

IL FATTORE DI STRUTTURA PER IL C.A.

Adriano Castagnone

Introduzione

Tra i diversi parametri necessari per il calcolo delle strutture in cemento armato il fattore di struttura è uno tra i più importanti.

La normativa propone tabelle con diverse ipotesi, per questo è necessario prima di tutto procedere al riconoscimento della tipologia strutturale, operazione non banale in quanto la scelta avviene attraverso l'esame di alcuni parametri da calcolare.

Il fattore di struttura è un numero che sintetizza il comportamento elasto-plastico della struttura, consentendo di effettuare il calcolo sismico ancora in fase elastica ma riducendo le azioni sismiche del fattore "q".

Per questo si parte dallo spettro di risposta elastico diviso per il fattore di struttura che per il cemento armato varia tra 1 e 5,8; data la grande escursione è importante che sia definito correttamente.

Attraverso questo metodo il problema sismico si semplifica notevolmente, mantenendo ancora un buon livello di affidabilità.

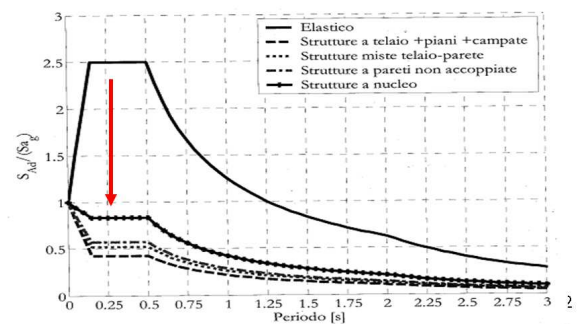
La tabella riporta i valori di "q" relativi alle diverse tipologie strutturali.

Il fattore di struttura q per il c.a.

1

Il fattore di struttura q per il c.a.

Comportamento elastoplastico: fattore "q"



7.3.1 Analisi lineare o non lineare

7.4.3 Tipologie strutturali e fattori di struttura

Occorre giustificare il fattore q

Per azioni verticali $q=1,5$ per tutte le strutture ($q=1$ per i ponti)

Massimi valori di q_0 relativi alle diverse tipologie ed alle due classi di duttilità considerate (CD "A" e CD "B")

Tabella 7.4.I – Valori di q_0

Tipologia	CD "B"	CD "A"
Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste	$3,0 \alpha_d / \alpha_1$	$4,5 \alpha_d / \alpha_1$
Strutture a pareti non accoppiate	3,0	$4,0 \alpha_d / \alpha_1$
Strutture deformabili torsionalmente	2,0	3,0
Strutture a pendolo inverso	1,5	2,0

Per la definizione del fattore "q", la normativa impone una serie di controlli, sintetizzati in questo diagramma di flusso e di seguito esaminati.

Procedendo dall'alto verso il basso, la prima tipologia da esaminare è il pendolo inverso.

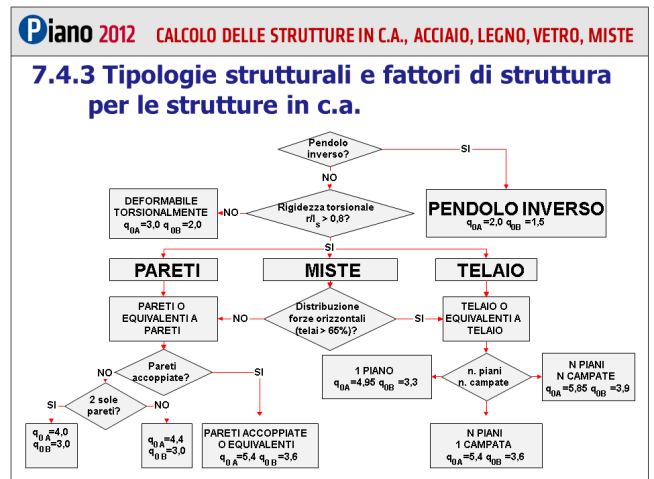
Segue quindi il controllo della rigidezza torsionale per evidenziare strutture poco rigide; in questo caso q vale 3 in alta duttilità e 2 in bassa duttilità.

Se la struttura invece è rigida torsionalmente, il comportamento è prevalentemente flessionale.

In questo caso è necessario verificare la condizione in cui il telaio è prevalente rispetto alle pareti, oppure il contrario e ancora se è presente una condizione mista.

Nel caso in cui le pareti sono prevalenti, è necessario ancora distinguere il comportamento a pareti accoppiate o meno, in funzione della rigidezza delle travi che collegano le pareti stesse.

Anche in questo caso le variazioni dei risultati sono piuttosto sensibili.



I criteri di riconoscimento

Il comportamento della struttura può essere considerata a pendolo inverso se almeno il 50% della massa si trova nel terzo superiore dell'altezza della costruzione, oppure se la dissipazione di energia avviene alla base di un singolo elemento strutturale.

Segue il controllo della deformabilità torsionale.

Per questo occorre verificare che ad ogni piano sia rispettata la condizione $r/l_s > 0,8$ dove:

$r^2 = K_t / K_f$ (rapporto tra la rigidezza torsionale e flessionale di piano)

$l_s = (L^2 + B^2)/12$ essendo L e B le dimensioni del piano.

È quindi necessario calcolare la rigidezza torsionale e flessionale del piano.

È possibile effettuare in modo automatico questa analisi attraverso un modello di calcolo della struttura agli elementi finiti.

Costruito il modello, si procede bloccando i gradi di libertà dei piani inferiori a quello in esame ed applicando delle forze elementari al piano (coppia o forza) e valutando le deformazioni (rotazioni e spostamenti).

La rigidezza si ottiene quindi dividendo il tipo di forza applicata per lo spostamento ottenuto.

Per la rigidezza torsionale si applica una coppia; se il piano si può considerare infinitamente rigido il punto può essere qualsiasi, in alternativa occorre valutare accuratamente dove applicarla.

La rotazione che ne consegue sarà l'output del calcolo.

Piano 2012 CALCOLO DELLE STRUTTURE IN C.A., ACCIAIO, LEGNO, VETRO, MISTE

7.4 Costruzioni in calcestruzzo

7.4.3 Tipologie strutturali e fattori di struttura

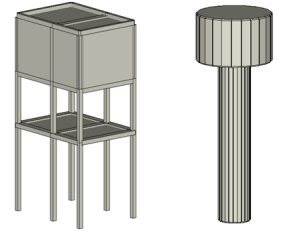
7.4.3.1 Tipologie strutturali

Pendolo inverso

Definizione

strutture a pendolo inverso:

- almeno il 50% della massa è nel terzo superiore dell'altezza della costruzione
- la dissipazione d'energia avviene alla base di un singolo elemento strutturale.



Piano 2012 CALCOLO DELLE STRUTTURE IN C.A., ACCIAIO, LEGNO, VETRO, MISTE

7.4 Costruzioni in calcestruzzo

7.4.3 Tipologie strutturali e fattori di struttura

7.4.3.1 Tipologie strutturali

Strutture deformabili torsionalmente, composte da telai e/o pareti, la cui rigidezza torsionale non soddisfa ad ogni piano la condizione $r/l_s > 0,8$, nella quale:

$r^2 =$ rapporto tra rigidezza torsionale e flessionale di piano

$r^2 = K_t/K_f$

$l_s = (L^2 + B^2)/12$ (L e B dimensioni in pianta del piano)

Piano 2012 CALCOLO DELLE STRUTTURE IN C.A., ACCIAIO, LEGNO, VETRO, MISTE

7.4 Costruzioni in calcestruzzo

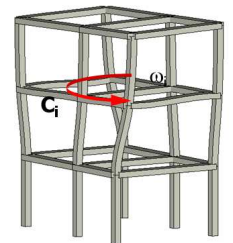
7.4.3 Tipologie strutturali e fattori di struttura

Rigidezza torsionale di piano

Metodo di calcolo automatico

Modello FEM in cui si impone una coppia C al piano e si bloccano alla traslazione i nodi dei piani inferiori. Si calcola la rotazione ω_i (unico nel caso di impalcato rigido, valore medio in caso diverso)

Rigidezza di piano $K_{piano\ t} = C_i/\omega_i$



Si procede analogamente a sopra anche per il calcolo della rigidezza flessionale, si bloccano i piani al di sotto del piano in esame e si applica una forza.

La rigidezza di piano è pari al rapporto tra la forza e lo spostamento.

L'analisi si effettua secondo X e Y per tener conto del possibile diverso comportamento nelle due direzioni.

La rigidezza flessionale si può anche determinare manualmente, calcolando la rigidezza per gli assi X e Y dei pilastri e dei setti ipotizzando anche in questo caso un vincolo al piano inferiore.

La rigidezza di piano è dato dalla sommatoria delle rigidezze dei singoli elementi.

La rigidezza di ogni elemento è espressa dalla formula riportata in figura, in cui il fattore α dipende dalla schema da considerare: 3 nel caso di una mensola e 12 nel caso di un incastro superiore.

Piano 2012 CALCOLO DELLE STRUTTURE IN C.A., ACCIAIO, LEGNO, VETRO, MISTE

7.4 Costruzioni in calcestruzzo

7.4.3 Tipologie strutturali e fattori di struttura

7.4.3.1 Tipologie strutturali

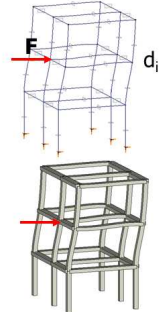
Rigidezza flessionale di piano

Metodo di calcolo automatico

Modello FEM in cui si impone una forza secondo un asse (x,y), si bloccano alla traslazione tutti i nodi dei piani inferiori a quello interessato e si applica una forza F.

Si calcola lo spostamento d_i (unico nel caso di impalcato rigido, valore medio in caso diverso)

Rigidezza di piano $K_{\text{piano } x,y} = F_i/d_i$



Piano 2012 CALCOLO DELLE STRUTTURE IN C.A., ACCIAIO, LEGNO, VETRO, MISTE

7.4 Costruzioni in calcestruzzo

7.4.3 Tipologie strutturali e fattori di struttura

7.4.3.1 Tipologie strutturali

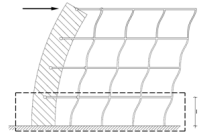
Rigidezza flessionale di piano

Metodo di calcolo manuale

Si calcola la rigidezza per gli assi x e y di ogni pilastro e di ogni setto ipotizzando un grado di vincolo.

Rigidezza del piano:

$$K_{\text{piano } x,y} = \sum k_{x,y}$$



Piano 2012 CALCOLO DELLE STRUTTURE IN C.A., ACCIAIO, LEGNO, VETRO, MISTE

7.4 Costruzioni in calcestruzzo

7.4.3 Tipologie strutturali e fattori di struttura

7.4.3.1 Tipologie strutturali

Rigidezza flessionale di piano

Modo di calcolo manuale

$$K_{\text{piano } x,y} = \sum k_{x,y}$$

$$k = \frac{EA}{l} \left[\frac{1}{\alpha} \left(\frac{l}{\rho} \right)^2 + 2t(1+\nu) \right]$$

$$\alpha = 3 \div 12$$

l = altezza elemento

E = modulo elastico cls.

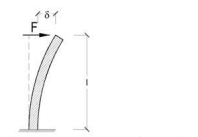
A = area sezione trasversale

t = fattore di taglio della sezione (1 ÷ 1,2)

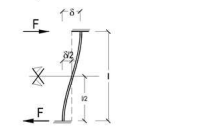
ν = coeff. di Poisson (0 ÷ 0,2)

ρ = raggio giratorio $(I/A)^{0,5}$

I = momento d'inerzia baricentrico



Comportamento mensola $\alpha = 3$



Comportamento telaio $\alpha = 12$

La struttura ha un comportamento prevalente a telaio o a parete in funzione della quota di taglio al piede di ogni elemento rispetto al taglio globale sismico.

La struttura è definita a telaio quando la quota di taglio dei pilastri è superiore al 65% del taglio totale alla base.

Al contrario la struttura è definibile a parete quando espone una quota di taglio superiore al 65%.

Anche nel caso di strutture miste deve essere definita una prevalenza del telaio o della parete, secondo i criteri sopra esposti, dove il limite è però il 50%.

in figura si riportano in modo sintetico le divisioni che riassumono i diversi comportamenti previsti dalla normativa.

Piano 2012 CALCOLO DELLE STRUTTURE IN C.A., ACCIAIO, LEGNO, VETRO, MISTE

7.4.3 Tipologie strutturali e fattori di struttura per le strutture in c.a.

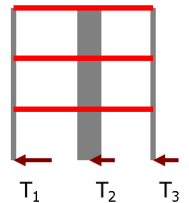
7.4.3.1 Tipologie strutturali

Strutture a telaio, nelle quali la resistenza alle azioni sia verticali che orizzontali è affidata principalmente a telai spaziali, aventi resistenza a taglio alla base $\geq 65\%$ della resistenza a taglio totale

$$T \text{ telaio spaz. (es. } T_1 + T_3) > 0,65 \Sigma T_i$$

Strutture a pareti, nelle quali la resistenza alle azioni sia verticali che orizzontali è affidata principalmente a pareti, singole o accoppiate, aventi resistenza a taglio alla base $\geq 65\%$ della resistenza a taglio totale

$$T \text{ pareti (es. } T_2) > 0,65 \Sigma T_i$$



Piano 2012 CALCOLO DELLE STRUTTURE IN C.A., ACCIAIO, LEGNO, VETRO, MISTE

7.4.3 Tipologie strutturali e fattori di struttura per le strutture in c.a.

7.4.3.1 Tipologie strutturali

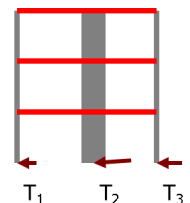
Strutture miste telaio-pareti, nelle quali la resistenza alle azioni verticali è affidata prevalentemente ai telai, la resistenza alle azioni orizzontali è affidata in parte ai telai ed in parte alle pareti, singole o accoppiate

$$T \text{ telaio spaz. (es. } T_1 + T_3) > 0,5 \Sigma T_i$$

→ **strutture miste equivalenti a telai**

$$T \text{ pareti (es. } T_2) > 0,5 \Sigma T_i$$

→ **strutture miste equivalenti a pareti**

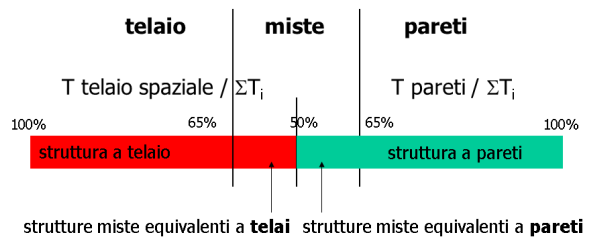


Piano 2012 CALCOLO DELLE STRUTTURE IN C.A., ACCIAIO, LEGNO, VETRO, MISTE

7.4.3 Tipologie strutturali e fattori di struttura per le strutture in c.a.

7.4.3.1 Tipologie strutturali

La distinzione avviene per la quota di taglio assorbita alla base



In figura si riportano i limiti geometrici che discriminano i pilastri dalle pareti.

Piano 2012 CALCOLO DELLE STRUTTURE IN C.A., ACCIAIO, LEGNO, VETRO, MISTE

7.4.3 Tipologie strutturali e fattori di struttura

7.4.3.1 Tipologie strutturali
Definizione di parete

Parete: $b/h > 4$

Parete composta: $b_i/h_i > 4$

Il diagramma mostra due tipi di pareti. La prima è una parete semplice rettangolare con altezza h e larghezza b . La seconda è una parete composta a U, con tre sezioni verticali di altezze h_1 , h_2 e h_3 , e larghezze b_1 , b_2 e b_3 rispettivamente.

Le pareti si possono considerare accoppiate se le travi di accoppiamento sono sufficientemente rigide da consentire lo sviluppo di una reazione V tale da soddisfare l'equazione riportata in figura.

Se le travi sono flessibili, ogni parete agisce in modo indipendente e il valore di V risultante dall'applicazione delle forze F è molto basso.

Piano 2012 CALCOLO DELLE STRUTTURE IN C.A., ACCIAIO, LEGNO, VETRO, MISTE

7.4 Costruzioni in calcestruzzo

7.4.3 Tipologie strutturali e fattori di struttura

7.4.3.1 Tipologie strutturali
Definizione di parete

Parete accoppiata

$V \times d > 0,2 \times (\sum F_i h_i)$

Il diagramma mostra un prospetto di travi di accoppiamento. Tre forze orizzontali F_1 , F_2 e F_3 agiscono a quote h_1 , h_2 e h_3 rispettivamente. Le reazioni verticali V agiscono alla base delle travi con distanza d .