

[...]

4.3 RINFORZO A TAGLIO

4.3.1 Generalità

- (1) Il rinforzo a taglio si rende necessario nel caso di elementi strutturali per i quali il taglio di calcolo, eventualmente valutato con i criteri della gerarchia delle resistenze, sia superiore alla corrispondente resistenza di calcolo. Quest'ultima deve essere determinata considerando i contributi del calcestruzzo e dell'eventuale armatura trasversale metallica presente.
- (2) Il rinforzo a taglio va verificato per i soli SLU.
- (3) In aggiunta ai tipi di rinforzo di seguito considerati, si possono adottare altri tipi non contemplati in queste Istruzioni, purché sia dimostrata la loro efficacia e sia quantificato il loro contributo resistente a taglio.

4.3.2 Configurazioni per il rinforzo a taglio

Il rinforzo a taglio con materiali compositi si realizza applicando in aderenza sulla superficie esterna della membratura da rinforzare (Figura 4-7) elementi mono o bidimensionali di composito (comunemente tessuti), costituiti da uno o più strati di materiale. Nel caso di applicazioni di elementi monodimensionali, le strisce di composito possono essere applicate in adiacenza le une alle altre, ovvero in maniera discontinua.

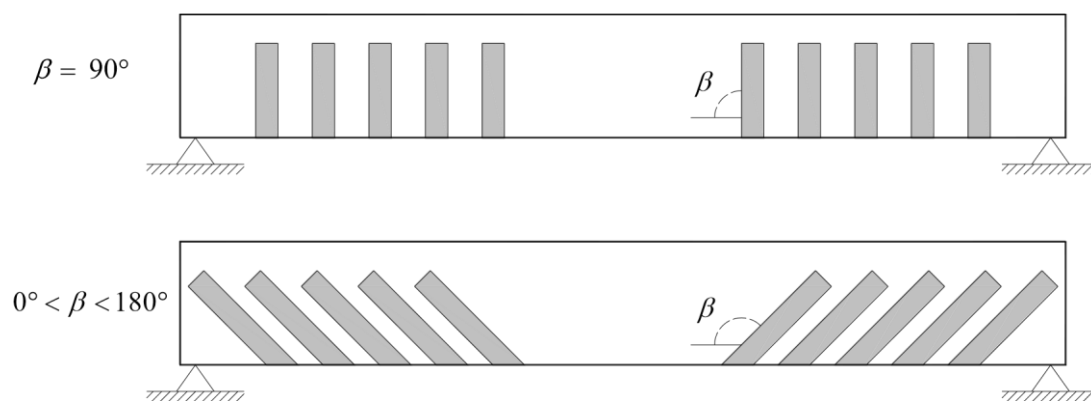


Figura 4-7 – Orientamenti del rinforzo a taglio in forma di strisce.

- (2) Elementi distintivi del sistema di rinforzo sono: la geometria (spessore, larghezza, passo) delle strisce di composito adese alla membratura rinforzata e l'angolo di inclinazione delle fibre rispetto all'asse longitudinale di quest'ultima.
- (3) La disposizione del sistema di rinforzo attorno alla sezione può avvenire nei seguenti modi:
ad U o in avvolgimento (Figura 4-8).

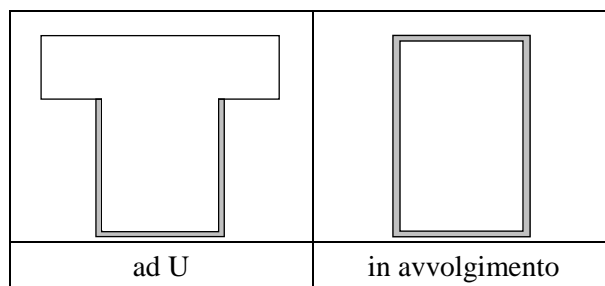


Figura 4-8 – Disposizione del rinforzo a taglio attorno alla sezione.

- (4) Nel caso di sistemi di rinforzo ad U su sezioni rettangolari o a T, è possibile migliorare le condizioni di vincolo delle estremità libere dei compositi (non avvolte completamente attorno agli angoli delle sezioni), ad esempio mediante l'applicazione di barre, lamine o strisce di FRP. In tale eventualità, se è dimostrata l'efficacia del vincolo offerto dai suddetti dispositivi, il comportamento del sistema di rinforzo ad U può considerarsi equivalente a quello del rinforzo in avvolgimento.
- (5) Il rinforzo a taglio può anche essere realizzato inserendo barre o lamine di materiale composito in apposite fessure praticate sulle facce esterne dell'elemento. Tale intervento non è oggetto delle presenti Istruzioni; qualora fosse utilizzato, la sua efficacia deve essere supportata da evidenze sperimentali.

4.3.3 Resistenza di progetto a taglio dell'elemento rinforzato con FRP

4.3.3.1 Resistenza di progetto

- (1) La resistenza di progetto a taglio dell'elemento rinforzato può essere valutata attraverso la seguente relazione:

$$V_{Rd} = \min\{V_{Rd,s} + V_{Rd,f}, V_{Rd,c}\}, \quad (4.18)$$

dove $V_{Rd,s}$ e $V_{Rd,f}$ sono, rispettivamente, la capacità a taglio-trazione dell'armatura trasversale di acciaio e quella del sistema di rinforzo FRP; $V_{Rd,c}$ è la capacità a taglio-compressione del calcestruzzo. Le capacità a taglio del calcestruzzo e dell'armatura trasversale devono essere calcolate in accordo con la Normativa vigente; la capacità a taglio-trazione del composito deve essere calcolata come indicato ai punti (2) e (4).

- (2) Nel caso di disposizione ad U o in avvolgimento su una sezione rettangolare, il contributo del sistema di rinforzo FRP, $V_{Rd,f}$, può essere valutato in base al meccanismo a traliccio di Morsch mediante la seguente formula:

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{fed} \cdot 2 \cdot t_f \cdot (\cot \theta + \cot \beta) \cdot \frac{b_f}{p_f}, \quad (4.19)$$

dove (Figura 4-9):

- d è l'altezza utile della sezione,
- f_{fed} è la resistenza efficace di calcolo del sistema di rinforzo, da valutarsi come indicato nel § 4.3.3.2,
- t_f è lo spessore del sistema di rinforzo FRP,
- b_f e p_f sono, rispettivamente, la larghezza e il passo delle strisce, misurati ortogonalmente alla direzione delle fibre (nel caso di strisce poste in adiacenza o di elementi di rinforzo bidimensionali si assume $b_f/p_f = 1.0$),
- γ_{Rd} è coefficiente parziale fornito in Tabella 3-1, § 3.4.2.

Nelle relazione (4.19) è possibile introdurre al posto di p_f la quantità $\bar{p}_f \cdot \sin\beta$, essendo \bar{p}_f il passo delle strisce misurato lungo l'asse dell'elemento (Figura 4-9).

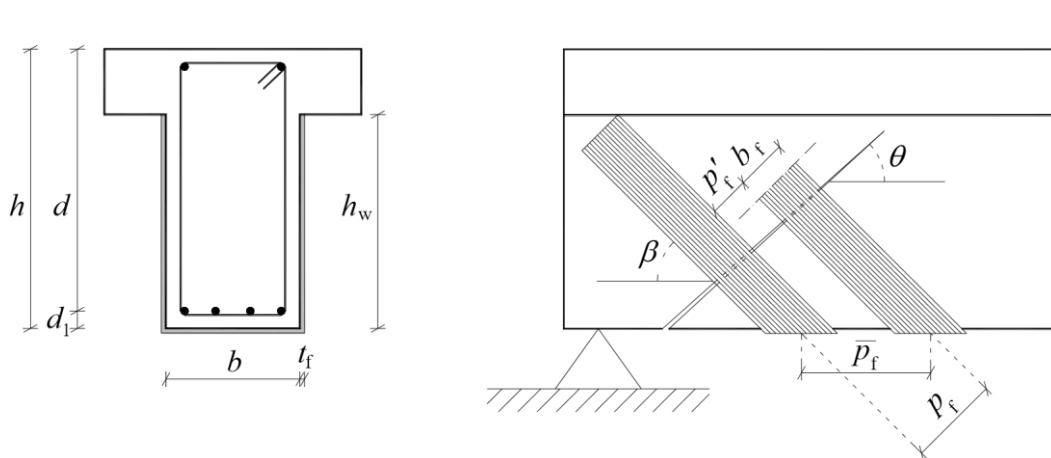


Figura 4-9 – Elementi distintivi di un rinforzo a taglio sotto forma di strisce.

(3) Nel caso di sistemi di rinforzo discontinui costituiti da strisce di materiale composito, la larghezza, b_f , ed il passo, p_f , delle strisce, misurati (in mm) ortogonalmente alla direzione delle fibre, devono rispettare le seguenti limitazioni: $50 \text{ mm} \leq b_f \leq 250 \text{ mm}$ e $b_f \leq p_f \leq \min\{0.5 \cdot d, 3 \cdot b_f, b_f + 200 \text{ mm}\}$.

Nell'eventualità in cui dovesse risultare $\min\{0.5 \cdot d, 3 \cdot b_f, b_f + 200 \text{ mm}\} < b_f$, si deve ricorrere ad un sistema di rinforzo differente (per geometria o per caratteristiche meccaniche).

(4) Nel caso di disposizione in avvolgimento continuo su elementi con sezione circolare (diametro D), qualora le fibre siano orientate ortogonalmente all'asse dell'elemento da rinforzare ($\beta = 90^\circ$), il contributo del sistema di rinforzo FRP, $V_{Rd,f}$, è fornito dalla relazione:

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot D \cdot f_{fed} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot t_f \cdot \cot \theta \quad (4.20)$$

4.3.3.2 Resistenza efficace

(1) In corrispondenza delle fessure da taglio si manifestano concentrazioni tensionali all'interfaccia calcestruzzo-FRP che possono innescare il distacco del composito dal supporto secondo il modo 1 (§ 4.1.3).

In assenza di una valutazione più rigorosa dello stato tensionale responsabile del fenomeno, è possibile avvalersi della procedura semplificata di seguito suggerita. Essa si basa sulla definizione convenzionale di "tensione efficace" del sistema di rinforzo, intesa come la tensione di trazione attesa in condizioni di incipiente distacco dal supporto.

(2) Nel caso di disposizione ad U su una sezione rettangolare, la tensione efficace di calcolo del sistema di rinforzo, f_{fed} , è fornita dalla relazione:

$$f_{fed} = f_{fdd} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{l_{ed} \cdot \sin \beta}{\min \{0.9 \cdot d, h_w\}} \right], \quad (4.21)$$

dove f_{fdd} è la tensione di progetto del sistema di rinforzo, da valutarsi mediante la (4.4) tenendo anche conto del successivo punto (4), l_{ed} è la lunghezza efficace di ancoraggio, fornita dalla (4.1), β è l'angolo di inclinazione delle fibre rispetto all'asse longitudinale dell'elemento, d è l'altezza utile della sezione e h_w è l'altezza dell'anima della trave, che deve essere interamente impegnata dal rinforzo ad U.

Particolare attenzione deve essere riposta nei casi in cui la zona compressa è localizzata inferiormente alla trave, come ad esempio accade per una mensola. In questi casi la lesione da taglio va ad allargarsi verso l'alto (Figura 4-10). In tali situazioni deve essere ben valutata l'opportunità di ricorrere ad idonei presidi per garantire un adeguato ancoraggio del rinforzo ad U, ivi compreso il ricorso a dispositivi meccanici. Negli stessi casi, per il calcolo della resistenza f_{fed} si deve sempre far ricorso alla (4.21) senza tener conto di quanto riportato al successivo punto (3).

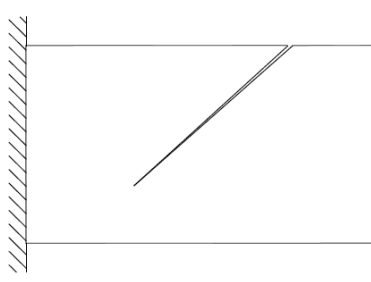


Figura 4-10 – Situazione tipo di zona compressa localizzata inferiormente alla trave.

(3) Nel caso di disposizione in avvolgimento su una sezione rettangolare, la tensione efficace di calcolo del sistema di rinforzo è fornita dalla relazione:

$$f_{fed} = f_{fdd} \cdot \left[1 - \frac{1}{6} \cdot \frac{l_e \cdot \sin \beta}{\min \{0.9 \cdot d, h_w\}} \right] + \frac{1}{2} (\phi_R \cdot f_{fd} - f_{fdd}) \cdot \left[1 - \frac{l_e \cdot \sin \beta}{\min \{0.9 \cdot d, h_w\}} \right], \quad (4.22)$$

dove f_{idd} è ancora una volta la tensione di progetto del sistema di rinforzo FRP, da valutarsi mediante la (4.4), ed inoltre:

$$\phi_R = 0.2 + 1.6 \cdot \frac{r_c}{b}, \quad 0 \leq \frac{r_c}{b} \leq 0.5, \quad (4.23)$$

essendo r_c il raggio di curvatura realizzato in corrispondenza dello spigolo della sezione rinforzata, b la larghezza dell'anima della sezione.

Nell'equazione (4.22) il contributo del secondo termine va considerato solo se positivo.

(4) Per la valutazione del fattore geometrico k_b fornito dalla (4.3), con il significato già specificato dei simboli utilizzati, si deve assumere:

- $b = p_f$ nel caso di sistemi di rinforzo discontinui sotto forma di strisce,
- $b = b_f = \min\{0.9 \cdot d, h_w\} \cdot \sin(\theta + \beta) / \sin \beta$ nel caso di sistemi di rinforzi continui o di strisce adiacenti.

(5) Se si adottano dispositivi atti a vincolare le estremità libere di rinforzi ad U e si dimostra che il loro contributo è almeno pari a quello conseguibile nel caso di disposizione in avvolgimento, la tensione efficace di calcolo può essere ottenuta a partire dalla (4.22). In caso contrario, la tensione efficace di calcolo del sistema di rinforzo è fornita dalla (4.21).

(6) Nel caso di avvolgimento continuo su elementi a sezione circolare di diametro D , con $\beta=90^\circ$ la tensione efficace di calcolo del sistema di rinforzo è fornita dalla relazione:

$$f_{fed} = E_f \cdot \varepsilon_{f,max}, \quad (4.24)$$

dove E_f è il modulo di elasticità normale del composito nella direzione delle fibre e $\varepsilon_{f,max}$ è un opportuno valore limite della deformazione nel composito da assumersi, in mancanza di una determinazione più accurata, pari a $5 \cdot 10^{-3}$.