

[...]

4.5 CONFINAMENTO

4.5.1 Generalità

- (1) Un adeguato confinamento degli elementi di c.a. può determinare un miglioramento delle prestazioni dell'elemento strutturale, consentendo di incrementare:
 - la resistenza ultima e la corrispondente deformazione ultima di elementi sollecitati da sforzo normale centrato o con piccola eccentricità;
 - la duttilità e, congiuntamente all'impiego di rinforzi longitudinali (§ 4.2.2.4 e Appendice F), la resistenza ultima di elementi pressoinflessi.
- (2) Il confinamento di elementi di c.a. può essere realizzato con tessuti o lamine di FRP disposti sul contorno in modo da costituire una fasciatura esterna continua o discontinua.
- (3) L'incremento della resistenza a compressione e della corrispondente deformazione ultima del calcestruzzo confinato con FRP dipendono dalla pressione di confinamento applicata. Quest'ultima è funzione della rigidità del sistema di rinforzo e della forma della sezione trasversale dell'elemento confinato.

Per la redistribuzione dei carichi verticali non è consentito fare affidamento sulla duttilità di elementi soggetti a sforzo normale centrato o con piccola eccentricità.

- (4) Un sistema confinante realizzato con FRP (elastico fino a rottura), a differenza di uno realizzato con acciaio (elasto-plastico), esercita una pressione laterale strettamente crescente all'aumentare della dilatazione trasversale dell'elemento confinato.
- (5) Un tipico legame " σ - ϵ " (tensione-deformazione) esibito da provini compressi, confinati con FRP, è riportato in Figura 4-11.

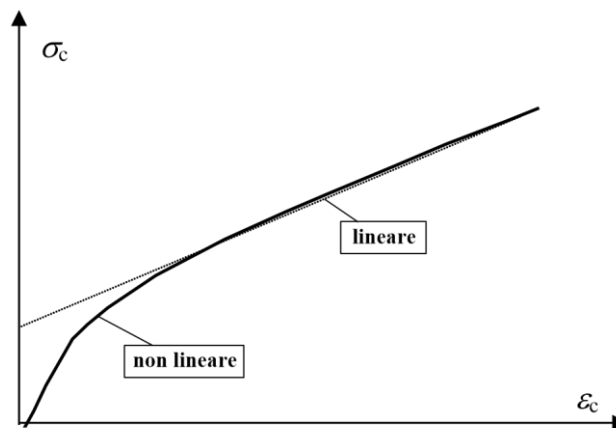


Figura 4-11 – Andamento del legame tensione-deformazione per calcestruzzo confinato con FRP.

- (6) Per valori della deformazione assiale, ϵ_c , pari allo 0.2%, la tensione nel calcestruzzo confinato è solo di poco superiore a quella esibita dal calcestruzzo non confinato, e cioè alla tensione di progetto di quest'ultimo.
- (7) Per deformazioni superiori allo 0.2% il legame " σ - ϵ " è non lineare e la pendenza della corrispondente curva diminuisce progressivamente fino ad assumere, nell'ultimo tratto, un valore pressoché costante. In quest'ultimo tratto, ad andamento lineare, il calcestruzzo confinato perde progressivamente la sua integrità per effetto di una fessurazione sempre più diffusa.
- (8) Il collasso dell'elemento confinato si raggiunge per rottura del composito. Tuttavia, a partire da un certo valore della deformazione assiale, l'elemento confinato con FRP perde di fatto la propria funzionalità

potendo assorbire solo modeste ed insignificanti sollecitazioni trasversali. In considerazione di ciò, il collasso dell'elemento confinato è convenzionalmente raggiunto quando si attinge una deformazione limite del composito pari allo 0.4%.

- (9) Gli elementi confinati vanno verificati nei riguardi dei soli SLU.

4.5.2 Resistenza di progetto a compressione centrata o con piccola eccentricità dell'elemento confinato

- (1) Per ottenere un efficace confinamento è buona norma disporre le fibre del composito in direzione perpendicolare all'asse dell'elemento.
- (2) Nel caso di disposizione ad elica, l'efficacia del confinamento va opportunamente valutata.
- (3) P In assenza di una pretensione iniziale, il sistema di rinforzo FRP esercita un confinamento passivo sulla membratura compressa. L'azione di confinamento diventa significativa nella fase di plasticizzazione, e quindi di fessurazione, dell'elemento rinforzato, a seguito della sua più vistosa dilatazione trasversale.
- (4) L'elemento confinato risulta verificato se è soddisfatta la disequaglianza:

$$N_{Sd} \leq N_{Rcc,d}, \quad (4.29)$$

essendo N_{Sd} il valore di progetto dell'azione assiale agente e $N_{Rcc,d}$ il valore di progetto della resistenza dell'elemento confinato.

- (5) In assenza di fenomeni di instabilità, la resistenza di progetto $N_{Rcc,d}$ è fornita dalla seguente relazione:

$$N_{Rcc,d} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot A_c \cdot f_{ccd} + A_s \cdot f_{yd}, \quad (4.30)$$

dove:

- γ_{Rd} è il coefficiente parziale da assumersi pari a 1.10 (Tabella 3-1, § 3.4.2),
- A_c ed f_{ccd} sono, rispettivamente, l'area della sezione trasversale dell'elemento e la tensione di progetto del calcestruzzo confinato (quest'ultima valutata come indicato al punto seguente),
- A_s ed f_{yd} sono, rispettivamente, l'area e la tensione di progetto dell'armatura metallica eventualmente presente (quest'ultima valutata come previsto nel § 3.3.3(6)).

- (6) La resistenza di progetto del calcestruzzo confinato, f_{ccd} , può essere valutata come segue:

$$\frac{f_{ccd}}{f_{cd}} = 1 + 2.6 \cdot \left(\frac{f_{l,eff}}{f_{cd}} \right)^{2/3}, \quad (4.31)$$

essendo:

- f_{cd} la tensione di progetto del calcestruzzo non confinato, da valutarsi come prescritto nel § 3.3.3(6),
- $f_{l,eff}$ la pressione efficace di confinamento, definita nel successivo paragrafo.

La relazione (4.31) può essere utilizzata anche ai fini del conseguimento del secondo obiettivo di cui al § 4.5.1(1)P.

- (7) Il confinamento risulta efficace se $f_{l,eff} / f_{cd} > 0.05$.

4.5.2.1 Stima della pressione laterale di confinamento

- (1) P Della pressione di confinamento, f_i , esercitata dal sistema di rinforzo, solo un'aliquota, $f_{i,eff}$, detta "pressione efficace di confinamento", contribuisce alla resistenza dell'elemento confinato.
- (2) La pressione efficace di confinamento, $f_{i,eff}$, funzione della forma della sezione e delle modalità di realizzazione dell'intervento, è fornita dalla relazione:

$$f_{i,eff} = k_{eff} \cdot f_i, \quad (4.32)$$

dove k_{eff} è un coefficiente di efficienza (≤ 1), definito come rapporto fra il volume $V_{c,eff}$ di calcestruzzo efficacemente confinato ed il volume V_c dell'elemento di calcestruzzo, depurato da quello delle armature longitudinali (generalmente trascurabile).

- (3) La pressione di confinamento può essere valutata mediante la relazione:

$$f_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho_f \cdot E_f \cdot \varepsilon_{fd,rid}, \quad (4.33)$$

dove ρ_f è la percentuale geometrica di rinforzo, dipendente, come descritto nei paragrafi seguenti, dalla forma della sezione e dal tipo di applicazione (confinamento continuo o discontinuo), E_f è il modulo di elasticità normale del materiale in direzione delle fibre, $\varepsilon_{fd,rid}$ è un'opportuna deformazione ridotta di calcolo del composito fibrorinforzato, definita nel prosieguo.

- (4) Il coefficiente di efficienza, k_{eff} , può essere espresso come prodotto di tre fattori: un coefficiente di efficienza orizzontale, k_H , uno di efficienza verticale, k_V , ed un altro legato all'inclinazione delle fibre, k_α :

$$k_{eff} = k_H \cdot k_V \cdot k_\alpha. \quad (4.34)$$

- (5) Il coefficiente di efficienza orizzontale, k_H , dipende dalla forma della sezione. I competenti valori per sezioni circolari o rettangolari sono forniti nei punti seguenti.
- (6) Il coefficiente di efficienza verticale, k_V , dipende dallo sviluppo del confinamento lungo l'asse longitudinale dell'elemento rinforzato. In caso di fasciatura continua si assume $k_V = 1$.

In caso di fasciatura discontinua (Figura 4-12), realizzata cioè con strisce di FRP disposte ad interasse p_f e distanza netta p'_f , si deve tenere conto della riduzione di efficacia dovuta al fenomeno di diffusione delle tensioni tra due fasciature consecutive. Per effetto di tale diffusione si creano delle zone che non risentono del confinamento, aventi approssimativamente in sezione verticale un contorno parabolico con tangente iniziale inclinata di 45° .

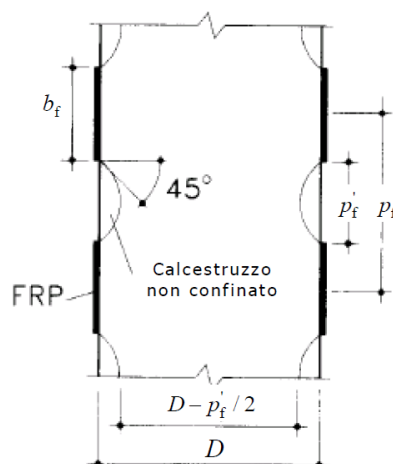


Figura 4-12 – Confinamento discontinuo su una sezione circolare confinata di diametro D : sezione verticale diametrale.

Indipendentemente dalla forma della sezione, il coefficiente di efficienza verticale, k_v , può essere assunto pari a:

$$k_v = \left(1 - \frac{p'_f}{2 \cdot d_{\min}}\right)^2, \quad (4.35)$$

avendo indicato con d_{\min} la minima dimensione trasversale dell'elemento.

- (7) Nel caso di fasciatura discontinua è opportuno che la distanza netta fra le strisce rispetti la limitazione $p'_f \leq d_{\min}/2$.
- (8) Indipendentemente dalla forma della sezione, il coefficiente di efficienza k_α può esprimersi in funzione dell'angolo di inclinazione delle fibre, α_f , come:

$$k_\alpha = \frac{1}{1 + (\tan \alpha_f)^2}. \quad (4.36)$$

- (9) La deformazione ridotta di calcolo del composito fibrorinforzato, $\varepsilon_{fd,rid}$, è definita dalla relazione:

$$\varepsilon_{fd,rid} = \min\{\eta_a \cdot \varepsilon_{fk} / \gamma_f; 0.004\}, \quad (4.37)$$

dove η_a e γ_f sono, rispettivamente, il fattore di conversione ambientale ed il coefficiente parziale del materiale composito fibrorinforzato, i cui valori sono esposti, nell'ordine, nella Tabella 3-2 e nel § 3.4.1 delle presenti Istruzioni; 0.004 è la deformazione limite convenzionale del composito, di cui al punto (9) del § 4.5.1.

4.5.2.1.1 Sezioni circolari

- (1) L'intervento di confinamento con FRP risulta particolarmente efficace se adottato su elementi a sezione circolare soggetti a compressione centrata o con piccola eccentricità.
- (2) In presenza di fibre disposte in direzione trasversale all'asse longitudinale dell'elemento, il sistema di rinforzo induce sulla superficie di contatto una pressione laterale pressoché uniforme, che si oppone all'espansione radiale dell'elemento compresso.
- (3) Il valore della percentuale geometrica di rinforzo, ρ_f , da utilizzare nella (4.33) è fornito dalla relazione:

$$\rho_f = \frac{4 \cdot t_f \cdot b_f}{D \cdot p_f}, \quad (4.38)$$

dove (Figura 4-12) t_f e b_f sono, rispettivamente, lo spessore e l'altezza della generica striscia di FRP, p_f è il passo delle strisce e D è il diametro della sezione circolare.

Nel caso di confinamento continuo l'espressione della percentuale ρ_f si specializza in $4^*t_f/D$.

- (4) Il coefficiente di efficienza orizzontale, k_h , è pari ad 1.0.
- (5) La dimensione d_{\min} , introdotta nella (4.35) per il calcolo del coefficiente di efficienza verticale, va intesa come il diametro della sezione.

4.5.2.1.2 Sezioni quadrate e rettangolari

- (1) P Il confinamento con FRP di elementi a sezione quadrata o rettangolare produce incrementi solo marginali della resistenza a compressione. Ne consegue che applicazioni di questo genere devono essere attentamente vagliate ed analizzate.
- (2) Il valore della percentuale geometrica di rinforzo, ρ_f , da utilizzare nella (4.33) è fornito dalla relazione:

$$\rho_f = \frac{2 \cdot t_f \cdot (b+h) \cdot b_f}{b \cdot h \cdot p_f},$$

dove t_f e b_f sono, rispettivamente, lo spessore e l'altezza della generica striscia di FRP, p_f è il passo delle strisce, mentre b e h sono le dimensioni trasversali della sezione rettangolare.

Nel caso di confinamento continuo l'espressione di ρ_f fornita dalla (4.39) si specializza in $2 \cdot t_f \cdot (b+h) / (b \cdot h)$.

- (3) Con riferimento alla Figura 4-13 si può ritenere, con buona approssimazione, che l'area di calcestruzzo effettivamente confinata sia solo un'aliquota di quella complessiva. La motivazione di tale comportamento è da attribuirsi all'"effetto arco" che si manifesta all'interno della sezione; tale effetto dipende dal valore del raggio di arrotondamento degli spigoli, r_c (§ 4.8.2.2).

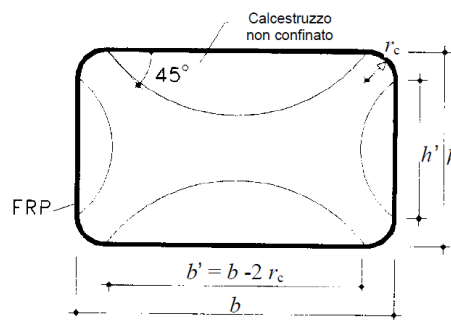


Figura 4-13 – Confinamento di sezioni rettangolari.

- (4) Il coefficiente di efficienza orizzontale, k_H , è fornito dalla relazione:

$$k_H = 1 - \frac{b'^2 + h'^2}{3 \cdot A_g}, \quad (4.40)$$

in cui b' e h' sono le dimensioni indicate in Figura 4-13 ed A_g è l'area della sezione trasversale dell'elemento confinato.

- (5) In assenza di adeguate prove sperimentali, che ne comprovino al contrario l'efficacia, non va considerato l'effetto del confinamento su sezioni rettangolari per le quali $b/h > 2$, ovvero $\max\{b, h\} > 900\text{mm}$.

4.5.3 Duttilità di elementi pressoinflessi confinati con FRP

- (1) P Il confinamento con FRP può essere previsto anche su elementi di calcestruzzo soggetti a pressoflessione (sforzo normale con grande eccentricità). In tal modo è possibile incrementare la loro duttilità e, solo in misura ridotta, la loro resistenza.

(2) In mancanza di determinazioni più accurate, la curvatura ultima di una sezione pressoinflessa può essere valutata ipotizzando, per il calcestruzzo confinato, un classico legame costitutivo del tipo parabola-rettangolo ed amplificando il valore della deformazione ultima, ε_{ccu} , come di seguito indicato:

$$\varepsilon_{ccu} = 0.0035 + 0.015 \cdot \sqrt{\frac{f_{l,eff}}{f_{cd}}}, \quad (4.41)$$

dove f_{cd} è la tensione di progetto del calcestruzzo non confinato ed $f_{l,eff}$ è la pressione efficace di confinamento. Quest'ultima può essere stimata attribuendo alla deformazione ridotta di calcolo del composito fibrorinforzato il valore:

$$\varepsilon_{fd,rid} = \eta_a \cdot \frac{\varepsilon_{fk}}{\gamma_f} \leq 0.6 \cdot \varepsilon_{fk}. \quad (4.42)$$

(3) Determinazioni più accurate della curvatura ultima e del conseguente incremento di resistenza flessionale possono essere conseguite con l'ausilio di appropriati legami costitutivi del calcestruzzo confinato con FRP (Appendice F) in grado di modellare più fedelmente il comportamento descritto nel § 4.5.1 ed in particolare nella Figura 4-11.