

4.3.1. STATO LIMITE DI FESSURAZIONE.**4.3.1.1. Finalità.**

Per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture è necessario:

- prefissare uno stato limite di fessurazione adeguato alle condizioni ambientali e di sollecitazione nonché alla sensibilità delle armature alla corrosione;
- realizzare un sufficiente ricoprimento delle armature con calcestruzzo di buone qualità e compattezza;
- tener conto delle esigenze estetiche.

4.3.1.2. Definizione degli stati limite di fessurazione.

In ordine di severità decrescente si distinguono i seguenti stati limite:

- stato limite di decompressione nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale nella fibra considerata è pari a zero;
- stato limite di formazione delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale di trazione nella fibra considerata è uguale al frattile inferiore della resistenza a trazione oppure:

$$f_{ctk} = 0,7 f_{ctm}$$

$$f_{ctk} = 0,7 f_{ctm}$$

- stato limite di apertura delle fessure nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, il valore caratteristico di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari a un valore nominale prefissato.

I valori nominali ai quali si riferiscono le successive prescrizioni sono:

$$w_1 = 0,1 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0,2 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0,4 \text{ mm}$$

4.3.1.3. Combinazioni di azioni.

Si prendono in considerazione le seguenti combinazioni (Cfr 4.0.1.):

- azioni quasi permanenti;
- azioni frequenti;
- azioni rare.

4.3.1.4. Condizioni ambientali.

Si individuano i seguenti ambienti in cui può trovarsi la struttura:

- poco aggressivo, caratterizzato da umidità relativa non elevata o da umidità relativa elevata per brevi periodi;
- moderatamente aggressivo, caratterizzato da elevata umidità relativa in assenza di vapori corrosivi;
- molto aggressivo, caratterizzato da presenza di liquidi o di aeriformi particolarmente corrosivi.

4.3.1.5. Sensibilità delle armature alla corrosione.

Le armature si distinguono in due gruppi:

- armature sensibili;
- armature poco sensibili.

Appartengono al primo gruppo gli acciai temprati, non rinvenuti, di qualunque diametro e gli acciai incruditi a freddo soggetti a tensioni permanenti superiori a 390 N/mm².

Appartengono al secondo gruppo le altre armature e quelle adeguatamente protette.

Nel caso della precompressione parziale, i due gruppi di armature sono, in generale, entrambi presenti (sezione ad armatura mista).

4.3.1.6. Scelta degli stati limite di fessurazione.

Nel prospetto 7-I sono indicati i criteri di scelta dello stato limite con riferimento alle esigenze sopra riportate.

PROSPETTO 7-I

Gruppi di esigenze	Condizioni ambiente	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
a	Poco aggressivo	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	decomp. o ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Moderatamente aggressivo	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompress.	—	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressivo	rara	ap. fessure e formaz. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		frequente	decompress.	—	ap. fessure	$\leq w_1$

w_k è definito al punto 4.3.1.7.1.3 w_1, w_2, w_3 sono definiti al punto 4.2.4.2.

Nel caso della precompressione parziale è richiesta la verifica allo stato limite di decompressione per la combinazione di azioni quasi permanente e la verifica allo stato limite di apertura delle fessure per le combinazioni di azioni frequenti e rara.

L'impiego della precompressione parziale, a causa della fessurazione della sezione in condizioni di servizio, è soggetto a particolari limitazioni, nel seguito specificate.

4.3.1.7. Verifiche allo stato limite di fessurazione.

4.3.1.7.1. Verifiche allo stato limite per sollecitazioni che provocano tensioni normali.

4.3.1.7.1.1. *Stato limite di decompressione.* Le tensioni sono calcolate in base alle caratteristiche geometriche e meccaniche della sezione omogeneizzata non fessurata. (Il coefficiente di omogeneizzazione è definito al punto 4.3.4.1.).

Nel caso della precompressione parziale la sezione deve risultare totalmente compressa per la combinazione di azioni quasi permanente e, comunque, per il carico permanente più il 10% dei carichi variabili disposti nel modo più sfavorevole.

4.3.1.7.1.2. *Stato limite di formazione delle fessure.* Valgono i criteri di calcolo di cui al punto 4.3.1.7.1.1.

4.3.1.7.1.3. *Stato limite di apertura delle fessure.* La zona di efficacia dell'armatura è legata alle condizioni di lavoro dell'elemento strutturale ed alla sua conformazione.

Il valore caratteristico di apertura delle fessure nella zona di efficacia delle armature non deve superare il valore prefissato al punto 4.3.1.6.

Il valore caratteristico di calcolo è dato da:

$$w_k = 1,7 w_m$$

in cui w_m che rappresenta il valore medio dell'apertura calcolata in base alla deformazione media ϵ_{sm} del tratto s_m pari alla distanza media fra le fessure, sia:

$$w_m = \epsilon_{sm} \cdot s_m$$

I criteri indicati si applicano anche al calcolo delle aperture delle fessure provocate da stati di coazione ed alla verifica delle condizioni di fessurazione dell'anima delle travi alte.

Nel caso della precompressione parziale, poiché l'armatura è mista, in parte sensibile ed in parte poco sensibile, il calcolo dell'ampiezza delle lesioni si effettua al livello delle armature non pretese e con la tensione presente in queste ultime, ma i valori delle ampiezze ammissibili devono essere quelli relativi alle armature sensibili secondo quanto prescritto nel prospetto 7-I.

B.6. Stato limite di fessurazione**B.6.1. Finalità**

(Rif.to punto 4.3.1.1.)

Le fessure non sono da considerarsi fenomeno anomalo entro strutture in c.a. non precompresso soggette a trazione, flessione, taglio, torsione per effetto di carichi o di deformazioni imposte (deformazioni tecniche, ritiro, cedimento dei vincoli). E' tuttavia necessario contrastarne l'apertura, allo scopo di rispettare le esigenze funzionali e di durata, nonché quelle inerenti l'estetica.

B.6.2. Definizione degli stati limite di fessurazione

(Rif.to punto 4.3.1.2.)

La verifica allo stato limite di decompressione relativa non esclude che qualche fessura possa temporaneamente verificarsi sotto l'azione di carichi rari.

Le verifiche dei vari stati limite elencati devono considerarsi convenzionali e destinate a graduare le precauzioni atte a contenere l'apertura delle lesioni. In particolare la verifica dello stato limite di formazione delle fessure deve essere accompagnata dalla valutazione dell'apertura di fessure che si avrebbe in assenza di resistenza a trazione.

Parti diverse di una stessa struttura possono essere progettate per differenti stati limite.

I valori $w_1 - w_2 - w_3$ corrispondono al caso in cui il ricoprimento è uguale al minimo valore indicato al punto 6.1.4. Per valori di ricoprimento maggiori, le massime aperture ammissibili w sopraindicate possono essere aumentate secondo il rapporto $c/c_{\text{minimo}} \leq 1,5$.

B.6.3. Condizioni ambientali

(Rif.to punto 4.3.1.4.)

Esempi di ambiente poco aggressivo:

- Interno di fabbricati di abitazione e uffici.

Esempi di ambiente moderatamente aggressivo:

- Interno di fabbricati con alta umidità relativa o dove vi sia rischio di temporanea presenza di vapori corrosivi; acqua corrente; atmosfera urbana o rurale senza grandi condensazioni di vapori aggressivi; suoli ordinari.

Esempi di ambiente molto aggressivo:

- Acque pure, liquidi anche debolmente acidi, acque salmastre o acqua con alto contenuto di ossigeno; gas corrosivo; suoli contenenti sostanze acide; atmosfera marina.

B.6.4. Sensibilità delle armature alla corrosione

(Rif.to punto 4.3.1.5.)

Le verifiche di cui al punto 4.3.1.5. comportano in taluni casi una restrizione dei domini di sicurezza delimitati dai diagrammi di interazione di cui alle Istruzioni relative al punto 4.2.1.1., che potranno concretizzarsi nel tracciamento di opportune curve limite.

B.6.5. Scelta degli stati limite di fessurazione

(Rif.to punto 4.3.1.6.)

Le esigenze funzionali sono state raggruppate in tre categorie per facilitare eventuali riferimenti contrattuali, senza che ciò corrisponda ad una classificazione del tipo di struttura.

B.6.6. Verifiche allo stato limite di fessurazione per sollecitazioni normali**B.6.6.1. Stato limite di decompressione**

(Rif.to punto 4.3.1.7.1.1.)

Si deve tenere conto, se del caso, delle cadute di tensione di precompressione e della resistenza opposta dalle armature aderenti alla chiusura delle fessure, quando la fessurazione sia ammessa per un livello di carico più elevato di quello per il quale è stato verificato lo stato limite di decompressione.

B.6.6.2. Stato limite di formazione delle fessure
(Rif.to punto 4.3.1.7.1.2.)

Questo stato limite deve essere considerato solo nel caso in cui l'intervento di una combinazione di azioni rara possa avere effetto determinante.

Il calcolo si riferisce generalmente alla fibra estrema della sezione.

B.6.6.3. Stato limite di apertura delle fessure
(Rif.to punto 4.3.1.7.1.3.)

L'area efficace $A_{c,eff}$ è l'area di calcestruzzo entro la quale la barra di acciaio può effettivamente influenzare l'apertura della fessura. Si può ritenere, per una singola barra, che l'area efficace abbia forma circolare con diametro pari a 14 volte il diametro della barra. Applicando tale concetto ai casi usuali di sezioni inflesse e tese si può porre $A_{c,eff} = b_{eff} \cdot d_{eff}$ in cui i valori da attribuire a b_{eff} ed a d_{eff} sono indicati nella figura 4.

Il valore w_k calcolato si riferisce all'apertura della fessura misurata sulla superficie del calcestruzzo all'interno dell'area di efficacia dell'armatura; al di fuori di tale area le fessure possono allargarsi, e la loro ammissibilità dipende dalle esigenze estetiche. Se tali più ampie fessure non sono ammissibili, occorre predisporre ulteriori armature.

In assenza di dati più precisi i parametri S_{rm} e ε_{sm} che definiscono w_m e w_k possono valutarsi come segue, nell'ipotesi che le armature siano distribuite uniformemente sull'area efficace della sezione trasversale.

a) La distanza media fra le fessure per la condizione di fessurazione stabilizzata in corrispondenza del livello baricentrico dell'armatura all'interno dell'area efficace è data da:

$$s_{rm} = 2 \left(c + \frac{s}{10} \right) + k_2 k_3 \frac{\phi}{\rho_r}$$

in cui:

c = ricoprimento dell'armatura

s = distanza fra le barre; se $s > 14\phi$ si adotterà $s = 14\phi$

ϕ = diametro della barra

k_2 = coefficiente che caratterizza l'aderenza del calcestruzzo alla barra e al quale si assegnano i seguenti valori:

0,4 per barre ad aderenza migliorata

0,8 per barre lisce

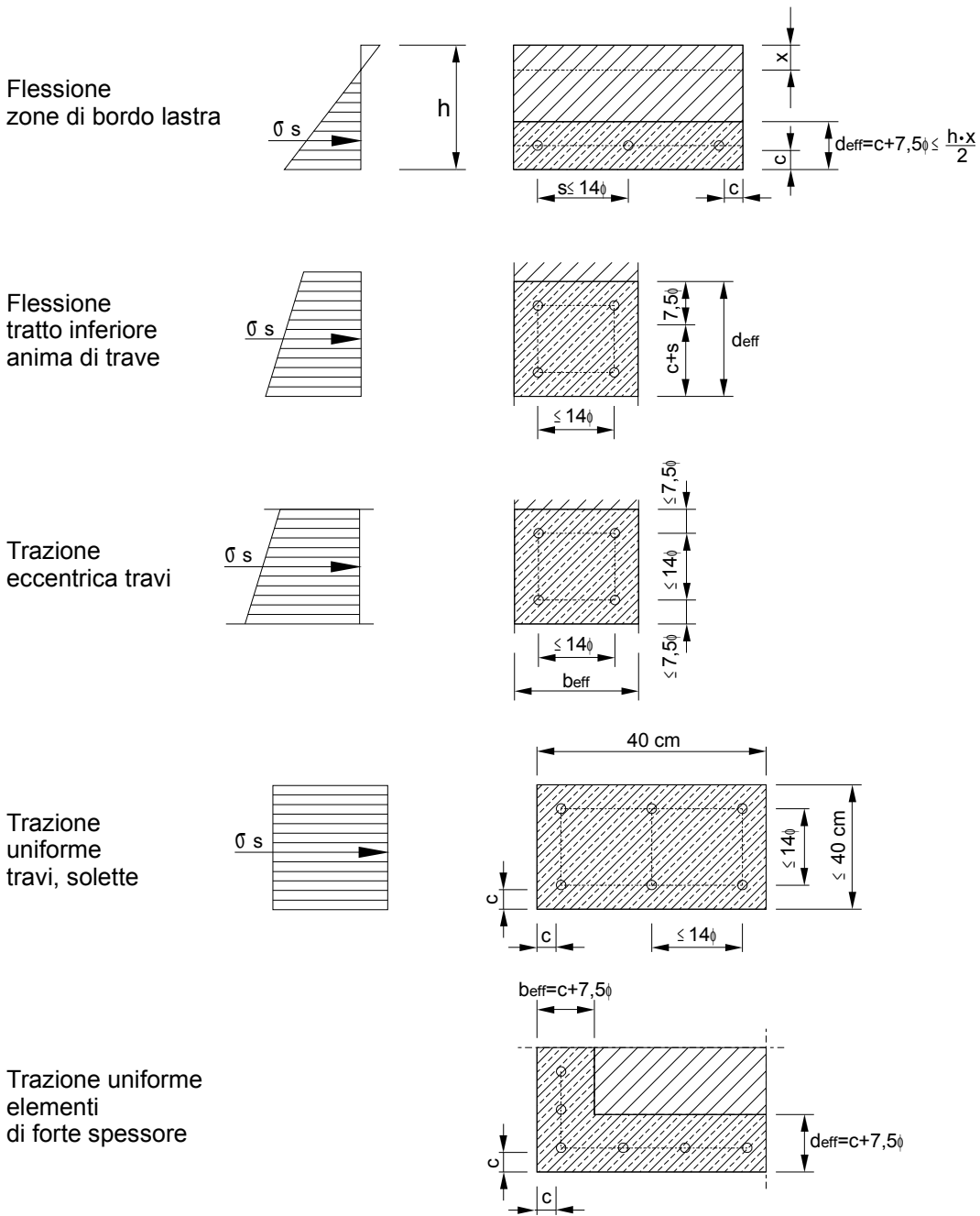


Fig. 4 - Area efficace

k_3 = coefficiente che tiene conto della forma del diagramma delle tensioni prima della fessurazione in base al seguente prospetto:

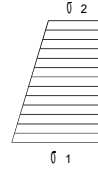
0,125 nel caso di diagramma triangolare di flessione o pressoflessione
 0,250 nel caso di trazione pura

$0,25 \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2\sigma_1}$ nel caso di trazione eccentrica o nel caso in cui si consideri una sola parte della sezione

σ_1, σ_2 = trazione nel calcestruzzo teso

$$\rho_r = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

A_s = area della sezione di acciaio posta nell'area $A_{c,eff}$.



Le armature di precompressione di area A_p possono essere prese in conto solo se aderenti direttamente al calcestruzzo.

b) La deformazione unitaria media dell'armatura ϵ_{sm} può valutarsi secondo la seguente espressione che tiene conto della collaborazione del calcestruzzo teso che la circonda:

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] \quad \left(\geq 0,4 \frac{\sigma_s}{E_s} \right)$$

in cui:

σ_s = tensione dell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la combinazione di azioni considerata

σ_{sr} = tensione nell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la sollecitazione corrispondente al raggiungimento della resistenza a trazione f_{ctm} nella fibra di calcestruzzo più sollecitata in sezione interamente reagente, compresa nell'area efficace;

β_1 = coefficiente rappresentativo dell'aderenza acciaio calcestruzzo che assume i valori:

1,0 nel caso di barre ad aderenza migliorata

0,5 nel caso di barre lisce

β_2 = coefficiente che tiene conto delle condizioni di sollecitazione:

1,0 nel caso della prima applicazione di una azione di breve durata;

0,5 nel caso di azioni di lunga durata o nel caso di azioni ripetute.

Il diagramma della deformazione ϵ_{sm} in funzione della tensione σ_s è riportato in figura 5.

Le relazioni precedenti S_{rm} e ϵ_{sm} possono essere usate per calcolare l'ampiezza delle fessure anche prima della stabilizzazione della fessurazione

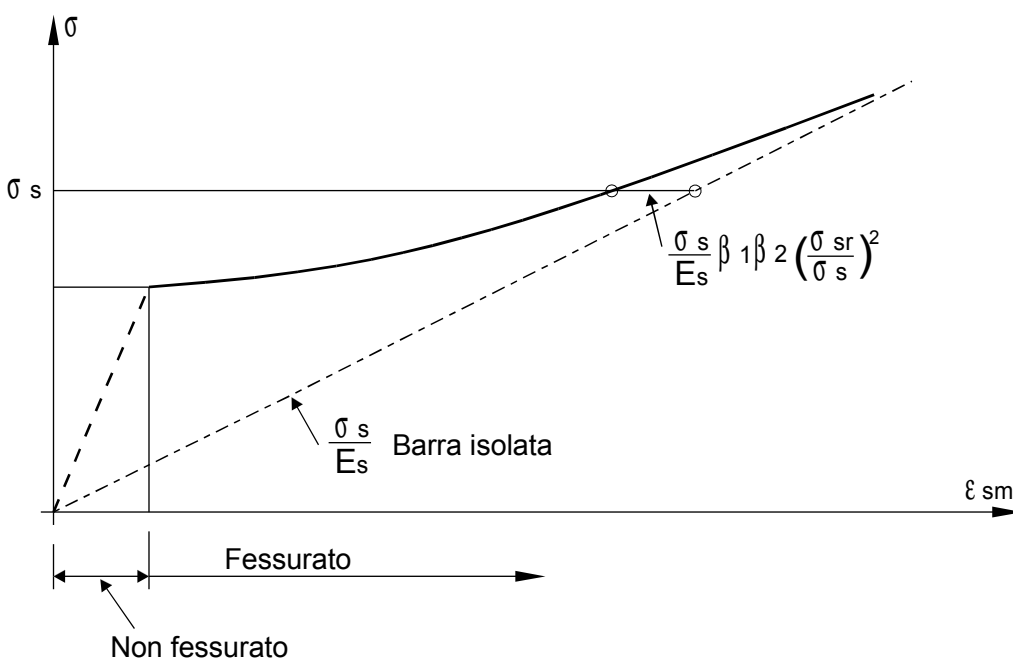


Fig. 5 - Diagramma $\epsilon_{sm} - \sigma_s$