

# Stati limite di esercizio

Eurocodice 2 vers. 2005

Pier Paolo Rossi

# STATI LIMITE DI FESSURAZIONE

## Limiti di apertura delle lesioni (7.3.1)

Classe di esposizione	Elementi di calcestruzzo armato normale e precompresso con cavi non aderenti	Elementi precompressi con cavi aderenti
	Combinazione di carico quasi-permanente	Combinazione di carico frequente
X0, XC1	0.4 <sup>1</sup>	0.2
XC2, XC3, XC4	0.3	0.2 <sup>2</sup>
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3		Decompressione

Nota 1 Per le classi di esposizione X0, XC1, l'ampiezza delle fessure non influenza la durabilità e questo limite è posto per garantire un aspetto accettabile. In assenza di requisiti relativi all'aspetto questo limite può essere mitigato.

Nota 2 Per queste classi di esposizione, inoltre, si raccomanda che la decompressione sia verificata sotto la combinazione di carico quasi-permanente.

# STATI LIMITE DI FESSURAZIONE

## Limitazione della fessurazione (7.3.1)

In assenza di requisiti specifici (per esempio impermeabilità), si può ritenere che, per gli elementi di calcestruzzo armato di edifici, sia generalmente soddisfacente limitare le ampiezze di progetto delle fessure ai valori di  $w_{\max}$  sotto la combinazione di carico quasi-permanente.

# STATI LIMITE DI FESSURAZIONE

## Limitazione della fessurazione (7.3.1)

La durabilità di elementi precompressi può essere influenzata dalla fessurazione in modo più critico. In assenza di requisiti più dettagliati, si considera generalmente soddisfacente limitare le ampiezze di progetto delle fessure ai valori di  $w_{\max}$ , sotto la combinazione di carico frequente.

Il limite di decompressione richiede che ogni parte delle armature di precompressione o delle guaine rimanga almeno 25 mm all'interno del calcestruzzo compresso.

Per elementi precompressi con sole armature non aderenti, si applicano i requisiti relativi agli elementi di calcestruzzo armato. Per elementi precompressi mediante la combinazione di armature aderenti e non aderenti, si applicano i requisiti relativi agli elementi di calcestruzzo armato precompresso ad armature aderenti.

# STATI LIMITE DI FESSURAZIONE

## CONTROLLO DELLA FESSURAZIONE

**Metodo semplificato**

**Calcolo diretto  
dell'ampiezza delle fessure**

# STATI LIMITE DI FESSURAZIONE

## Metodo semplificato (4.4.2.3.)

Tensione nell'acciaio <sup>2</sup> [MPa]	Diametro massimo delle barre [mm] <sup>1</sup>		
	$w_k = 0,4 \text{ mm}$	$w_k = 0,3 \text{ mm}$	$w_k = 0,2 \text{ mm}$
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

- 1) I valori nel prospetto sono basati sulle seguenti assunzioni:  
 $c = 25 \text{ mm}$ ;  $f_{ct,eff} = 2,9 \text{ MPa}$ ;  $h_{cr} = 0,5$ ;  $(h - d) = 0,1 h$ ;  $k_1 = 0,8$ ;  $k_2 = 0,5$ ;  $k_c = 0,4$ ;  $k = 1,0$ ;  $k_t = 0,4$  e  $k' = 1,0$ .
- 2) Sotto la combinazione di carico pertinente.

# STATI LIMITE DI FESSURAZIONE

## Metodo semplificato (4.4.2.3.)

Tensione nell'acciaio <sup>2</sup> [MPa]	Spaziatura massima delle barre [mm] <sup>1</sup>		
	$w_k = 0,4 \text{ mm}$	$w_k = 0,3 \text{ mm}$	$w_k = 0,2 \text{ mm}$
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

- 1) I valori nel prospetto sono basati sulle seguenti assunzioni:  
 $c = 25 \text{ mm}$ ;  $f_{ct,eff} = 2,9 \text{ MPa}$ ;  $h_{cr} = 0,5$ ;  $(h - d) = 0,1 h$ ;  $k_1 = 0,8$ ;  $k_2 = 0,5$ ;  $k_c = 0,4$ ;  $k = 1,0$ ;  $k_t = 0,4$  e  $k' = 1,0$ .
- 2) Sotto la combinazione di carico pertinente.

# STATI LIMITE DI FESSURAZIONE

## Metodo semplificato (4.4.2.3.)

Il diametro massimo delle barre si raccomanda sia modificato come segue:

**Flessione** (almeno una parte della sezione è compressa):

$$\phi_s = \phi_s^* (f_{ct,ef} / 2.9) \frac{k_c h_{cr}}{2(h-d)}$$

**Trazione** (la sezione è tutta tesa):

$$\phi_s = \phi_s^* (f_{ct,ef} / 2.9) \frac{1}{8(h-d')}$$

dove:

$\phi_s$  è il diametro massimo "modificato" delle barre;

$\phi_s^*$  è il diametro massimo dato nel prospetto;

$h$  è l'altezza totale della sezione;

$h_{cr}$  è l'altezza della zona tesa subito prima della fessurazione, considerando i valori caratteristici della forza di precompressione e delle forze assiali sotto la combinazione di azioni quasi-permanente;

$d$  è l'altezza utile valutata rispetto al baricentro dello strato più esterno di arm. ordinaria.

Se tutta la sezione è tesa  $h-d$  è la minima distanza tra il baricentro dello strato di armatura e il lembo esterno della sezione.



# STATI LIMITE DI FESSURAZIONE

## Calcolo dell'ampiezza delle fessure (4.4.2.4.)

L'ampiezza di calcolo delle fessure può essere ottenuta dalla relazione:

$$w_k = s_{rm} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

essendo:

- $w_k$  l'ampiezza di calcolo delle fessure;
- $s_{rm}$  la distanza media finale tra le fessure;
- $\varepsilon_{sm}$  la deformazione media che tiene conto, nella combinazione di carico considerata, degli effetti di "tension stiffening", del ritiro ecc.;
- $\varepsilon_{cm}$  la deformazione media del calcestruzzo tra le fessure

# STATI LIMITE DI FESSURAZIONE

## Calcolo dell'ampiezza delle fessure (4.4.2.4.)

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{t,ef}}{\rho_{p,ef}} (1 + \alpha_e \rho_{p,ef})}{E_s} \geq 0.6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$\sigma_s$  è la tensione nell'armatura tesa calcolata nella sezione fessurata;

$\alpha_e$  è il rapporto  $E_s/E_{cm}$ ;

$\rho_{p,ef} = (A_s + \xi_1^2 A'_p) / A_{c,ef}$

# STATI LIMITE DI DEFORMAZIONE

## Metodo semplificato

Se travi o piastre sono dimensionate in modo da rispettare i limiti indicati del rapporto luce/altezza, le loro inflessioni possono essere considerate come non eccedenti i limiti di normativa.

Nota : i rapporti vanno moltiplicati per fattori di correzione in funzione dell'armatura utilizzata e di altri parametri.

$$\frac{l}{d} = K \left[ 11 + 1.5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_o}{\rho} + 3.2 \sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho_o}{\rho} - 1 \right)^{1.5} \right] \quad \text{se } \rho \leq \rho_o$$

$$\frac{l}{d} = K \left[ 11 + 1.5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_o}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_o}} \right] \quad \text{se } \rho > \rho_o$$

**K** è il fattore che tiene conto dei diversi sistemi strutturali;

$\rho_o$  è il rapporto di armatura di riferimento =  $\sqrt{f_{ck}} \cdot 10^{-3}$  ;

$\rho$  è il rapporto di armatura tesa richiesta in mezzeria per resistere al momento indotto dai carichi di progetto (all'incastro per mensole);

$\rho'$  è il rapp. di armatura compressa richiesta in mezzeria (all'incastro per mensole);

# STATI LIMITE DI DEFORMAZIONE

## Fattori correttivi

Le espressioni sono state ricavate assumendo la tensione nell'acciaio pari a 310 MPa (corrispondente approssimativamente a  $f_{yk} = 500$  MPa), sotto la condizione di carico appropriata allo SLE in sezione fessurata nella mezzeria di una trave o di una piastra o all'incastro di una mensola.

**1.** Se sono utilizzati altri livelli di tensione, si raccomanda che i valori ottenuti siano moltiplicati per  $310/\sigma_s$ . È generalmente a favore di sicurezza assumere :

$$310 / \sigma_s = 500 / (f_{yk} A_{s,req} / A_{s,prov})$$

$\sigma_s$  è la tensione nell'acciaio teso in mezzeria (all'incastro per mensole) sotto il carico di progetto allo SLE;

$A_{s,prov}$  è l'area di armatura effettivamente presente;

$A_{s,req}$  è l'area di armatura richiesta allo stato limite ultimo.

# STATI LIMITE DI DEFORMAZIONE

## Fattori correttivi

2. Per sezioni a T, se il rapporto tra la larghezza dell'ala e la larghezza dell'anima è maggiore di 3, si raccomanda un coefficiente correttivo pari a 0,8.
3. Per travi e piastre escluse le piastre senza nervature di luce maggiore di 7 m, caricate da tramezzi che possano subire danni a causa di inflessioni eccessive, si raccomanda un coefficiente correttivo pari a  $7/l_{eff}$  ( $l_{eff}$  in metri).
4. Per piastre senza nervature la cui luce maggiore eccede 8,5 m, caricate da tramezzi che possano subire danni a causa di deformazioni eccessive, si raccomanda un coefficiente correttivo pari a  $8,5/l_{eff}$  ( $l_{eff}$  in metri).

# STATI LIMITE DI DEFORMAZIONE

## Metodo semplificato

Sistema strutturale	K	Calcestruzzo poco sollecitato    Calcestruzzo molto sollecitato	
Travi semplicemente appoggiate, piastre semplicemente appoggiate mono o bidirezionali	1.0	14	20
Campata terminale di travi continue o piastre continue monodirezionali o piastre bidirezionali continue su un lato lungo	1.3	18	26
Campata intermedia di travi o di piastre mono o bidirezionali	1.5	20	30
Piastre sorrette da pilastri senza travi (piastre non nervate) (in base alla luce maggiore)	1.2	17	24
Mensole	0.4	6	8

- Nota 1    I valori dati sono stati scelti in genere in via prudenziale e il calcolo può dimostrare frequentemente che si possono realizzare elementi più sottili.
- Nota 2    Per piastre bidirezionali si raccomanda che la verifica sia effettuata con riferimento alla luce minore; per piastre non nervate si raccomanda di considerare la luce maggiore.
- Nota 3    I limiti dati per piastre prive di nervature corrispondono a una limitazione meno severa di quella che impone una freccia in mezzera minore di  $1/50$  della luce, relativamente agli appoggi sui pilastri. L'esperienza ha dimostrato che ciò è comunque soddisfacente.

Fine