

raggiungere il collasso per deformazione eccessiva, riconosce quindi alle barre la capacità di assorbire ancora una tensione residua. In realtà il modello Europeo accetta anche l'impiego di un legame costitutivo del tutto identico a quello preso in considerazione dalla norma italiana (secondo tratto della spezzata orizzontale); in questo caso le due metodologie forniscono risultati perfettamente uguali, essendo analogo il principio che sta a monte della verifica.

### 5.6.2. Verifica a taglio

La normativa italiana e quella europea presentano criteri di base molto simili per la descrizione dei requisiti che permettono la verifica a taglio delle aste in cemento armato. Di seguito se ne evidenziano le differenze:

#### VERIFICA DEL CONGLOMERATO

$$V_{sdu} \leq 0.30 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d = K_{sl} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d \quad (\text{stati limite italiani})$$

dove:

$$K_{sl} = 0.3$$

$$V_{sdu} \leq 0.50 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0.9 \cdot d = K_{EC} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d \quad (\text{Eurocodice 2})$$

dove:

$$K_{EC} = 0.5 \cdot 0.9 \left( 0.7 - \frac{f_{ck}}{200} \right)$$

#### PROGETTO ARMATURE TRASVERSALI (STAFFE)

$$V_{sdu} \leq V_{cd} + V_{wd} \quad (\text{stati limite italiani})$$

essendo:

$$V_{cd} = 0.60 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d \cdot \delta$$

$$V_{wd} = A_{sw} \cdot f_y \cdot \frac{0.90 \cdot d}{s}$$

$$V_{sdu} \leq V_{cd} + V_{wd} \quad (\text{Eurocodice 2})$$

essendo:

$$V_{cd} = V_{rd1} = [0.25 \cdot f_{ctd} \cdot K \cdot (1.2 + 40 \cdot \rho_l) + 0.15 \cdot \sigma_{CP}] \cdot b_w \cdot d$$

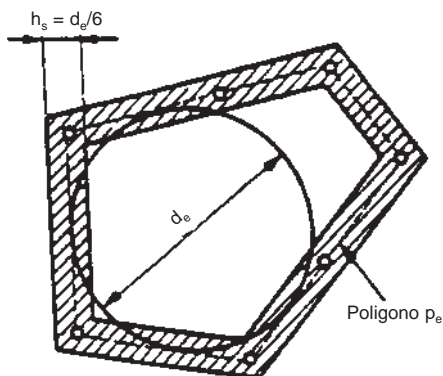
$$V_{wd} = A_{sw} \cdot f_y \cdot \frac{0.90 \cdot d}{s}$$

Per il significato dei simboli adottati si rimanda alle descrizioni riportate nei capitoli precedenti, relativi alla trattazione di ciascun modello di verifica.

### 5.6.3. Verifica a torsione

Tanto per la normativa italiana quanto per quella europea, relativamente alla verifica a torsione delle sezioni in c.a., viene considerata come reagente la sola zona esterna della sezione, la differenza consiste nel metodo adottato per la definizione dello spessore dell'areola in questione.

La norma italiana prende in considerazione un'area il cui lo spessore  $h_s$  è pari ad un sesto di  $d_e$ , essendo  $d_e$  il diametro della circonferenza inscritta nel poligono  $p_e$  costruito utilizzando come vertici le armature contenute nella sezione (figura 5.5).



Stati limite italiani

Fig. 5.5

Secondo l'Eurocodice invece la sezione trasversale effettiva da considerare reagente sotto l'azione torsionale ha uno spessore  $t$  che deve soddisfare la relazione:

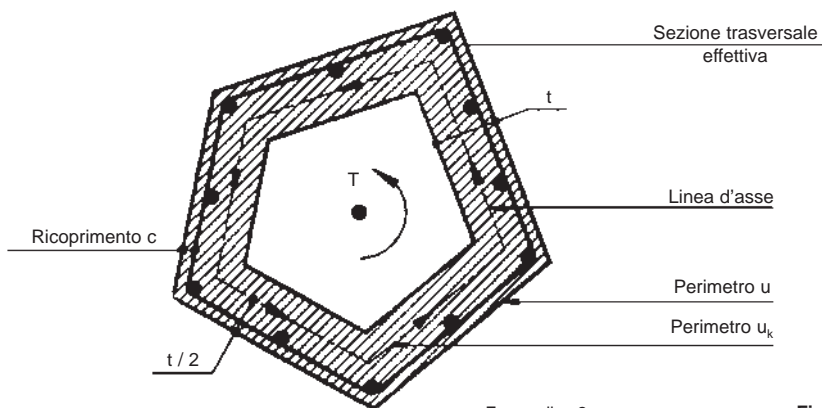
$$t \leq A/u$$

essendo:

$u$  = perimetro esterno della sezione

$A$  = area totale della sezione racchiusa nel perimetro esterno, comprese eventuali aree di cavità interne.

Un valore dello spessore  $t$  minore di  $A/u$  è ammesso nel caso in cui fosse  $T_{sd} \leq T_{RdI}$ , ma in ogni caso non potrà mai essere minore del doppio del copriferro delle barre longitudinali (figura 5.6).



Eurocodice 2

Fig. 5.6

Per la verifica del conglomerato ed il progetto delle armature le formule adottate nei due metodi di verifica differiscono di poco.

#### VERIFICA DEL CONGLOMERATO

$$T_{sdu} \leq 0.5 \cdot f_{cd} \cdot B_e \cdot h_s \quad (\text{stati limite italiani})$$

$$T_{sdu} \leq T_{rd1} = v \cdot f_{cd} \cdot t \cdot A_k \quad (\text{Eurocodice 2})$$

#### PROGETTO ARMATURE TRASVERSALI (STAFFE)

$$T_{sdu} \leq \frac{A_{sw}}{s} \cdot 2 \cdot B_e \cdot f_{ywd} \quad (\text{stati limite italiani})$$

$$T_{sdu} \leq T_{Rd2} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 2 \cdot A_k \cdot f_{ywd} \quad (\text{Eurocodice 2})$$

#### PROGETTO ARMATURE LONGITUDINALI

$$T_{sdu} \leq \frac{A_l}{u} \cdot 2 \cdot B_e \cdot f_{yld} \quad (\text{stati limite italiani})$$

$$A_{sl} = \frac{\left( T_{Rd2} \cdot \frac{u_k}{2 \cdot A_k} \right)}{f_{yld}} \quad (\text{Eurocodice 2})$$

Per il significato dei simboli adottati si rimanda alle descrizioni riportate nei capitoli precedenti, relativi alla trattazione di ciascun modello di verifica.

#### 5.6.4. Azione combinata taglio e torsione

Per quanto concerne l'effetto combinato di sforzi taglianti e torcenti, analoga è la relazione utilizzata dai due metodi per il progetto dell'armatura trasversale, ferma restando la differente definizione delle azioni resistenti; mentre, per la verifica del conglomerato, l'Eurocodice considera il quadrato dei rapporti utilizzati nella norma italiana.

#### CALCESTRUZZO

$$\frac{T_{sdu}}{T_{Rdu}} + \frac{V_{sdu}}{V_{Rdu}} \leq 1 \quad (\text{stati limite italiani})$$

$$\left( \frac{T_{sdu}}{T_{Rd1}} \right)^2 + \left( \frac{V_{sdu}}{V_{Rd2}} \right)^2 \leq 1 \quad (\text{Eurocodice 2})$$

#### STAFFE

$$\frac{T_{sdu}}{T_{Rdu}} + \frac{V_{sdu}}{V_{wd}} \leq 1 \quad (\text{stati limite italiani})$$

$$\frac{T_{sdu}}{T_{Rd2}} + \frac{V_{sdu}}{V_{wd}} \leq 1 \quad (\text{Eurocodice 2})$$

Per il significato dei simboli adottati si rimanda alle descrizioni riportate nei capitoli precedenti, relativi alla trattazione di ciascun modello di verifica.

### 5.6.5. S.L.E. fessurazioni

Analoga è l'espressione che fornisce secondo i due modelli agli stati limite l'ampiezza delle fessure che si possono produrre sugli elementi strutturali, anche se leggermente differente è il modo di valutare la distanza fra le fessure e la deformazione media.

$$W_k = 1.7 \cdot \epsilon_m \cdot s_m \quad (\text{stati limite italiani})$$

$$W_k = 1.7 \cdot \epsilon_m \cdot s_m \quad (\text{Eurocodice 2})$$

Per il significato dei simboli adottati si rimanda alle descrizioni riportate nei capitoli precedenti, relativi alla trattazione di ciascun modello di verifica.

### 5.6.6. Armature minime e limiti geometrici

Al di là delle differenze proprie riscontrabili dal parallelo effettuato tra le formule di verifica, i due modelli qui raffrontati sono caratterizzati da differenti limiti minimi sia per quanto riguarda la geometria delle sezioni che per le quantità di armatura presente su travi e pilastri.

#### 5.6.6.1. Valori minimi di armatura per le travi

ARMATURE LONGITUDINALI

##### 1) Limitazione aree tese

Questa limitazione è contemplata soltanto sulla normativa europea. L'area minima a trazione deve essere pari a:

$$A_{smin} = \left| 0.6 \right| \cdot \frac{b_t \cdot d}{f_{yk}} \geq \left| 0.0015 \right| \cdot b_t \cdot d \quad (\text{Eurocodice 2})$$

dove  $b_t$  è la larghezza media della zona tesa.

Anche la quantità massima di armatura tesa o compressa è limitata:

$$A_s \leq \left| 0.03 \right| \cdot A_c \quad (\text{Eurocodice 2})$$

##### 2) Traslazione del diagramma dei momenti

Come riportato nei capitoli precedenti, tanto per la norma italiana che per quella europea agli stati limite, nella verifica della sezione soggetta a sollecitazioni taglianti va considerata una traslazione del diagramma del momento flettente lungo l'asse longitudinale nel verso che dà luogo ad un aumento del valore assoluto del momento stesso (figura 5.7).

L'entità di questa traslazione è differente per i due metodi analizzati:

$$0.9 \cdot d \cdot (1 - \text{ctg}\alpha) \quad (\text{stati limite italiani})$$

$$\frac{0.9 \cdot d \cdot (1 - \text{ctg}\alpha)}{2} \quad (\text{Eurocodice 2})$$

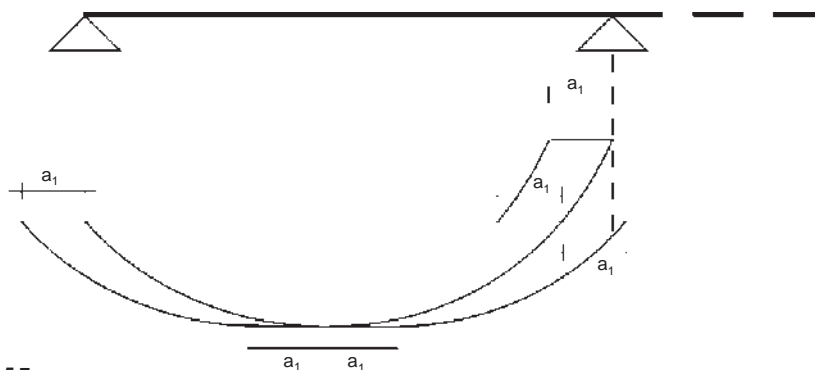


Fig. 5.7

### 3) Valore minimo agli appoggi

Almeno 1/4 dell'armatura presente in campata deve essere prolungata fino a coprire quegli appoggi per i quali il momento d'incastro finale fosse nullo o così piccolo da richiedere un'armatura inferiore. Questa limitazione, valida anche per gli appoggi intermedi, è imposta esclusivamente dagli Eurocodici.

### 4) Trazione minima

Sugli appoggi di estremità l'armatura longitudinale dovrà avere un'area tale da resistere ad una trazione pari a  $(0.5 \cdot V_{sd} + N_{sd})$ . Questa limitazione è imposta esclusivamente dagli Eurocodici.

## ARMATURE TRASVERSALI

### 5) Passo delle staffe

In base all'entità dell'azione tagliante applicata, il passo delle staffe è regolato dalle limitazioni sotto riportate:

$$\text{Passo delle staffe} \leq \begin{cases} 0.8 \cdot d & \text{oppure } 300 \text{ mm} & \text{quando } V_{sd} \leq 0.2 \cdot V_{Rd2} \\ 0.6 \cdot d & \text{oppure } 300 \text{ mm} & \text{quando } 0.2 \cdot V_{Rd2} < V_{sd} \leq 0.66 \cdot V_{Rd2} \\ 0.3 \cdot d & \text{oppure } 200 \text{ mm} & \text{quando } V_{sd} > 0.66 \cdot V_{Rd2} \end{cases}$$

Essendo  $d$  l'altezza della sezione.

Questa limitazione è imposta esclusivamente dagli Eurocodici.

### 6) Rapporto di armatura a taglio

Il rapporto di armatura a taglio  $\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w}$  deve essere maggiore del valore fornito dal prospetto sotto riportato, in funzione della classe del calcestruzzo e di quella dell'acciaio:

Classi di calcestruzzo	Classi di acciaio				
	S220	S380	S400	S440	S500
da C12/15 a C20/25	0.0016	0.0011	0.0009	0.0008	0.0007
da C25/30 a C35/45	0.0024	0.0015	0.0013	0.0012	0.0011
da C40/50 a C50/60	0.0030	0.0018	0.0016	0.0014	0.0013

Questa limitazione è imposta esclusivamente dagli Eurocodici.

#### 7) Distanza tra i bracci

La distanza fra i bracci delle staffe deve soddisfare la seguente limitazione:

$$\text{Distanza bracci} \leq \begin{cases} d & \text{oppure } 800 \text{ mm} & \text{quando } V_{sd} \leq 0.2 \cdot V_{Rd2} \\ 0.6 \cdot d & \text{oppure } 300 \text{ mm} & \text{quando } 0.2 \cdot V_{Rd2} < V_{sd} \leq 0.66 \cdot V_{Rd2} \\ 0.3 \cdot d & \text{oppure } 200 \text{ mm} & \text{quando } V_{sd} > 0.66 \cdot V_{Rd2} \end{cases}$$

Questa limitazione è imposta esclusivamente dagli Eurocodici.

#### 8) Fessurazione

Per assicurare la verifica a fessurazione, il passo delle staffe deve verificare le limitazioni riportate nel seguente prospetto:

$\frac{V_{sd} - 3 \cdot V_{cd}}{\rho_w \cdot b_w \cdot d} \left( \text{N/mm}^2 \right)$	Passo delle staffe mm
< 50	300
75	200
100	150
150	100
200	50

Questa limitazione è imposta esclusivamente dagli Eurocodici.

### 5.6.6.2. Valori minimi di armatura per i pilastri

#### MINIMI GEOMETRICI

L'Eurocodice 2 impone alcuni limiti, sotto elencati, per quanto riguarda la geometria della sezione dei pilastri in calcestruzzo. Al contrario la normativa italiana non contiene limitazioni costruttive relative alla geometria delle sezioni, seppure la Circolare Ministeriale LL.PP. n. 65 del 10/04/1997 contiene tra l'altro una serie di indicazioni costruttive di carattere geometrico, che hanno però soltanto una valenza di "consigli tecnici" al progettista, e non l'obbligatorietà della norma. Questi i limiti geometrici imposti dall'EC2:

#### 1) Rapporto base-altezza

Il rapporto tra la base  $b$  e l'altezza  $h$  della sezione di ciascun pilastro deve soddisfare la relazione:

$$\frac{b}{h} < 4.$$

2) *Dimensioni minime*

Nessun lato della sezione del pilastro deve avere una lunghezza minore di 20 cm.

ARMATURE LONGITUDINALI

3) *Limitazioni aree:*

$$\text{armatura minima } A_{smin} = \frac{0.15 \cdot N_{sd}}{f_{yd}} \geq |0.003| \cdot A_c \quad (\text{Eurocodice 2})$$

$$\text{armatura massima } A_s \leq |0.08| \cdot A_c \quad (\text{Stati limite italiani})$$

ARMATURE TRASVERSALI

4) *Distanza tra le staffe*

La distanza massima fra le staffe deve soddisfare, secondo i due modelli analizzati, le seguenti limitazioni, cioè non dovrà essere superiore ai seguenti valori:

Stati limite italiani	Eurocodice 2
15 $\varnothing_{min}$	12 $\varnothing_{min}$
25 cm	30 cm
/	lato minore della sezione

Inoltre è previsto agli estremi un raffittimento di lunghezza pari alla massima dimensione della sezione del pilastro.

Per un raffronto dei modelli di verifica a livello numerico, cioè evidenziando e giustificando le differenze nei risultati tra alcuni esempi pratici di schemi strutturali verificati utilizzando i diversi metodi, si rimanda alla parte II della presente pubblicazione (parte II § 1.2.5 – Controllo dei risultati), dove è riportato per esteso e commentato in ogni suo punto il tabulato di calcolo ottenuto.