

RESISTENZE SUPERIORI CON MINORE ARMATURA

Eliminare l'armatura integrativa significa risparmiare tempo e denaro in tutte le fasi del processo costruttivo dalla progettazione all'esecuzione.

Autori: Jan Bujnak
R&D Manager, Peikko Group Corporation
Jakub Mekar
R&D Engineer, Peikko Group Corporation
Pekka Pavola
Product Manager, Peikko Group Corporation

Tradotto da: Elena Camnasio
R&D Engineer, Peikko Group Corporation

Nel corso degli ultimi quattro anni, Peikko ha investito considerevoli risorse per la ricerca finalizzata alla verifica delle prestazioni strutturali delle Piastre di Ancoraggio WELDA® con armatura integrativa. Il programma di indagine ha previsto una ricerca iniziale che ha identificato gli schemi di comportamento base delle WELDA® ancorate al calcestruzzo armato e una ricerca applicata che ha permesso di formulare nuove raccomandazioni progettuali per le WELDA® sottoposte a trazione o a taglio singolarmente come anche al carico combinato di trazione e taglio.

La ricerca ha esaminato il metodo attuale di calcolo degli effetti dell'armatura integrativa utilizzata per aumentare la resistenza delle piastre di ancoraggio. Si è dimostrato che gli standard in uso sono molto conservativi.

Innanzitutto, i risultati dei test dimostrano che quando la piastra è posizionata in prossimità del bordo dell'elemento di calcestruzzo, la fessura a taglio parte dall'ultima fila di tiranti. Gli standard attuali assumono invece che questa si sviluppi dalla prima fila di connettori più vicina al bordo di calcestruzzo. L'implicazione pratica di ciò è l'aumento della resistenza a taglio dovuta a una maggiore resistenza del cono di calcestruzzo.

L'assunto attuale è che in caso di interazione fra forze di taglio e trazione, è la resistenza o del calcestruzzo o dell'acciaio, qualsiasi sia la più bassa, a determinarne il limite. Ciò è molto conservativo. Il nuovo approccio analitico dimostra che il carico può essere ripartito fra acciaio e calcestruzzo anche a carico critico. Come risultato di questa interazione, il fattore di interazione di 0.66 come definito da CEN/TS 1992-4-2 [1] può essere aumentato fino a 1.2 per le Piastre di Ancoraggio WELDA®.

La ricerca porta dei benefici al mondo delle costruzioni. Grazie al lavoro svolto in campo sperimentale, le nuove raccomandazioni progettuali consentono di aumentare significativamente le resistenze delle Piastre di Ancoraggio WELDA® rispetto a quelle che vengono verificate in accordo con gli attuali standard europei. Sia la quantità sia il diametro dell'armatura integrativa possono essere ridotti mentre le resistenze aumentano rispetto agli standard attuali.

In pratica, ciò riduce significativamente il tempo utilizzato per progettare l'armatura integrativa. Anche l'installazione dell'armatura integrativa è più veloce. In particolare, nelle strutture fortemente armate con grandi Piastre di Ancoraggio WELDA® o WELDA® Strong, lo spazio per inserire l'armatura integrativa è limitato. Avendo la possibilità di utilizzare meno staffe e barre con un diametro inferiore, l'efficienza viene aumentata significativamente.

Il nuovo approccio progettuale delle Piastre di Ancoraggio WELDA® le rende facili, sicure e veloci da progettare e installare. Pertanto, è possibile proseguire con altre attività in anticipo.

Il primo benessere che ha validato tali resistenze su base sperimentale è stato rilasciato dall'Associazione Finlandese del Calcestruzzo [2] nel 2018.

IL CONTESTO

La resistenza a taglio e trazione delle Piastre di Ancoraggio WELDA® è spesso limitata dalla capacità di ancoraggio del calcestruzzo. Il modo più semplice per aumentare le resistenze delle WELDA® in caso di insufficiente capacità del calcestruzzo è aumentare la lunghezza dei connettori o posizionare la piastra lontano dal bordo dell'elemento in calcestruzzo. Tuttavia, ciò non è sempre possibile per diverse ragioni pratiche. In alternativa, la capacità di ancoraggio del calcestruzzo può essere aumentata inserendo dell'armatura integrativa. Tuttavia, la progettazione, la verifica e la messa in opera dell'armatura integrativa è un processo che richiede molto tempo.

La progettazione delle Piastre di Ancoraggio WELDA® viene generalmente svolta con il software Peikko Designer®. Il software si riferisce alle resistenze approvate nella Valutazione Tecnica Europea ETA 16/0430 [3] in accordo con le più recenti normative europee. Tali normative limitano tipicamente le prestazioni delle WELDA® con la capacità portante del calcestruzzo circostante la piastra. Sotto tali ipotesi, il contributo dell'armatura dell'elemento in calcestruzzo alla capacità di ancoraggio delle WELDA® è significativamente sottostimato, se non trascurato.

IL METODO DI PROGETTAZIONE ATTUALE

La Valutazione Tecnica Europea ETA 16/0430 [3] fornisce informazioni riguardo alle caratteristiche essenziali delle Piastre di Ancoraggio WELDA®. Nell'ETA 16/0430 [3], la prestazione strutturale delle WELDA® viene valutata utilizzando i metodi della specifica tecnica CEN/TS 1992-4-2 [1]. La resistenza del calcestruzzo è in genere limitata dall'innesco della fessurazione del calcestruzzo fra le teste dei connettori e il lato libero dell'elemento in calcestruzzo (Figura 1) e viene calcolata come segue:

$$N_{Rd} = k_{cr} \sqrt{f_{ck}} l^{1.5} \quad (1)$$

dove

- $\sqrt{f_{ck}}$ rappresenta la resistenza a trazione del calcestruzzo
- k_{cr} dipende dallo stato del calcestruzzo (fessurato o non fessurato)
- l è la distanza fra i connettori caricati e il bordo dell'elemento in calcestruzzo

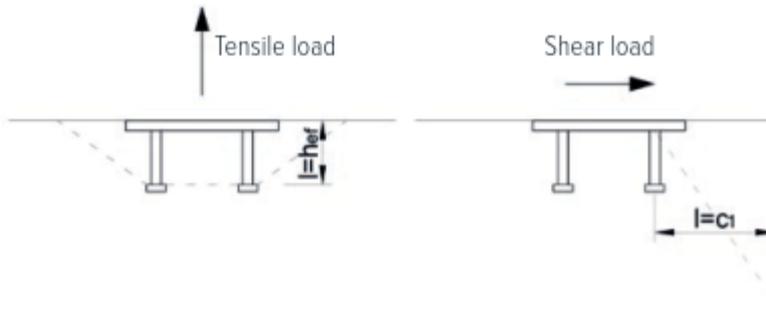


Figura 1. Esempi di rotture del calcestruzzo per a) trazione e b) taglio.

È pratica comune utilizzare l'armatura integrativa per aumentare la capacità del calcestruzzo nelle zone di ancoraggio. L'armatura integrativa viene tipicamente inserita come staffe le quali hanno lo scopo di cucire il potenziale distacco troncoconico alla restante parte del calcestruzzo (Figura 2). Le staffe sono continue all'interno del cono di calcestruzzo e ancorate al di fuori dello stesso. La resistenza del connettore con testa a martello insieme all'armatura integrativa viene determinata secondo CEN/TS 1992-4-2 [1] come:

$$N_{Rk,a} = \sum \frac{l_1 \pi d_s f_{bd}}{\alpha} \quad (2)$$

dove

- l_1 è la lunghezza di ancoraggio dell'armatura integrativa
- d_s è il diametro della barra di armatura
- f_{bd} è la tensione di aderenza di progetto del calcestruzzo
- α è il fattore di influenza

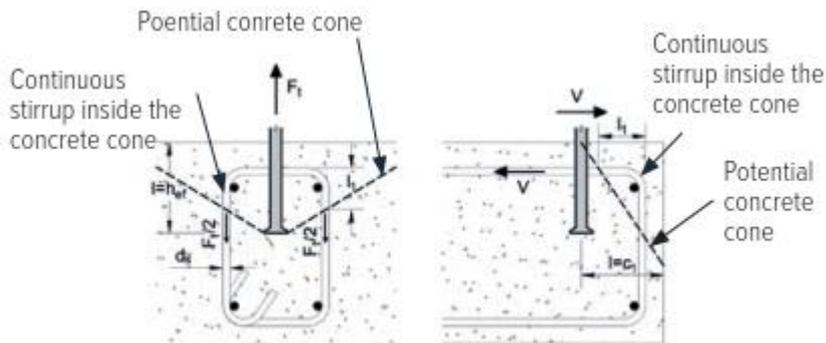


Figura 2. Barra con testa a martello abbinata ad armatura integrativa.

L'esperienza pratica dimostra che l'Eq. (2) fornisce solo un incremento davvero limitato alla resistenza delle WELDA®. Allo stesso tempo, recenti ricerche hanno dimostrato che l'Eq. (2) tende a sottostimare in maniera considerevole la prestazione strutturale delle Piastre di Ancoraggio WELDA® abbinata all'armatura integrativa (vedi riferimenti [4], [5], [6] e [7]).

LA RICERCA SPERIMENTALE

Dal 2015 al 2018 è stato condotto un ampio progetto di ricerca in collaborazione fra Peikko Group e l'istituto di ricerca IWB di Stoccarda in Germania. La motivazione alla base della ricerca era sviluppare una conoscenza dettagliata del comportamento delle Piastre di Ancoraggio WELDA® in unione con

l'armatura integrativa e di conseguenza sviluppare prescrizioni affidabili per una progettazione economicamente efficiente di tali piastre. Il progetto ha previsto circa 100 test di laboratorio sulle WELDA® inserite nel calcestruzzo sotto carichi di trazione, taglio e combinati. Per ciascun tipo di carico, si sono testati provini con bassa, media ed elevata quantità di armatura integrativa. Tali provini hanno contemplato tutte le possibili rotture che si potrebbero verificare nella realtà. Misure dettagliate del comportamento carico-deformazione dei provini hanno permesso di sviluppare, analizzare e validare un nuovo approccio analitico per la progettazione delle Piastre di Ancoraggio WELDA® in unione con l'armatura integrativa.

IL NUOVO APPROCCIO ANALITICO

Il nuovo approccio analitico è stato sviluppato con la consulenza dello studio IEA (Ingenieurbüro Eligehausen und Asmus) a Stoccarda (vedi riferimenti [6] e [7] per maggiori dettagli). In tale approccio analitico, la resistenza dell'ancoraggio viene formulata come:

$$N_{Rm} = 0.5N_{Rm,c} + N_{Rm,re} \leq \Psi N_{Rm,c} \quad (3)$$

dove

$N_{Rm,c}$ è la resistenza del calcestruzzo

$N_{Rm,re}$ è la resistenza dell'armatura integrativa (limitata dalla capacità o dell'acciaio o dell'ancoraggio delle barre di armatura)

Ψ è un fattore empirico

Al contrario degli attuali principi di progettazione che assumono che la resistenza dell'ancoraggio sia pari alla più bassa resistenza del calcestruzzo (Eq. 1) o dell'acciaio (Eq. 2), il nuovo approccio analitico assume che queste due resistenze possano essere combinate. Ciò viene giustificato dalle misure sperimentali che dimostrano chiaramente come il carico possa essere suddiviso fra l'acciaio e il calcestruzzo anche in corrispondenza del carico di rottura (Figura 3). Si definisce una resistenza limite superiore come multiplo della resistenza del calcestruzzo, dove il fattore Ψ è stato calibrato nei test con un grande quantitativo di armatura.

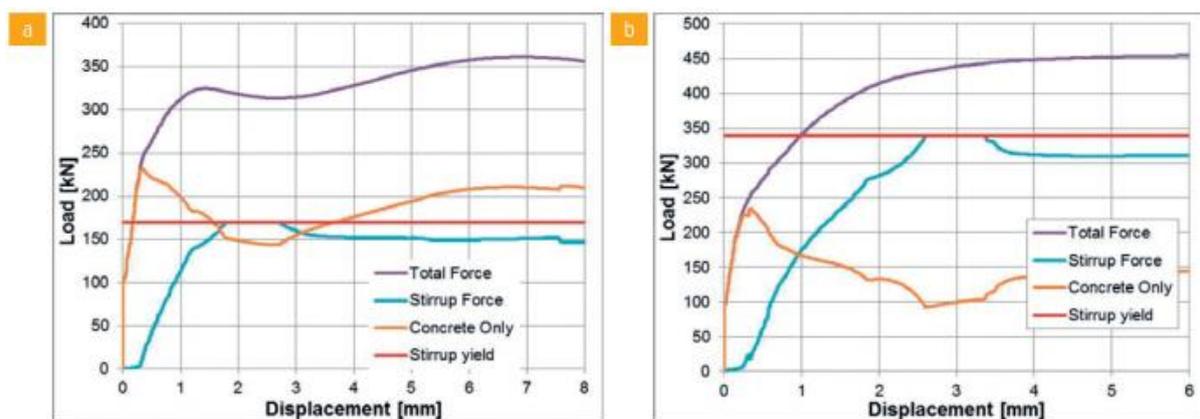


Figura 3. Misure del contributo del calcestruzzo e dell'acciaio alla capacità resistente totale dell'ancoraggio delle piastre WELDA® con a) basso e b) alto quantitativo di armatura integrativa.

Il modello nell'Eq. 3 è anche applicabile per la resistenza a taglio di una piastra posizionata vicino al bordo dell'elemento di calcestruzzo. Tuttavia, mentre l'ETA 16/0430 [3] assume che la fessurazione

per taglio si sviluppi dalla prima fila di pioli più vicini al bordo di calcestruzzo, i test hanno permesso di validare che in presenza di armatura integrativa, la fessura parte dall'ultima fila di pioli.

Un altro miglioramento derivante dalla ricerca è la verifica della resistenza della piastra sotto carico combinato di trazione e taglio. La verifica viene condotta analogamente a CEN/TS 1992-4-2 [1] come:

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right)^{\alpha} + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}}\right)^{\alpha} \leq 1 \quad (4)$$

Tuttavia, mentre il fattore di interazione definito da CEN/TS 1992-4-2 [1] è $\alpha = 0.66$, la presente ricerca permette di giustificare il fattore α con un valore fino a 1.2 per le Piastre di Ancoraggio WELDA® abbinata all'armatura integrativa.

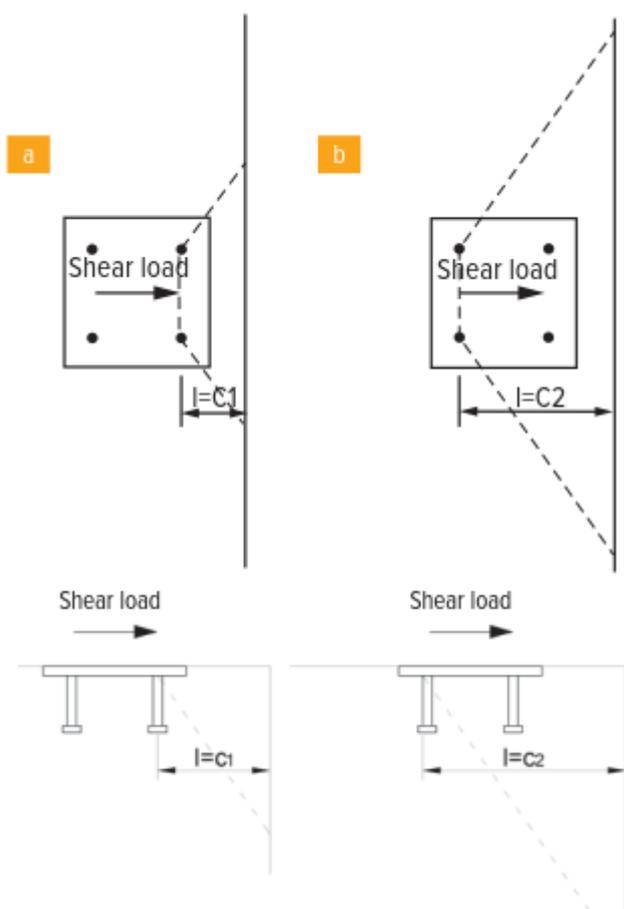


Figura 4. Fessurazione per taglio secondo a) CEN/TS 1992-4-2 e b) sperimentazione.

IL NUOVO METODO DI PROGETTAZIONE APPROVATO DALLE AUTORITA'

L'estesa campagna sperimentale ha permesso di creare un database statistico dei risultati sperimentali sufficiente per sviluppare prescrizioni di progetto affidabili per le Piastre di Ancoraggio WELDA®. Tali prescrizioni di progetto sono state utilizzate per validare le resistenze a trazione, flessione e taglio dei modelli standard delle WELDA®.

I modelli standard delle WELDA® sono ora approvati del benessere BY:13 M2 [2] rilasciato dall'associazione finlandese del calcestruzzo. Il benessere permette anche di utilizzare il fattore $\alpha = 1.2$ per la verifica delle Piastre di Ancoraggio WELDA® sottoposte a carico combinato secondo l'Eq. 4.

La Figura 5 e la Figura 6 mostrano un confronto fra le resistenze di una piastra WELDA® senza armatura integrativa, con armatura integrativa secondo CEN/TS 1992-4-2 [1] e con armatura integrativa secondo il benessere BY:13 M2 [2] basato sulla recente ricerca.

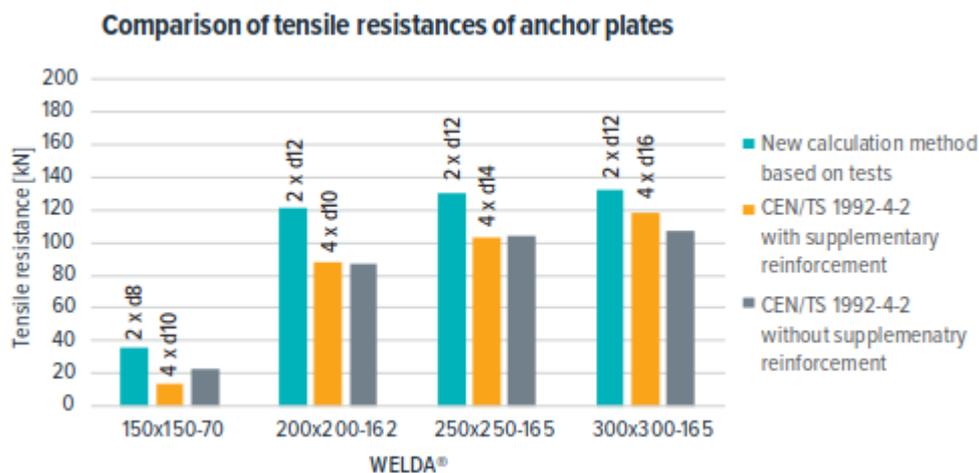


Figura 5. Confronto fra le resistenze delle Piastre di Ancoraggio WELDA® calcolate utilizzando i principi progettuali standard e basati sulla sperimentazione.

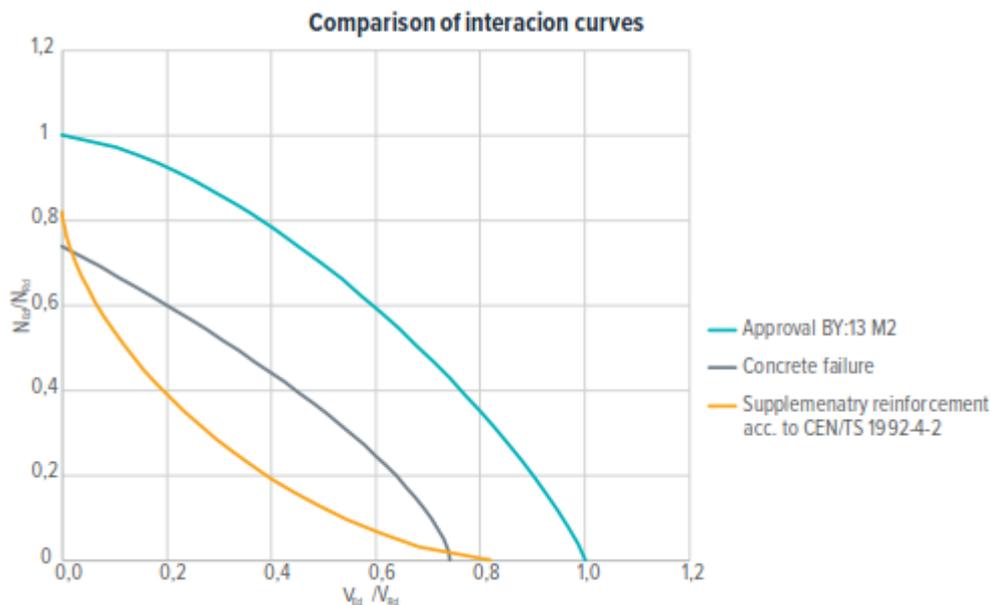


Figura 6. Confronto delle curve di interazione fra piastre di ancoraggio con armatura integrativa.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] CEN/TS 1992-4-2 (2009): Design of fastenings for use in concrete - Part 4-2: Headed Fasteners. CEN, Brussels.
- [2] BY:13 M2 (2017) Piastre di ancoraggio WELDA®. Benestare nazionale. Associazione finlandese del calcestruzzo, Helsinki, Finlandia.

- [3] ETA 16/0430 (2017). WELDA® steel plate with cast-in anchors. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlino, Germania.
- [4] Bujňák. J., Farbak. M. (2018) Tests of short headed bars with anchor reinforcement used in beam to column joints. ACI Structural Journal, Farmington Hills. Mich., V. 115, No. 1, pp. 203-210.
- [5] Bujňák J, Mečár J, Bahleda F. (2018) Tensile resistance of an anchor plate with supplementary reinforcement. Structural Concrete.;pp. 1–7.
- [6] Sharma A., Eligehausen R., Asmus J., Bujnak J., Schmid K. (2017) Analytical model for anchorages with supplementary reinforcement under tension or shear forces. High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet - Atti del fib Symposium 2017, Maastricht, Netherlands, pp. 974-982.
- [7] Sharma A., Eligehausen R., Asmus J., Bujnak J. (2017). Behavior of Anchorages with Supplementary Reinforcement Under Tension or Shear Forces. High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet - Atti del fib Symposium 2017, Maastricht, Netherlands, pp. 965-973.