

Ambiti di competenza GRAVIS Articolo

Perché GRAVIS non propone gli ancoraggi a doppia testa inclinati

Dr. Stefan Lips

L'armatura di punzonamento inclinata esiste dagli anni Sessanta. All'epoca, come armatura di punzonamento si usavano barre d'armatura piegate. In seguito, sono stati sviluppati anche gli ancoraggi a doppia testa inclinati. Questi hanno il vantaggio di raggiungere una resistenza ultima più elevata rispetto agli ancoraggi a doppia testa posati verticalmente in prove di punzonamento direttamente comparabili. Il modello portante spiega perché questo avviene ma emergono anche gli svantaggi di questo sistema.

Contrariamente agli ancoraggi a doppia testa posati verticalmente, il trasferimento del carico dagli ancoraggi più vicini alla colonna avviene direttamente sopra la colonna, poiché la testa dell'ancoraggio sul lato della trazione per flessione si trova, almeno in teoria, sopra la superficie portante. Un altro aspetto riguarda la rigidità della soletta in cemento armato. Un confronto tra elementi di soletta isolati quasi identici, ricavati dalla letteratura [1], mostra che la resistenza ultima è maggiore nel sistema inclinato. Tuttavia, la rotazione alla rottura è comunque inferiore a quella della soletta con ancoraggi a doppia testa installati verticalmente. Ciò dimostra chiaramente che le solette con ancoraggi inclinati hanno un comportamento carico-deformazione più rigido rispetto alle solette con ancoraggi a doppia testa installati verticalmente.

La figura 1 rappresenta graficamente i valori pubblicati in [1]. Si può notare che la resistenza ultima della soletta con ancoraggio inclinato PA31 è superiore di circa l'11% a quella della soletta con ancoraggio verticale PL7. Tuttavia, la rotazione alla rottura misurata per PA31 è inferiore del 24% rispetto a quella di PL7.

Questo effetto non è particolarmente sorprendente e può essere spiegato utilizzando le ipotesi di modellizzazione del lavoro di Lips [2]. Nel caso di uno stato di forza tridimensionale per appoggi puntuali, come le colonne, una parte dell'armatura a flessione è necessaria per formare le bielle di compressione del calcestruzzo nel caso di ancoraggi a doppia testa installati verticalmente. Questo è simile, anche se non paragonabile dal punto di vista della modellizzazione, allo sfalsamento del momento per le travi in cemento armato. Ciò significa che la parte dell'armatura a flessione necessaria alla formazione dell'equilibrio orizzontale non è disponibile per la resistenza alla flessione o per la rigidità in flessione della soletta. Ciò significa che, trascurando questo effetto, la resistenza alla flessione plastica di queste solette è sovrastimata. Ciò è spiegato anche in [2]. Poiché la formazione della biella di compressione del calcestruzzo è differente per gli ancoraggi inclinati a doppia testa, a seconda dell'inclinazione, nella zona critica al bordo della colonna non è necessaria alcuna armatura o solo una parte insignificante dell'armatura di flessione per la sua formazione.

La figura 2 mostra la ripartizione delle forze sul bordo della colonna per a) ancoraggi verticali e b) ancoraggi inclinati. Nel caso a), la formazione della biella di compressione del calcestruzzo nella zona critica comporta forze di trazione aggiuntive che devono essere assorbite dall'armatura a flessione. Nel caso di un ancoraggio dietro il bordo della colonna, non è necessario assorbire forze di trazione aggiuntive nella zona critica situata davanti al bordo della colonna (Figura 2b).

Questo conduce a un comportamento più rigido alla deformazione della soletta. Tuttavia, questo risultato potrebbe essere ottenuto anche aggiungendo semplicemente un'armatura a flessione nella zona in prossimità della colonna. La figura 3 mostra il comportamento ricalcolato nel modello Lips e i risultati delle prove PL7 e PA31. Il comportamento calcolato nella figura 3a) si basa sulle prove PL7 (ancoraggio verticale) con in riferimento a [2] - e senza considerare l'influenza della forza di taglio secondo [3] - sul comportamento a flessione. Per la figura 3b), è stato utilizzato lo stesso

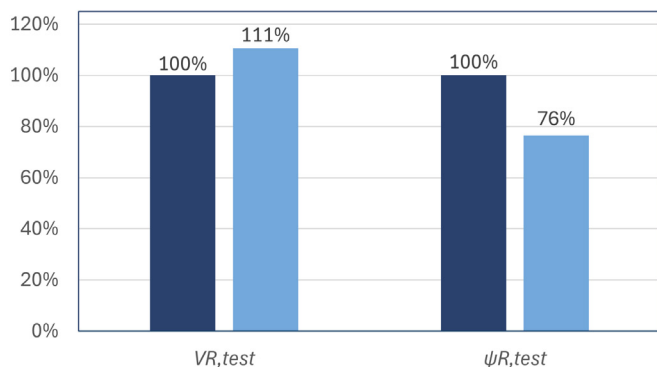
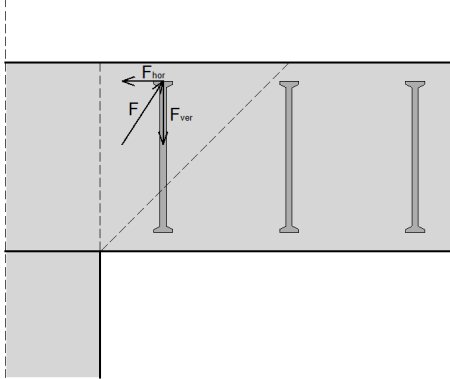


Figura 1: Confronto tra le resistenze ultime e le rotazioni alla rottura misurate durante le prove secondo i risultati di [1].

modello con le caratteristiche del materiale e la geometria della soletta PA31, sempre con e senza considerare l'influenza della forza di taglio. È evidente che nel caso degli ancoraggi inclinati (PA31), il risultato della prova è leggermente inferiore alla curva calcolata senza considerare la forza di taglio. Ciò conferma l'ipotesi che, nel caso degli ancoraggi inclinati, nella zona critica al bordo della colonna non è necessaria alcuna armatura di compressione, o solo una minima parte, per formare la biella di compressione del calcestruzzo.

a)



b)

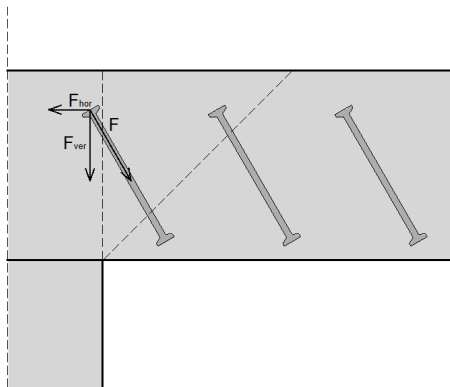


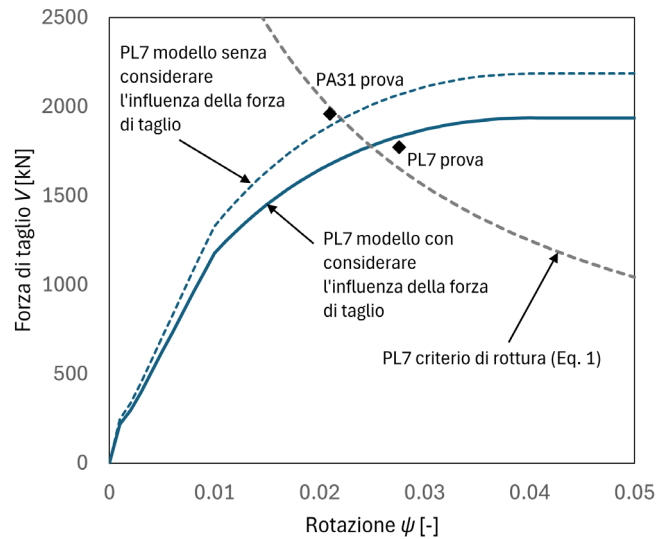
Immagine 2: Influenza dell'inclinazione degli ancoraggi a doppia testa sulla formazione della biella di compressione del calcestruzzo sul bordo della colonna.

Inoltre, il criterio di rottura secondo la norma [4] è rappresentato nelle immagini con un valore λ di 4,0 (equazione 1) - corrispondente a un valore k_{sys} per il dimensionamento secondo la norma SIA 262:2025 [5] di circa 3,0 (equazione 2) -.

$$V_R = \lambda \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{b_{0,col} \cdot d \cdot \sqrt{f_c}}{1 + 15 \cdot \frac{\psi \cdot d}{d_{g0} + d_g}} \quad (1)$$

$$V_{Rd} = k_{sys} \cdot \frac{u_0 \cdot d_v \cdot \tau_{cd}}{0.45 + 0.18 \cdot \psi \cdot d \cdot k_g} \quad (2)$$

a)



b)

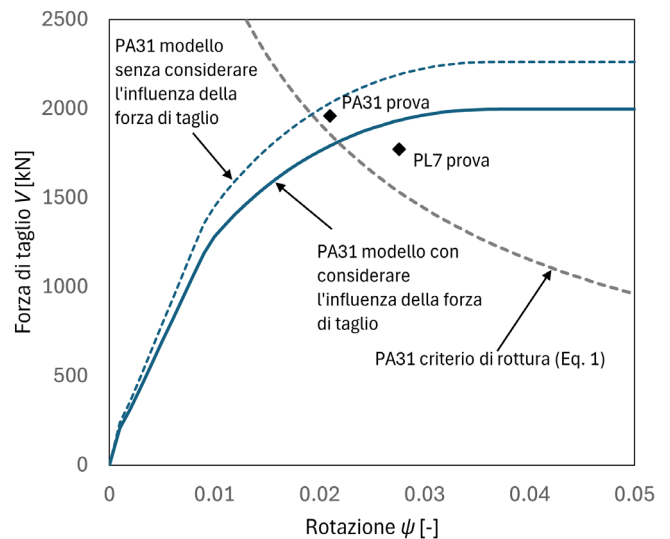


Immagine 3: ricalcolo dei test a) PL7 e b) PA31

Anche in questo caso, c'è una buona concordanza tra i risultati delle prove e le ipotesi del modello, ma va notato che per il PA31 si è verificato un cedimento al di fuori della zona di punzonamento rinforzata. La resistenza della biella di compressione in calcestruzzo avrebbe potuto essere leggermente superiore. Tuttavia, è emerso che l'aumento di resistenza è dovuto principalmente al comportamento più rigido carico - deformazione e non a un aumento del coefficiente di sistema k_{sys} . Pertanto, un valore k_{sys} più elevato è più semplice da calcolare - e anche migliore dal punto di vista pubblicitario - ma è solo parzialmente corretto dal punto di vista teorico.

La sfida degli ancoraggi a doppia testa inclinati risiede ora nel fatto che il comportamento descritto sopra funziona solo se la testa dell'ancoraggio sul lato della trazione per flessione si trova sopra la colonna. C'è quindi il rischio di non raggiungere la resistenza ultima desiderata se gli ancoraggi sono troppo distanti tra

loro. Ma c'è anche il rischio che, per precauzione, gli ancoraggi vengano posizionati più vicini alle colonne. Tuttavia, se gli ancoraggi a doppia testa sono posizionati troppo vicini alle colonne, intersecano la fessura di taglio critica troppo in prossimità del punto di fessura e non si attivano come desiderato. Di conseguenza, non c'è praticamente alcuna tolleranza nella disposizione ed è molto difficile ottenere un uso corretto in cantiere. Se, come descritto sopra, le singole barre di armatura a flessione fossero semplicemente montate vicino alla colonna (larghezza di distribuzione: larghezza della colonna + 2 x altezza statica, lunghezza: altezza statica + lunghezza di ancoraggio dal bordo della colonna), si potrebbe ottenere lo stesso comportamento secondo la teoria descritta sopra. Tuttavia, con una tolleranza di messa in opera molto maggiore. Malgrado ciò, in entrambi i casi, con ancoraggi inclinati a doppia testa o armatura di flessione aggiuntiva, la capacità di deformazione è ridotta, il che può avere conseguenze sulla robustezza della struttura portante.

Per questi motivi, GRAVIS ha deciso di non proporre sistemi con ancoraggi a doppia testa inclinati.

Letteratura

- [1] Einpaul, J., Brantschen, F., Fernández Ruiz, M., Muttoni, A., Performance of Punching Shear Reinforcement under Gravity Loading: Influence of Tipo of Detailing, ACI Structural Journal, V. 113, No. 4, 2016, pp. 827-838
- [2] Lips, S., Punching of Flat Slabs with Large Amounts of Shear Reinforcement, tesi di dottorato n. 5409, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2012, 269 pp.
- [3] Muttoni, A., Punching Shear Strength of Reinforced Concrete Slabs without Transverse Reinforcement, ACI Structural Journal, V. 105, No. 4, 2008, pp. 440-450
- [4] Fernández Ruiz, M., Muttoni, A., Applications of Critical Shear Crack Theory to Punching of Reinforced Concrete Slabs with Transverse Reinforcement, ACI Structural Journal, V. 106, No. 4, 2009, pp. 485-494
- [5] SIA 262:2025, Costruzioni in calcestruzzo, Azienda svizzera degli ingegneri e degli architetti, 2025, 116 pp.



GRAVIS AG
Birchstrasse 17, 3186 Düringen



+41 26 492 30 10



info@gravis.ch



www.gravis.ch

