Calcolo MomIncPerfetto  $V = Q(I, k) * DL(I) ^ 2 / 12$

$V=Q(5,2) \times DL(5) ^ 2 / 12 = 0$

dove  $Q(5,2) = 0$  e  $DL(5) = 5$

**MS(5,2)=5,95128797283683E-03**

Calcolo Mom a Sx della Trave--> $MS(I, K) = (4 * FI(I, K) + 2 * FI(I + 1, K)) * WT(I, K) - V$

$MS(5,2) = (4 * FI(5,2) + 2 * FI(6,2)) * WT(5,2) - V = 5,95128797283683E-03$

dove  $(4 * FI(5,2)) = 1,18107044849319E-04$  e  $2 * FI(6,2) = 5,82274136051051E-05$   $WT(5,2) = 33,75$

**MD(5,2)=-5,92340680017686E-03**

Calcolo Mom a Dx della Trave--> $MD(I, K) = -((2 * FI(I, K) + 4 * FI(I + 1, K)) * WT(I, K) + V)$

$MD(5,2) = -((2 * FI(5,2) + 4 * FI(6,2)) * WT(5,2) + V) = -5,92340680017686E-03$



dove  $-(2 \times FI(5,2)) = -5,90535224246597E-05$  e  $+4 \times FI(6,2) = 1,1645482721021E-04$   
 $WT(5,2) = 33,75$

### Eseguo il Ciclo sui Pilastri

Calcolo Mom in Testa al Pilastro

$$MT(I, K) = -((4 * FI(I, K) + 2 * V - 6 * D(J, K) / H(K)) * WR(I, K))$$

$$MT(5,2) = 6,23309052894075E-03$$

$$MT(I, 5,2) = -((4 \times FI(I,2) + 2 \times V - 6 \times D(3,2) / H(2)) \times WR(5,2)) = 6,23309052894075E-03$$

$$\text{dove } -((4 \times FI(I,2) + 2 \times V - 6 \times D(3,2) / H(2)) = 4,2036802864817E-03 - 6 \times D(3,2) / H(2) = -4,55070487447262E-03$$

$$WR(5,2) = 56,25$$

Calcolo Mom al Piede del Pilastro

$$MP(I, K) = (2 * FI(I, K) + 4 * V - 6 * D(J, K) / H(K)) * WR(I, K)$$

$$MP(5,2) = 0,233545686222042$$

$$MP(5,2) = (2 \times FI(5,2) + 4 \times V - 6 \times D(3,2) / H(2)) \times WR(5,2) = 0,233545686222042$$

$$\text{dove } (2 \times FI(5,2) + 4 \times V - 6 \times D(3,2) / H(2)) = 8,70262818508671E-03 - 6 \times D(3,2) / H(2) = -4,55070487447262E-03 \text{ e}$$

$$WR(5,2) = 56,25$$

Calcolo Mom in Testa al Pilastro

$$MT(I, K) = -((4 * FI(I, K) + 2 * V - 6 * D(J, K) / H(K)) * WR(I, K))$$

$$MT(6,2) = 6,31947416870244E-03$$

$$MT(I, 6,2) = -((4 \times FI(I,2) + 2 \times V - 6 \times D(3,2) / H(2)) \times WR(6,2)) = 6,31947416870244E-03$$

$$\text{dove } -((4 \times FI(I,2) + 2 \times V - 6 \times D(3,2) / H(2)) = 4,2054490126086E-03 - 6 \times D(3,2) / H(2) = -4,55070487447262E-03$$

$$WR(6,2) = 56,25$$

Calcolo Mom al Piede del Pilastro

$$MP(I, K) = (2 * FI(I, K) + 4 * V - 6 * D(J, K) / H(K)) * WR(I, K)$$

$$MP(6,2) = 0,233512324805819$$

$$MP(6,2) = (2 \times FI(6,2) + 4 \times V - 6 \times D(3,2) / H(2)) \times WR(6,2) = 0,233512324805819$$

$$\text{dove } (2 \times FI(6,2) + 4 \times V - 6 \times D(3,2) / H(2)) = 8,70203509324273E-03 - 6 \times D(3,2) / H(2) = -4,55070487447262E-03 \text{ e}$$

$$WR(6,2) = 56,25$$

### Telaio N=4

#### Eseguo il Ciclo sulle Travi

$$\text{Calcolo Mom Inc Perfetto } V = Q(I, k) * DL(I) ^ 2 / 12$$

$$V = Q(7,2) \times DL(7) ^ 2 / 12 = 0$$

$$\text{dove } Q(7,2) = 0 \text{ e } DL(7) = 5$$

$$MS(7,2) = -7,05466143517554E-02$$

$$\text{Calcolo Mom a Sx della Trave } \rightarrow MS(I, K) = (4 * FI(I, K) + 2 * FI(I + 1, K)) * WT(I, K) - V$$

$$MS(7,2) = (4 \times FI(7,2) + 2 \times FI(8,2)) \times WT(7,2) - V = -7,05466143517554E-02$$

$$\text{dove } (4 \times FI(7,2) - 1,39364024421276E-03 \text{ e } 2 \times FI(8,2)) = -6,96629810654066E-04 \text{ e } WT(7,2) = 33,75$$

$$MD(7,2) = 7,05401913402398E-02$$

$$\text{Calcolo Mom a Dx della Trave } \rightarrow MD(I, K) = -((2 * FI(I, K) + 4 * FI(I + 1, K)) * WT(I, K) + V)$$

$$MD(7,2) = -((2 \times FI(7,2) + 4 \times FI(8,2)) \times WT(7,2) + V) = 7,05401913402398E-02$$

$$\text{dove } -(2 \times FI(7,2) - 6,9682012210638E-04 \text{ e } +4 \times FI(8,2)) = -1,39325962130813E-03$$

$$WT(7,2) = 33,75$$

### Eseguo il Ciclo sui Pilastri

Calcolo Mom in Testa al Pilastro

$$MT(I, K) = -((4 * FI(I, K) + 2 * V - 6 * D(J, K) / H(K)) * WR(I, K))$$

$$MT(7,2) = -7,05573381310577E-02$$

$$MT(I, 7,2) = -((4 \times FI(I,2) + 2 \times V - 6 \times D(4,2) / H(2)) \times WR(7,2)) = -7,05573381310577E-02$$

$$\text{dove } -((4 \times FI(I,2) + 2 \times V - 6 \times D(4,2) / H(2)) = -2,0715248509981E-03 - 6 \times D(4,2) / H(2) = 5,38798537540655E-03$$

$$WR(7,2) = 133,333333333333$$

Calcolo Mom al Piede del Pilastro  $MP(I, K) = (2 * FI(I, K) + 4 * V - 6 * D(J, K) / H(K)) * WR(I, K)$

$$MP(7,2) = -0,29855532494954$$

$MP(7,2) = (2 \times FI(7,2) + 4 \times V - 6 \times D(4,2) / H(2)) \times WR(7,2) = -0,29855532494954$   
dove  $(2 \times FI(7,2) + 4 \times V = -7,6271503125281E-03 - 6 \times D(4,2) / H(2) = 5,38798537540655E-03$  e  
 $WR(7,2) = 133,333333333333$

Calcolo Mom in Testa al Pilastro

$MT(I, K) = -((4 \times FI(I, K) + 2 \times V - 6 \times D(J, K) / H(K)) \times WR(I, K))$

**$MT(8,2) = -7,06104455240429E-02$**

$MT(I, 8,2) = -((4 \times FI(I,2) + 2 \times V - 6 \times D(4,2) / H(2)) \times WR(8,2)) = -7,06104455240429E-02$

dove  $-((4 \times FI(I,2) + 2 \times V = -2,07188779135997E-03 - 6 \times D(4,2) / H(2)) = 5,38798537540655E-03$

$WR(8,2) = 133,333333333333$

Calcolo Mom al Piede del Pilastro

$MP(I, K) = (2 \times FI(I, K) + 4 \times V - 6 \times D(J, K) / H(K)) \times WR(I, K)$

**$MP(8,2) = -0,298525234744495$**

$MP(8,2) = (2 \times FI(8,2) + 4 \times V - 6 \times D(4,2) / H(2)) \times WR(8,2) = -0,298525234744495$

dove  $(2 \times FI(8,2) + 4 \times V = -7,62692463599027E-03 - 6 \times D(4,2) / H(2) = 5,38798537540655E-03$  e

$WR(8,2) = 133,333333333333$

## Determinazione dei Tagli

### Esegui il Ciclo sulle Travi

Calcolo del Taglio  $V = Q(I, K) \times DL(I) / 2$

$V = Q(1,1) \times DL(1) / 2 = 0$

dove  $Q(1,1) = 0$  e  $DL(1) = 6$

Calcolo del Taglio a Sx  $TS(I, K) = V + (MD(I, K) - MS(I, K)) / DL(I)$

**$TS(1,1) = V + (MD(1,1) - MS(1,1)) / DL(1) = -0,857324027642645$**

Calcolo del Taglio a Dx  $TD(I, K) = -V + (MD(I, K) - MS(I, K)) / DL(I)$

**$TD(1,1) = -V + (MD(1,1) - MS(1,1)) / DL(1) = -0,857324027642645$**

dove  $MD(1,1) = -2,57197214881885$   $MS(1,1) = 2,57197201703702$  e  $DL(1) = 6$

### Esegui il Ciclo sui Pilastrini

Calcolo del Taglio sul Pilastrino  $TR(I, K) = (MT(I, K) - MP(I, K)) / H(K)$

**$TR(1,1) = (MT(1,1) - MP(1,1)) / H(1) = 2,24378294808815$**

dove  $MT(1,1) = 1,51074658453834$   $MP(1,1) = -7,46438520781427$   $H(1) = 4$

Calcolo del Taglio sul Pilastrino  $TR(I, K) = (MT(I, K) - MP(I, K)) / H(K)$

**$TR(2,1) = (MT(2,1) - MP(2,1)) / H(1) = 2,2437822617245$**

dove  $MT(2,1) = 1,51074475423525$   $MP(2,1) = -7,46438429266273$   $H(1) = 4$

### Esegui il Ciclo sulle Travi

Calcolo del Taglio  $V = Q(I, K) \times DL(I) / 2$

$V = Q(3,1) \times DL(3) / 2 = 0$

dove  $Q(3,1) = 0$  e  $DL(3) = 6$

Calcolo del Taglio a Sx  $TS(I, K) = V + (MD(I, K) - MS(I, K)) / DL(I)$

**$TS(3,1) = V + (MD(3,1) - MS(3,1)) / DL(3) = -0,944884381841188$**

Calcolo del Taglio a Dx  $TD(I, K) = -V + (MD(I, K) - MS(I, K)) / DL(I)$

**$TD(3,1) = -V + (MD(3,1) - MS(3,1)) / DL(3) = -0,944884381841188$**

dove  $MD(3,1) = -2,83465546194796$   $MS(3,1) = 2,83465082909917$  e  $DL(3) = 6$

### Esegui il Ciclo sui Pilastrini

Calcolo del Taglio sul Pilastrino  $TR(I, K) = (MT(I, K) - MP(I, K)) / H(K)$

**$TR(3,1) = (MT(3,1) - MP(3,1)) / H(1) = 1,25598321577741$**

dove  $MT(3,1) = 1,56708436613803$   $MP(3,1) = -3,45684849697161$   $H(1) = 4$

Calcolo del Taglio sul Pilastrino  $TR(I, K) = (MT(I, K) - MP(I, K)) / H(K)$

**$TR(4,1) = (MT(4,1) - MP(4,1)) / H(1) = 1,25597626650422$**

dove  $MT(4,1) = 1,56706583474286$   $MP(4,1) = -3,45683923127403$   $H(1) = 4$

### Eseguo il Ciclo sulle Travi

Calcolo del Taglio  $V = Q(I, K) * DL(I) / 2$

$$V = Q(5,1) \times DL(5) / 2 = 0$$

dove  $Q(5,1)=0$  e  $DL(5)=5$

Calcolo del Taglio a Sx  $TS(I, K) = V + (MD(I, K) - MS(I, K)) / DL(I)$

$$TS(5,1) = V + (MD(5,1) - MS(5,1)) / DL(5) = -0,175034746215784$$

Calcolo del Taglio a Dx  $TD(I, K) = -V + (MD(I, K) - MS(I, K)) / DL(I)$

$$TD(5,1) = -V + (MD(5,1) - MS(5,1)) / DL(5) = -0,175034746215784$$

dove  $MD(5,1)=-0,437588831620192$   $MS(5,1)=0,437584899458729$  e  $DL(5)=5$

### Eseguo il Ciclo sui Pilastri

Calcolo del Taglio sul Pilastro  $TR(I, K) = (MT(I, K) - MP(I, K)) / H(K)$

$$TR(5,1) = (MT(5,1) - MP(5,1)) / H(1) = 0,411714056733691$$

dove  $MT(5,1)=0,671490277600276$   $MP(5,1)=-0,975365949334489$   $H(1)=4$

Calcolo del Taglio sul Pilastro  $TR(I, K) = (MT(I, K) - MP(I, K)) / H(K)$

$$TR(6,1) = (MT(6,1) - MP(6,1)) / H(1) = 0,411707912731405$$

dove  $MT(6,1)=0,671473893594181$   $MP(6,1)=-0,975357757331441$   $H(1)=4$

### Eseguo il Ciclo sulle Travi

Calcolo del Taglio  $V = Q(I, K) * DL(I) / 2$

$$V = Q(7,1) \times DL(7) / 2 = 0$$

dove  $Q(7,1)=0$  e  $DL(7)=5$

Calcolo del Taglio a Sx  $TS(I, K) = V + (MD(I, K) - MS(I, K)) / DL(I)$

$$TS(7,1) = V + (MD(7,1) - MS(7,1)) / DL(7) = 0,140338828284549$$

Calcolo del Taglio a Dx  $TD(I, K) = -V + (MD(I, K) - MS(I, K)) / DL(I)$

$$TD(7,1) = -V + (MD(7,1) - MS(7,1)) / DL(7) = 0,140338828284549$$

dove  $MD(7,1)=0,350846772318463$   $MS(7,1)=-0,350847369104281$  e  $DL(7)=5$

### Eseguo il Ciclo sui Pilastri

Calcolo del Taglio sul Pilastro  $TR(I, K) = (MT(I, K) - MP(I, K)) / H(K)$

$$TR(7,1) = (MT(7,1) - MP(7,1)) / H(1) = -0,41146623606941$$

dove  $MT(7,1)=-0,649674217378277$   $MP(7,1)=0,996190726899363$   $H(1)=4$

Calcolo del Taglio sul Pilastro  $TR(I, K) = (MT(I, K) - MP(I, K)) / H(K)$

$$TR(8,1) = (MT(8,1) - MP(8,1)) / H(1) = -0,411467562260117$$

dove  $MT(8,1)=-0,649677753886829$   $MP(8,1)=0,996192495153639$   $H(1)=4$

### Eseguo il Ciclo sulle Travi

Calcolo del Taglio  $V = Q(I, K) * DL(I) / 2$

$$V = Q(1,2) \times DL(1) / 2 = 0$$

dove  $Q(1,2)=0$  e  $DL(1)=6$

Calcolo del Taglio a Sx  $TS(I, K) = V + (MD(I, K) - MS(I, K)) / DL(I)$

$$TS(1,2) = V + (MD(1,2) - MS(1,2)) / DL(1) = -0,555126376618439$$

Calcolo del Taglio a Dx  $TD(I, K) = -V + (MD(I, K) - MS(I, K)) / DL(I)$

$$TD(1,2) = -V + (MD(1,2) - MS(1,2)) / DL(1) = -0,555126376618439$$

dove  $MD(1,2)=-1,66537060157873$   $MS(1,2)=1,66538765813191$  e  $DL(1)=6$

### Eseguo il Ciclo sui Pilastri

Calcolo del Taglio sul Pilastro  $TR(I, K) = (MT(I, K) - MP(I, K)) / H(K)$

$$TR(1,2) = (MT(1,2) - MP(1,2)) / H(2) = 0,908998474089775$$

dove  $MT(1,2)=1,66568676799137$   $MP(1,2)=-1,06130865427796$   $H(2)=3$

Calcolo del Taglio sul Pilastro  $TR(I, K) = (MT(I, K) - MP(I, K)) / H(K)$

$$TR(2,2) = (MT(2,2) - MP(2,2)) / H(2) = 0,909032323632487$$

dove  $MT(2,2)=1,66575473064044$   $MP(2,2)=-1,06134224025702$   $H(2)=3$

### Eseguo il Ciclo sulle Travi

Calcolo del Taglio  $V = Q(I, K) * DL(I) / 2$

$$V = Q(3,2) \times DL(3) / 2 = 0$$

dove  $Q(3,2)=0$  e  $DL(3)=6$

Calcolo del Taglio a Sx  $TS(I, K) = V + (MD(I, K) - MS(I, K)) / DL(I)$

$$TS(3,2) = V + (MD(3,2) - MS(3,2)) / DL(3) = -0,668272979857916$$

Calcolo del Taglio a Dx  $TD(I, K) = -V + (MD(I, K) - MS(I, K)) / DL(I)$

$$TD(3,2) = -V + (MD(3,2) - MS(3,2)) / DL(3) = -0,668272979857916$$

dove  $MD(3,2)=-2,00480166125177$   $MS(3,2)=2,00483621789572$  e  $DL(3)=6$

### Esegui il Ciclo sui Pilastri

Calcolo del Taglio sul Pilastro  $TR(I, K) = (MT(I, K) - MP(I, K)) / H(K)$

$$TR(3,2) = (MT(3,2) - MP(3,2)) / H(2) = 1,09087417399821$$

dove  $MT(3,2)=2,00510033731318$   $MP(3,2)=-1,26752218468144$   $H(2)=3$

Calcolo del Taglio sul Pilastro  $TR(I, K) = (MT(I, K) - MP(I, K)) / H(K)$

$$TR(4,2) = (MT(4,2) - MP(4,2)) / H(2) = 1,0909539707853$$

dove  $MT(4,2)=2,00527228515081$   $MP(4,2)=-1,2675896272051$   $H(2)=3$

### Esegui il Ciclo sulle Travi

Calcolo del Taglio  $V = Q(I, K) * DL(I) / 2$

$$V = Q(5,2) \times DL(5) / 2 = 0$$

dove  $Q(5,2)=0$  e  $DL(5)=5$

Calcolo del Taglio a Sx  $TS(I, K) = V + (MD(I, K) - MS(I, K)) / DL(I)$

$$TS(5,2) = V + (MD(5,2) - MS(5,2)) / DL(5) = -2,37493895460274E-03$$

Calcolo del Taglio a Dx  $TD(I, K) = -V + (MD(I, K) - MS(I, K)) / DL(I)$

$$TD(5,2) = -V + (MD(5,2) - MS(5,2)) / DL(5) = -2,37493895460274E-03$$

dove  $MD(5,2)=-5,92340680017686E-03$   $MS(5,2)=5,95128797283683E-03$  e  $DL(5)=5$

### Esegui il Ciclo sui Pilastri

Calcolo del Taglio sul Pilastro  $TR(I, K) = (MT(I, K) - MP(I, K)) / H(K)$

$$TR(5,2) = (MT(5,2) - MP(5,2)) / H(2) = -7,57708652310338E-02$$

dove  $MT(5,2)=6,23309052894075E-03$   $MP(5,2)=0,233545686222042$   $H(2)=3$

Calcolo del Taglio sul Pilastro  $TR(I, K) = (MT(I, K) - MP(I, K)) / H(K)$

$$TR(6,2) = (MT(6,2) - MP(6,2)) / H(2) = -0,075730950212372$$

dove  $MT(6,2)=6,31947416870244E-03$   $MP(6,2)=0,233512324805819$   $H(2)=3$

### Esegui il Ciclo sulle Travi

Calcolo del Taglio  $V = Q(I, K) * DL(I) / 2$

$$V = Q(7,2) \times DL(7) / 2 = 0$$

dove  $Q(7,2)=0$  e  $DL(7)=5$

Calcolo del Taglio a Sx  $TS(I, K) = V + (MD(I, K) - MS(I, K)) / DL(I)$

$$TS(7,2) = V + (MD(7,2) - MS(7,2)) / DL(7) = 0,028217361138399$$

Calcolo del Taglio a Dx  $TD(I, K) = -V + (MD(I, K) - MS(I, K)) / DL(I)$

$$TD(7,2) = -V + (MD(7,2) - MS(7,2)) / DL(7) = 0,028217361138399$$

dove  $MD(7,2)=7,05401913402398E-02$   $MS(7,2)=-7,05466143517554E-02$  e  $DL(7)=5$

### Esegui il Ciclo sui Pilastri

Calcolo del Taglio sul Pilastro  $TR(I, K) = (MT(I, K) - MP(I, K)) / H(K)$

$$TR(7,2) = (MT(7,2) - MP(7,2)) / H(2) = 0,075999328939494$$

dove  $MT(7,2)=-7,05573381310577E-02$   $MP(7,2)=-0,29855532494954$   $H(2)=3$

Calcolo del Taglio sul Pilastro  $TR(I, K) = (MT(I, K) - MP(I, K)) / H(K)$

$$TR(8,2) = (MT(8,2) - MP(8,2)) / H(2) = 7,59715964068174E-02$$

dove  $MT(8,2)=-7,06104455240429E-02$   $MP(8,2)=-0,298525234744495$   $H(2)=3$

## Determinazione dello Sforzo Normale

Si descrivono le operazioni numeriche riferite solo al Telaio n.1, lasciando intendere che le restanti operazioni sono identiche a quelle sotto descritte.

Eseguo Calcolo Sforzo Normale partendo dal **Piano N.2**

Ricorda che da calcolo ciclo sulle Travi i valori del Taglio sono i seguenti:

$$TS(1,2) = V + (MD(1,2) - MS(1,2)) / DL(1) = -0,555126376618439$$

$$TD(1,2) = -V + (MD(1,2) - MS(1,2)) / DL(1) = -0,555126376618439$$

## Telaio N.1

### Pilastro N.1

$$V = 0 + TD(0,2) = 0$$

dove  $V = 0$  e  $TD(0,2) = 0$  Si ricorda che  $V$  è una variabile che fa da contatore sul Taglio

Essendo sul Pilastro n.1 applicherò la formula

$V = V - TS(I, k)$  dove  $TS(I, k)$  è il Taglio a sx sul Nodo  $I=1$  del Piano  $k=1$  per cui

Ricordandoci che dal ciclo sulle Travi il valore di  $TS(1,2)$  già calcolato è pari a:

$$TS(1,2) = V + (MD(1,2) - MS(1,2)) / DL(1) = -0,555126376618439$$

$$\text{Allora } V = 0,555126376618439$$

Per cui lo sforzo Normale sarà pari a :

$$SN(1,2) = 0,555126376618439$$

### Passo al Pilastro N.2

dove applicherò la formula

$$V = V + TD(I - 1, K) \quad V = V + TD(1,2) \text{ in quanto } I=2 \text{ e } k=2$$

Per cui

$$V = V + TD(1,2) = -0,555126376618439$$

dove  $V = -0,555126376618439$  e  $TD(1,2) = -0,555126376618439$

$$V = V - TS(2,2) = -0,555126376618439$$

dove  $V = -0,555126376618439$  e  $TS(2,2) = 0$

$$V = -0,555126376618439 + SN(2,3) = -0,555126376618439$$

dove  $V = -0,555126376618439$  e  $SN(2,3) = 0$

$$SN(2,2) = -0,555126376618439$$

## Andiamo al Piano n.1

Ricorda che da calcolo ciclo sulle Travi i valori del Taglio sono i seguenti:

$$TS(1,1) = V + (MD(1,1) - MS(1,1)) / DL(1) = -0,857324027642645$$

$$TD(1,1) = -V + (MD(1,1) - MS(1,1)) / DL(1) = -0,857324027642645$$

## Telaio N.1

### Pilastro N.1

$$V = 0 + TD(0,1) = 0$$

dove  $V = 0$  e  $TD(0,1) = 0$

$$V = V - TS(I, k)$$

$$V = 0 - TS(1,1) = 0,857324027642645$$

dove  $V = 0,857324027642645$  e  $TS(1,1) = -0,857324027642645$

Essendo il valore di Piano inferiore al numero totale di Piani che è uguale a 2 applicherò la formula:  $V = V + SN(I, k + 1)$

Ricorda che  $SN(1,2)$  è lo sforzo normale che arriva sul Pilastro 1 del Piano 2

$$V = 0,857324027642645 + SN(1,2) = 1,41245040426108$$

dove  $V = 1,41245040426108$  e  $SN(1,2) = 0,555126376618439$

$$\mathbf{SN(1,1) = 1,41245040426108}$$

### Pilastro N.2

$$V = V + TD(I - 1, K)$$

$$V = 0 + TD(1,1) = -0,857324027642645$$

dove  $V = -0,857324027642645$  e  $TD(1,1) = -0,857324027642645$

$$V = -0,857324027642645 - TS(2,1) = -0,857324027642645$$

dove  $V = -0,857324027642645$  e  $TS(2,1) = 0$

$$V = V + SN(I, k + 1)$$

dove  $V = -1,41245040426108$  e  $SN(2,2) = -0,555126376618439$

$$V = -0,857324027642645 + SN(2,2) =$$

$$-0,857324027642645 - 0,555126376618439 = -1,41245040426108$$

$$\mathbf{SN(2,1) = -1,41245040426108}$$

I risultati delle operazioni numeriche dello Sforzo Normale sopra descritte, vengono segnate in rosso nella Tabella riepilogativa sotto riportata:

## QUADRO RIEPILOGATIVO DELLE SOLLECITAZIONI TRAVI E PILASTRI

### CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NELLE TRAVI

Telaio	Campata	Piano	Momento Sx (tm)	Momento Dx (tm)	Taglio Sx(t)	Taglio Dx(t)
1x	1-2	1	2.57	-2.57	-0.86	-0.86
1x	1-2	2	1.67	-1.67	-0.56	-0.56
2x	3-4	1	2.83	-2.83	-0.94	-0.94
2x	3-4	2	2.00	-2.00	-0.67	-0.67
1y	1-3	1	0.44	-0.44	-0.18	-0.18
1y	1-3	2	0.01	-0.01	0.00	0.00
2y	2-4	1	-0.35	0.35	0.14	0.14
2y	2-4	2	-0.07	0.07	0.03	0.03

### CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NEI PILASTRI

Telaio	Pilastro	Piano	Momento Sup.(tm)	Momento Inf.(tm)	Taglio (t)	Sforzo Normale (t)
1x	1	1	1,51	-7,46	2,24	<b>1,41</b>
1x	1	2	1,67	-1,06	0,91	0,56
1x	2	1	1,51	-7,46	2,24	<b>-1,41</b>
1x	2	2	1,67	-1,06	0,91	-0,56
2x	3	1	1,57	-3,46	1,26	1,61
2x	3	2	2,01	-1,27	1,09	0,67
2x	4	1	1,57	-3,46	1,26	-1,61
2x	4	2	2,01	-1,27	1,09	-0,67
1y	1	1	0,67	-0,98	0,41	0,18
1y	1	2	0,01	0,23	-0,08	0,00
1y	3	1	0,67	-0,98	0,41	-0,18
1y	3	2	0,01	0,23	-0,08	0,00
2y	2	1	-0,65	1,00	-0,41	-0,17
2y	2	2	-0,07	-0,30	0,08	-0,03
2y	4	1	-0,65	1,00	-0,41	0,17
2y	4	2	-0,07	-0,30	0,08	0,03

## Calcolo degli Spostamenti Assoluti dei Telai

### Piano N.1 Telaio N.1

La struttura matriciale del presente algoritmo è:  $D(J, K) = D(J, K) + D(J, K - 1)$

Dove  $D(J, K)$  oltre a rappresentare lo spostamento del Piano n.1 del telaio n.1 è anche un contatore  
Pertanto si ha:

$$D(1,1) = D(1,1) + D(1,0) = 4,58001880101212E-02$$

dove  $D(1,1)$  è il valore finale che si ottiene nell'operazione di iterazione del sistema inerente il Piano (K) che è pari proprio a  $4,58001880101212E-02$  e  $D(1,0)=0$

### Piano N.1 Telaio N.2

$$D(J, K) = D(J, K) + D(J, K - 1)$$

$$D(2,1) = D(2,1) + D(2,0) = 6,33672607739875E-02$$

dove  $D(2,1) = 6,33672607739875E-02$  e  $D(2,0)=0$

### Piano N.1 Telaio N.3

$$D(J, K) = D(J, K) + D(J, K - 1)$$

$$D(3,1) = D(3,1) + D(3,0) = 1,21291057405032E-02$$

dove  $D(3,1) = 1,21291057405032E-02$  e  $D(3,0)=0$

### Piano N.1 Telaio N.4

$$D(J, K) = D(J, K) + D(J, K - 1)$$

$$D(4,1) = D(4,1) + D(4,0) = -8,95138157613633E-03$$

dove  $D(4,1) = -8,95138157613633E-03$  e  $D(4,0)=0$

### Piano N.2 Telaio N.1

$$D(J, K) = D(J, K) + D(J, K - 1)$$

$$D(1,2) = D(1,2) + D(1,1) = 9,5584E-02$$

dove  $D(1,2) = 4,9784E-02$  e  $D(1,1) = 4,5800E-02$

### Piano N.2 Telaio N.2

$$D(2,2) = D(2,2) + D(2,1) = 0,117293931143215$$

dove  $D(2,2) = 0,0539$  e  $D(2,1) = 0,0633$

### Piano N.2 Telaio N.3

$$D(3,2) = D(3,2) + D(3,1) = 0,0144$$

dove  $D(3,2) = 0,0023$  e  $D(3,1) = 0,0121$

### Piano N.2 Telaio N.4

$$D(4,2) = D(4,2) + D(4,1) = -0,01164$$

dove  $D(4,2) = -0,00269$  e  $D(4,1) = -0,00895$



## **Bibliografia.**

1. A.Gherzi,*Edifici antisismici con struttura intelaiata in c.a.*,CUEN,1986;
2. A.Gherzi,*Il Personal computer nel calcolo di edifici.Introduzione alla programmazione*,CUEN,1987;
3. A.Gherzi,P.Lenza,*Teoria degli edifici,Vol.terzo,tomo terzo*,LIGUORI EDITORE
4. M.Capurso,*Introduzione al calcolo automatico delle strutture*,Cremonese,1977;
5. D.Pagnozzi e P.Morgillo,*PreProcessor Software per TelaioSpaziale*.