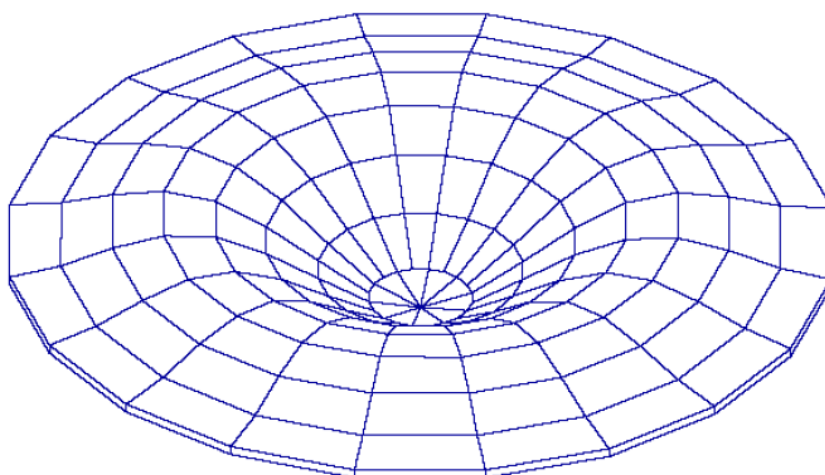


C.D.F. Win

Validazione del codice di calcolo



VALIDAZIONE C.D.F. Win

Si procede nel seguito al calcolo manuale delle sollecitazioni del solaio a due campate il cui schema statico è rappresentato in figura 1.

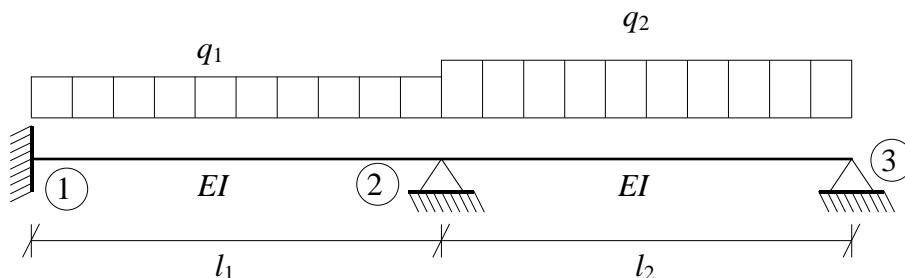


Fig. 1. Schema statico solaio

Per risolvere lo schema strutturale si opera secondo il metodo delle forze. Operativamente si procede introducendo delle cerniere in corrispondenza degli estremi delle aste evidenziando i momenti, che rappresentano le incognite del problema (Figura 2). Si scrivono quindi le rotazioni nelle cerniere dovute a tali momenti ed ai carichi applicati e si applicano le condizioni di congruenza a tali rotazioni.

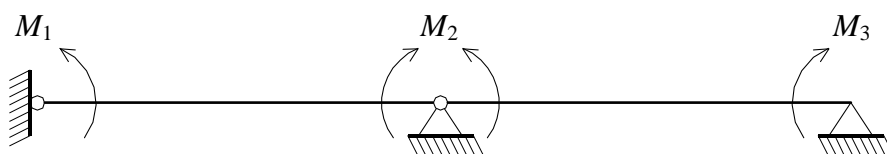


Fig. 2. Schema isostatico equivalente

Le rotazioni delle cerniere dello schema isostatico equivalente di figura 2 sono le seguenti:

$$\varphi_1 = \frac{q_1 l_1^3}{24EI} - \frac{M_1 l_1}{3EI} - \frac{M_2 l_1}{6EI}$$

$$\varphi_{21} = -\frac{q_1 l_1^3}{24EI} + \frac{M_1 l_1}{6EI} + \frac{M_2 l_1}{3EI}$$

$$\varphi_{23} = \frac{q_2 l_2^3}{24EI} - \frac{M_2 l_2}{3EI} - \frac{M_3 l_2}{6EI}$$

$$\varphi_3 = -\frac{q_2 l_2^3}{24EI} + \frac{M_2 l_2}{6EI} + \frac{M_3 l_2}{3EI}$$

Mentre le condizioni di congruenza da imporre sono:

$$\begin{cases} \varphi_1 = 0 \\ \varphi_{21} = \varphi_{23} \end{cases}$$

e la soluzione si ottiene associando a queste la semplice condizione di equilibrio $M_3 = 0$.

Per semplicità di calcolo si pone $l_1 = l_2 = l$ e $q_1 = q_2 = q$, ed il sistema delle equazioni di congruenza assume la forma seguente:

$$\begin{cases} \frac{ql^2}{24} - \frac{M_1}{3} - \frac{M_2}{6} = 0 \\ -\frac{ql^2}{24} + \frac{M_1}{6} + \frac{M_2}{3} = \frac{ql^2}{24} - \frac{M_2}{3} \end{cases}$$

mentre la rotazione del nodo 3 è:

$$\varphi_3 = -\frac{ql^3}{24EI} + \frac{M_2 l}{6EI}$$

Il sistema delle equazioni di congruenza fornisce la seguente soluzione:

$$\begin{cases} M_1 = \frac{ql^2}{14} \\ M_2 = \frac{3ql^2}{28} \end{cases}$$

che sostituita nell'espressione della rotazione del nodo 3 fornisce:

$$\varphi_3 = -\frac{ql^3}{42EI}$$

Nell'esempio svolto con il software **C.D.F. Win** si è posto $l = 4 [m]$, $E = 3.14758 \cdot 10^9 [Kg / m^2]$, $I = 3.3398 \cdot 10^{-4} [m^4]$. Per quanto riguarda i carichi è applicato un carico permanente complessivo di $400 [Kg / m^2]$ ed un'azione variabile $q_v = 200 [Kg / m^2]$.

Si è assunta, figura 3, la seguente sezione trasversale del singolo travetto:

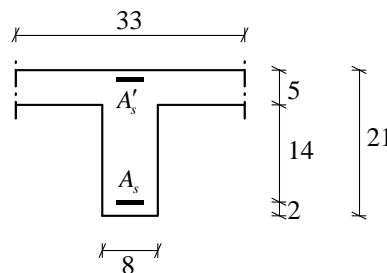


Fig. 3. Sezione trasversale singolo travetto

Le dimensioni della singola pignatta, invece, sono pari a 25×16 cm. e peso proprio pari a 800 kg/mc.

In base a tali dimensioni, il carico permanente complessivo è automaticamente decomposto dal programma in peso proprio p ed azione permanente q_p , ed i valori sono:

$$p = 319 [Kg / m^2]$$

$$q_p = 81 [Kg / m^2]$$

Ricordando che i coefficienti parziali sono per il peso proprio $\gamma_p = 1.3$ e per le azioni permanente e variabile $\gamma_q = 1.5$, si ottengono i seguenti valori dei momenti ai nodi 1 e 2 e della rotazione al nodo 3:

$$\begin{cases} M_1^{(p)} = \frac{\gamma_p p l^2}{14} = 473.9 [Kg \cdot m] \\ M_2^{(p)} = \frac{3\gamma_p p l^2}{28} = 710.9 [Kg \cdot m] \end{cases} ; \quad \varphi_3^{(p)} = -\frac{\gamma_p p l^3}{42EI} = -6.01 \cdot 10^{-4}$$

$$\begin{cases} M_1^{(q_p)} = \frac{\gamma_q q_p l^2}{14} = 138.8 [Kg \cdot m] \\ M_2^{(q_p)} = \frac{3\gamma_q q_p l^2}{28} = 208.2 [Kg \cdot m] \end{cases} ; \quad \varphi_3^{(q_p)} = -\frac{\gamma_q q_p l^3}{42EI} = -1.76 \cdot 10^{-4}$$

$$\begin{cases} M_1^{(q)} = \frac{\gamma_q q l^2}{14} = 342.8 [Kg \cdot m] \\ M_2^{(q)} = \frac{3\gamma_q q l^2}{28} = 514.2 [Kg \cdot m] \end{cases} ; \quad \varphi_3^{(q)} = -\frac{\gamma_q q l^3}{42EI} = -4.34 \cdot 10^{-4}$$

Nella combinazione dei carichi con solo carichi permanenti, denominata combinazione 0, si ha quindi:

$$\begin{cases} M_1^{(0)} = M_1^{(p)} + M_1^{(q_p)} = 612.8 [Kg \cdot m] \\ M_2^{(0)} = M_2^{(p)} + M_2^{(q_p)} = 919.2 [Kg \cdot m] \end{cases} ; \quad \varphi_3^{(0)} = \varphi_3^{(p)} + \varphi_3^{(q_p)} = -7.77 \cdot 10^{-4}$$

Nella combinazione dei carichi con carichi permanenti ed azioni variabili, denominata combinazione 1, si ha:

$$\begin{cases} M_1^{(0)} = M_1^{(p)} + M_1^{(q_p)} + M_1^{(q)} = 955.6 [Kg \cdot m] \\ M_2^{(0)} = M_2^{(p)} + M_2^{(q_p)} + M_2^{(q)} = 1433.4 [Kg \cdot m] \end{cases} ; \quad \varphi_3^{(0)} = \varphi_3^{(p)} + \varphi_3^{(q_p)} + \varphi_3^{(q)} = -1.21 \cdot 10^{-3}$$

I valori ottenuti coincidono con quelli forniti dal programma, le cui tabelle di stampa sono di seguito riportate.

CARATT. QUOTA 1 SOLAIO 1								
CARATTERISTICHE ED ABBASSAMENTI								
Comb. N.ro	Camp. N.ro	M.in. (kgm)	N.in. (kg)	T.in. (kg)	M.fin (kgm)	N.fin (kg)	T.fin (kg)	W.mezz. (mm)
0	1	-613	0	-996	919	0	-1149	0.24
	2	-919	0	-1302	0	0	-843	0.83
1	1	-956	0	-1553	1433	0	-1792	0.38
	2	-1433	0	-2031	0	0	-1314	1.29
2	1	-441	0	-867	1262	0	-1278	0.08
	2	-1262	0	-1988	0	0	-1357	1.45
3	1	-1127	0	-1682	1091	0	-1663	0.54
	2	-1091	0	-1345	0	0	-800	0.66
4	1	-613	0	-996	919	0	-1149	0.24
	2	-919	0	-1302	0	0	-843	0.83

REAZIONI A QUOTA 1 SOLAIO 1								
REAZIONI E SPOSTAMENTI DI APPOGGIO								
Comb. N.ro	App. N.ro	Rx (kg)	Ry (kg)	Mz (kgm)	Spostx (mm)	Sposty (mm)	Rotaz sx (rad)	Rotaz dx (rad)
0	1	0	-996	-613	0.00	0.00	0.0000000	
	2	0	-2451	0	0.00	0.00	0.0001943	
	3	0	-843	0	0.00	0.00	-0.0007772	
1	1	0	-1553	-956	0.00	0.00	0.0000000	
	2	0	-3823	0	0.00	0.00	0.0003030	
	3	0	-1314	0	0.00	0.00	-0.0012121	
2	1	0	-867	-441	0.00	0.00	0.0000000	
	2	0	-3265	0	0.00	0.00	0.0005205	
	3	0	-1357	0	0.00	0.00	-0.0013208	
3	1	0	-1682	-1127	0.00	0.00	0.0000000	
	2	0	-3008	0	0.00	0.00	-0.0000231	
	3	0	-800	0	0.00	0.00	-0.0006685	
4	1	0	-996	-613	0.00	0.00	0.0000000	
	2	0	-2451	0	0.00	0.00	0.0001943	
	3	0	-843	0	0.00	0.00	-0.0007772	

Si procede adesso alla verifica manuale a flessione e a taglio della sezione trasversale del solaio le cui dimensioni sono riportate in figura 3.

Le armature disposte nelle sezioni e le sollecitazioni su di esse agenti sono riportati nella seguente tabella di verifica ottenuta con **C.D.F. Win**.

Questa tabella è ottenibile dal programma solo dopo avere disegnato le armature ed effettuata la fase di verifica agli Stati Limite di Esercizio (e di riverifica agli S.L.U.).

VERIF. QUOTA 1 SOLAIO 1													
VERIFICHE SEZIONI													
Camp. N.ro	Asc.in. (m)	Asc.fin. (m)	Mom. neg (kgm)	Mom.Ult. (kgm)	Mom/MomUlt.	Mom. pos (kgm)	Mom.Ult. (kgm)	Mom/MomUlt.	Af sup. (cmq)	Af inf. (cmq)	Tag. neg (kg)	Tag. pos (kg)	Rapporto VSd/VRdu
1	0.00	0.15	-372	-717	0.52	0	370	0.00	1.01	0.50	0	555	0.18
	0.15	0.61	-372	-684	0.54	24	371	0.07	1.01	0.50	0	514	0.55
	0.61	1.08	-154	-684	0.22	109	371	0.29	1.01	0.50	0	386	0.42
	1.08	1.54	0	0	0.00	173	365	0.48	0.00	0.50	0	258	0.34
	1.54	2.00	0	0	0.00	186	365	0.51	0.00	0.50	-68	131	0.17
	2.00	2.46	-6	-352	0.02	186	369	0.50	0.50	0.50	-167	3	0.22
	2.46	2.92	-108	-352	0.31	175	369	0.48	0.50	0.50	-295	0	0.39
	2.92	3.39	-248	-352	0.70	110	369	0.30	0.50	0.50	-422	0	0.56
	3.39	3.85	-473	-684	0.69	0	371	0.00	1.01	0.50	-550	0	0.59
	3.85	4.00	-473	-717	0.66	0	370	0.00	1.01	0.50	-591	0	0.19
2	0.00	0.15	-473	-718	0.66	0	718	0.00	1.01	1.01	0	670	0.22
	0.15	0.61	-473	-685	0.69	13	721	0.02	1.01	1.01	0	629	0.68
	0.61	1.08	-204	-351	0.58	187	721	0.26	0.50	1.01	0	501	0.67
	1.08	1.54	-31	-351	0.09	302	721	0.42	0.50	1.01	0	374	0.40
	1.54	2.00	0	0	0.00	357	720	0.50	0.00	1.01	0	246	0.26
	2.00	2.46	0	0	0.00	363	720	0.50	0.00	1.01	-24	118	0.13
	2.46	2.92	0	0	0.00	363	720	0.50	0.00	1.01	-151	8	0.16
	2.92	3.39	0	0	0.00	344	720	0.48	0.00	1.01	-279	0	0.30
	3.39	3.85	0	-351	0.00	266	721	0.37	0.50	1.01	-406	0	0.44
	3.85	4.00	0	-370	0.00	130	717	0.18	0.50	1.01	-448	0	0.14

Teoricamente, invece, per la verifica a flessione si procede in forma approssimata determinando il momento resistente della sezione secondo la relazione:

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot 0.9d$$

essendo $f_{yd} = 3913 [Kg/cm^2]$ la resistenza di calcolo dell'acciaio ed $d = 19 [cm]$ l'altezza utile della sezione. Per i conci iniziale e finale della campata 1 si ha $A_s = 1.01 [cm^2]$ e risulta:

$$M_{Rd} = 67581.4 [Kg \cdot cm] = 675.814 [Kg \cdot m]$$

Seppure valutato in forma approssimata questo valore del momento resistente risulta in buon accordo con quelli riportati nella tabella precedente per i due conci considerati, rimanendo l'errore sempre non superiore al 5%.

Per la determinazione del taglio resistente, invece, si è utilizzata la relazione di normativa 4.1.14 (NTC 2008, paragrafo 4.1.2.1.3.I) di seguito riportata:

$$V_{Rd} = \left\{ 0.18 \cdot k \cdot \frac{(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (V_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

con:

$$k = 1 + \left(\frac{200}{d} \right)^{1/2} \leq 2$$

$$V_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}$$

$$f_{ck} = 25 [KN/cm^2]$$

Per il primo concio della campata 1 in corrispondenza della fascia piena si ha:

$$1 + \left(\frac{200}{d} \right)^{1/2} \leq 2.02 \Rightarrow k = 2$$

$$\rho_l = \frac{1.01}{33 \cdot 19} = 1.6 \cdot 10^{-3}$$

$$0.18 \cdot k \frac{(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c} = 0.3812 < V_{\min} = 0.495 \Rightarrow V_{Rd} = 0.495 \cdot 33 \cdot 19 = 313 [KN] = 3130 [Kg]$$

$$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} = \frac{555}{3130} = 0.18$$

Per il secondo concio della campata 1 in corrispondenza del travetto si ha:

$$\rho_l = \frac{1.01}{8 \cdot 19} = 6.6 \cdot 10^{-3}$$

$$0.18 \cdot k \frac{(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c} = 0.6114 > V_{\min} = 0.495 \Rightarrow V_{Rd} = 0.6114 \cdot 8 \cdot 19 = 92.9 [KN] = 929 [Kg]$$

$$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} = \frac{514}{929} = 0.55$$

In entrambi i casi i risultati ottenuti sono in accordo con quelli riportati nella tabella di verifica di cui sopra.