



Collegamenti con ferri di ripresa post-installati per connessioni momento-resistenti ai sensi di EOTA TR 069

Negli ultimi decenni, i ferri di ripresa post-installati con resina ad iniezione sono venuti affermandosi nella pratica edilizia quotidiana: li si utilizza sia per le nuove costruzioni, sia per gli interventi in strutture già esistenti. Finora, i settori di applicazione dei sistemi ad iniezione qualificati ai sensi di EAD 330087-000601 sono limitati a giunti di sovrapposizione, ancoraggi terminali di travi a supporto articolato, barre di armatura sotto carico di compressione e all'ancoraggio dell'armatura di supporto dell'involuppo della forza di trazione. Il nuovo rapporto tecnico EOTA TR 069 "Design method for anchorages of post-installed reinforcing bars (rebars) with improved bond-splitting behaviour as compared to EN 1992-1-1" disciplina per la prima volta, a livello europeo, il dimensionamento e l'esecuzione di riprese di getto per connessioni calcestruzzo-calcestruzzo resistenti alla flessione, in assenza di sovrapposizioni. Questo articolo illustra i campi di applicazione del nuovo rapporto tecnico TR 069 e la nuova procedura di qualifica ai sensi di EAD 332402-00-0601. Vengono spiegate inoltre le fasi di verifica del dimensionamento ai sensi di EOTA TR 069. Inoltre, alcuni calcoli esemplificativi supplementari relativi a connessioni resistenti alla flessione illustrano i vantaggi risultanti sia a livello di progettazione che di esecuzione.

Parole chiave ferri di ripresa post-installati; cambio di destinazione d'uso o rinforzo di strutture esistenti; connessioni calcestruzzo-calcestruzzo resistenti alla flessione

Post-installed reinforcing bar connections for moment-resisting connections according to EOTA TR 069

Post-installed reinforcing bar connections are common in daily construction practice since decades. They are used in new construction projects as well as for renovations or changes of use. Up to now, the areas of application of injection systems qualified according to EAD 330087-00-0601 have been limited to overlap joints, end anchorages of simply supported beams, reinforcing bars under compression loading and anchoring to cover the envelope line of acting tensile forces in bending members. The new technical report EOTA TR 069 "Design method for anchorages of post-installed reinforcing bars (rebars) with improved bond-splitting behaviour as compared to EN 1992-1-1" for the first time regulates the design and execution of reinforcement connections for rigid concrete to concrete joints on a European level without execution as overlap joint. In the context of this article, the areas of application of the new technical report TR 069 and the new qualification procedure according to EAD 332402-00-0601 are explained. Furthermore, the design verification steps according to EOTA TR 069 are explained. Additional example calculations of rigid connections additionally illustrate the advantages that result in both design and execution.

Keywords post installed reinforcing bars; change of usage or retrofitting of buildings; moment-resisting concrete to concrete connections.

1. Generalità

Negli ultimi decenni, i ferri di ripresa post-installati con resina ad iniezione sono venuti affermandosi nella pratica edilizia quotidiana: li si utilizza sia per le nuove costruzioni, sia per gli interventi in strutture già esistenti. Ne sono esempi il collegamento di nuovi pannelli a pareti esistenti in calcestruzzo, gli ancoraggi di piattaforme per scale, i collegamenti di pannelli a sbalzo connessi a strutture di copertura o gli ancoraggi di piattaforme per scale, i collegamenti di pannelli a sbalzo connessi a strutture di copertura o gli ancoraggi di elementi alle fondazioni già presenti.

Negli interventi di riparazione o di rinforzo di strutture in calcestruzzo armato (ad esempio per l'estensione di pannelli a sbalzo, il risanamento di bordo dei pannelli o la chiusura di aperture nelle solette) si pianificano, dimensionano ed eseguono applicazioni con ferri di ripresa post-installati. La figura 1 mostra un esempio applicativo di un collegamento post-installato a parete. Come tecnica di collegamento si utilizzano metodi della tecnica di fissaggio che vengono utilizzati anche per i connettori a taglio. Tuttavia, la trasmissione dei carichi applicati è assicurata secondo le leggi e i meccanismi di supporto delle strutture in calcestruzzo armato.



Figura 1 Esempio di applicazione di un ferro di ripresa post-installato

Concetto di dimensionamento in uso finora

Fino al 2018, la valutazione dei ferri di ripresa post-installati con resina ad iniezione era fornita dal Rapporto Tecnico TR 023 [1] che ne prescriveva anche le condizioni di utilizzo (dal 2018 EAD 330087-00-0601 [2]).

Le condizioni di utilizzo di sistemi qualificati ai sensi di EAD 330087-00-0601 [2] si limitano ai giunti con sovrapposizione tra le armature nuove e quelle esistenti nei quali il carico viene trasferito tramite puntoni di calcestruzzo alla barra di armatura adiacente, e ai supporti terminali di travi articolate, a barre d'armatura circondate da calcestruzzo in compressione e all'ancoraggio dell'armatura di supporto dell'involuppo della forza di trazione, cfr. [3].

Finora questo metodo ha permesso di realizzare solo collegamenti che, ai sensi della norma EN 1992-1-1 [4], sono ammessi anche con barre per calcestruzzo armato diritte e gettate in opera, cfr. [5].

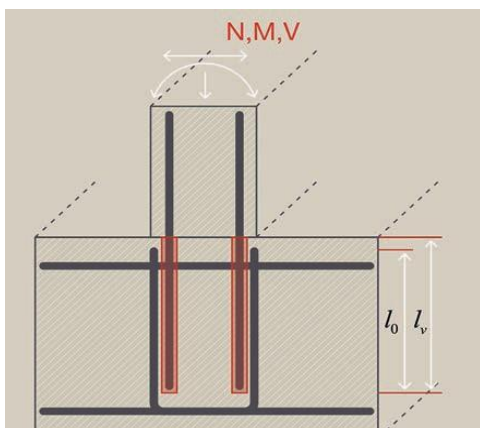


Figura 2 Esecuzione di una connessione con ferri di ripresa post-installati momento-resistenti ai sensi di EN 1992-1-1 [4] come giunto di sovrapposizione

Ciò significa che l'armatura di collegamento per connessioni momento-resistenti deve essere sempre eseguita con sovrapposizione (Fig. 2). Ciò può comportare svantaggi rilevanti in termini di flusso di lavoro, economicità e sicurezza sul lavoro:

- un giunto con sovrapposizione delle armature (sovrapposizione pianificata di un ferro gettato in opera con barra d'armatura post-installata) deve essere preventivamente pianificato nella nuova costruzione e anche essere presente nella posizione prevista. Ciò non è sempre possibile.
 - La capacità di carico del giunto con sovrapposizione, costituito da due ferri con diverso comportamento di adesione, si limita alla capacità di carico del ferro più debole, ovvero quello gettato in opera. Per questo motivo generalmente non si riesce a sfruttare l'intero potenziale del sistema di resina ad iniezione. In alcuni casi, ciò comporta lunghezze di sovrapposizione poco economiche.
 - I ferri di armatura sporgenti in posizione perpendicolare a seguito delle diverse sezioni di getto possono ostacolare lo svolgimento dei lavori in un cantiere. Si possono verificare danni ai ferri di armatura e anche infortuni gravi ai lavoratori presenti.
- Quando si interviene in strutture esistenti, di solito per un ferro di ripresa post-installato con sovrapposizione è necessario liberare l'armatura, un lavoro molto impegnativo, rimuovendo localmente il calcestruzzo (Fig. 3a-b), integrando la nuova armatura tramite saldatura (Fig. 3c), richiudendo la zona e infine ripristinando il collegamento (Fig. 3d).

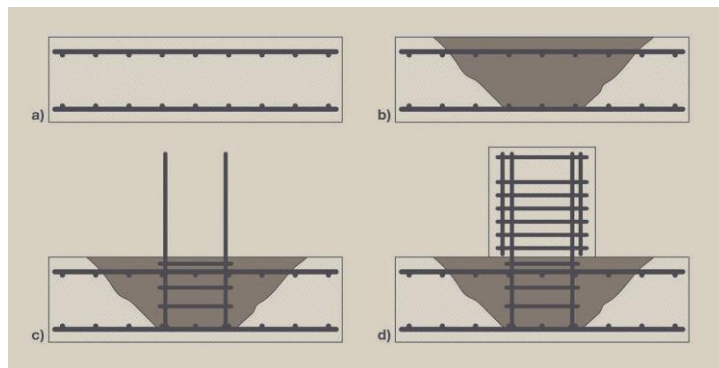


Figura 3 Realizzazione di un giunto di sovrapposizione in assenza di armatura di sovrapposizione nell'elemento strutturale esistente secondo [4]

2. Nodi momento-resistenti in calcestruzzo armato con barre post-installate ai sensi di EOTA TR069 [6]

3.1 Campo di utilizzo di EOTA TR 069

Il nuovo rapporto tecnico EOTA TR 069 [6] "Design method for anchorages of post-installed reinforcing bars (rebars) with improved bond-splitting behaviour as compared to EN 1992-1-1" consente il dimensionamento, a livello europeo, di nodi momento-resistenti in calcestruzzo armato con barre post-installate che non necessitano di essere eseguiti con sovrapposizione. Il rapporto tecnico EOTA TR 069 [6] è stato pubblicato dall'EOTA (European Organization for Technical Assessment) e unifica le norme e i regolamenti per i sistemi di ancoraggio EN 1992-4 [7] e per il dimensionamento e la realizzazione di strutture in calcestruzzo armato EN 1992-1-1 [4]. Come base per

l'esecuzione di questi collegamenti sono necessari sistemi ad iniezione dotati di una classificazione tecnica europea (ETA) sulla base di EAD 332402-00-0601 [8], per esempio HILTI HIT-HY 200-R V3. Il regolamento tecnico EOTA TR 069 [6] descrive nei dettagli i meccanismi di rottura degli ancoraggi e del calcestruzzo. La capacità di carico di ancoraggio è determinata sulla base della più piccola di tutte le resistenze possibili. Inoltre, deve essere rispettata la lunghezza di ancoraggio minima prevista da EN 1992-1-1 [4]. EOTA TR 069 [6] si limita all'attestazione della lunghezza di ancoraggio. La trasmissione delle forze nell'elemento circostante deve essere attestata separatamente. La classe di resistenza del calcestruzzo della base di ancoraggio deve essere minimo C20/25 e massimo C50/60 secondo la norma EN 206 [9] e deve essere sottoposta solo a carichi prevalentemente statici. Si presume che la base di ancoraggio sia fessurata se non è possibile garantire calcestruzzo non fessurato.

Nella qualifica del prodotto di resina, il comportamento ad aderenza viene rilevato in modo dettagliato nell'ambito di prove che tengono conto del copriferro e si riflette nell'attestazione di calcolo contro la tipologia di rottura "bond-

TR 069

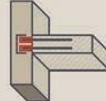
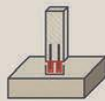
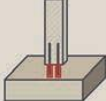
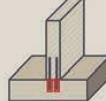
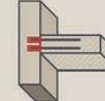
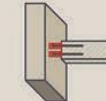
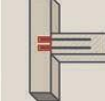
Tipo di collegamento	Collegamento articolato come ancoraggio singolo o giunto di sovrapposizione			Collegamento resistente alla flessione come ancoraggio finale				
	1	2	3	4	5	6	7	8
Elementi	 Soffitto/ parete	 Soffitto/ parete parete/fonda zione	 Sostegno/ Fondazione Trave/parete	 Sostegno/ fondazione	 Parete/ fondazione	 Soffitto/ parete	 Trave/ parete	 Trave/ sostegno
Metodo di dimensionamento	EC2			TR 069 / EC2				

Figura 4 Panoramica dei nuovi campi di utilizzo di ferri di ripresa post-installati regolamentati da EOTA TR 069 [6] per quanto riguarda il dimensionamento e l'esecuzione

splitting". La qualifica del prodotto è molto più estesa rispetto ai prodotti che possono essere dimensionati esclusivamente ai sensi di EN 1992-1-1 [4], per cui si deve dimostrare soltanto l'equivalenza con il rapporto forza/carico-spostamento di un ferro di armatura gettato in opera (cfr. EAD 330087-00-0601 [2]). La qualifica basata sul documento di valutazione europeo EAD 332402-00-0601 [8], invece, permette di sfruttare i valori prestazionali del sistema di resina utilizzato (resistenza ad aderenza), consentendo una soluzione economica con sufficiente sicurezza della connessione in funzione dei vincoli geometrici e delle condizioni specifiche dei materiali. La figura 4 mostra i campi di applicazione coperti da EOTA TR 069 [6].

3.2 Dimostrazione dell'idoneità del sistema ad iniezione ai sensi di EAD 332402-00-0601 [8]

Il requisito fondamentale per il dimensionamento di un ferro di ripresa post-installato ai sensi di EOTA TR 069 [6] è che il sistema sia provvisto di un ETA basato su EAD 332402-00-0601 [8] (una valutazione ai sensi di EAD 330087-00-0601 [2] non è sufficiente). Il documento di qualifica EAD 332402-00-0601 [8] disciplina la valutazione dell'effettiva resistenza a sfilamento ed a splitting di un sistema di resina. A tal fine, si presume l'equazione di base della resistenza a splitting di un ferro di armatura gettato in opera secondo il Codice Modello fib 2010 [10] (cfr. par. 3.3c), in cui il fattore A_k e gli esponenti sp_1 , sp_2 , sp_3 , sp_4 e lb_1 devono essere determinati empiricamente in modo specifico del prodotto mediante prove di omologazione. Sostanzialmente si prendono in considerazione i fattori

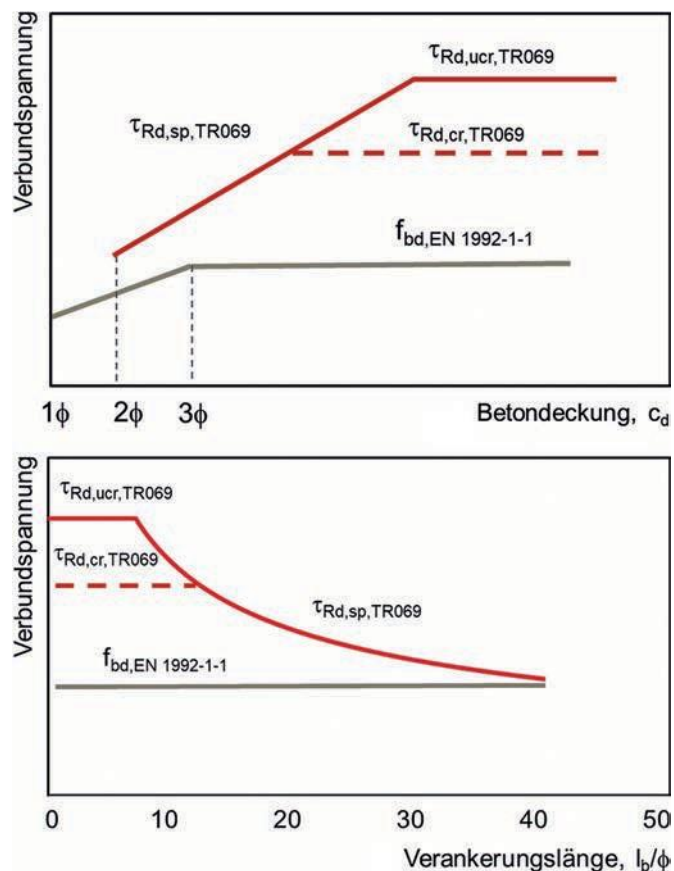


Figura 5 Confronto qualitativo della resistenza ad adesione e splitting tra un sistema valutato ai sensi di EAD 332402-00-0601 [8] e EOTA TR 069 [6] e un sistema ai sensi di EAD 330087-00-0601 [2] e EN 1992-1-1 [4]

d'influenza seguenti per la descrizione della resistenza "bond-splitting": resistenza del calcestruzzo (spi), diametro del ferro (sp2), copriferro (sp3), rapporto tra copriferro minimo e massimo (sp4) e diminuzione della resistenza ad adesione all'aumentare della lunghezza di ancoraggio (l_{b1}) del ferro di armatura. Una panoramica dei test da eseguire è riportata, a titolo di esempio, in [11]. Come limite superiore della resistenza a splitting viene fissata la resistenza ad adesione massima del sistema di resina, in cui per la definizione del limite superiore si tiene conto della sensibilità dei sistemi di resina nei confronti degli agenti atmosferici e delle condizioni di carico (ossia pulizia del foro, temperatura di breve e lungo periodo, alternanza gelo/rugiada, resistenza in ambienti acidi ed alcalini ecc.). Inoltre, vengono testate le possibili condizioni di installazione in conformità a EAD 330087-00-0601 [2] (cioè applicazione in fori profondi a temperatura di installazione minima e massima, montaggio sopratesta, ecc.). Anche la riduzione della massima tensione di adesione dovuta a fessure longitudinali con una larghezza massima della fessura di 0,3 mm lungo il ferro di armatura post-installato con resina ad iniezione rientra nel programma di qualifica e viene presa in considerazione con il fattore $\Omega_{cr} < 1$.

La Figura 5 mostra un confronto qualitativo della tensione di adesione in funzione del copriferro (Fig. 5a) e della lunghezza di ancoraggio relativa (Fig. 5b).

Inoltre, viene fatta una distinzione tra sistemi di resina valutati secondo EAD 330087-00-0601 [2] tenendo conto del dimensionamento ai sensi di EN 1992-1-1 [4], e sistemi di resina valutati secondo EAD 332402-00-0601 [8] tenendo conto del dimensionamento ai sensi di EOTA TR 069 [6]. Dalla Figura 5b si evince che per lunghezze di ancoraggio ridotte si possono applicare tensioni di adesione decisamente più elevate con la valutazione basata su EAD 332402-00-0601 [8] e TR 069 [6] rispetto a EAD 330087-00-0601 [2] e EN 1992-1-1 [4]. Questa differenza diminuisce con l'aumentare della lunghezza di ancoraggio. La linea tratteggiata in Figura 5 mostra l'effetto dell'ipotetica presenza di calcestruzzo fessurato nell'area di ancoraggio sull'andamento della tensione di adesione.

Il dimensionamento di ferri di ripresa post-installati in connessioni momento-resistenti avviene in base al concetto dei coefficienti parziali di sicurezza. I valori caratteristici del sistema necessari per il calcolo della resistenza sono specificati nell'ETA corrispondente. Con il metodo di dimensionamento ai sensi di EOTA TR 069 [6], negli stati limite della capacità di carico si deve dimostrare per tutte le tipologie di rottura che il valore di dimensionamento degli effetti sia al massimo pari alla resistenza di progetto. Per calcolare la resistenza di progetto si tiene conto dei tipi di rottura per snervamento dell'acciaio (NRd,s), spacco/splitting (NRd,sp) e rottura conica del calcestruzzo (NRd,c).

3.3 Resistenze caratteristiche nel metodo di dimensionamento ai sensi di EOTA TR 069 [6]

Il metodo di dimensionamento sfrutta in modo ottimale le prestazioni del sistema di resina. Inoltre, per l'esecuzione di ferri di armatura post-installati si devono rispettare regolamenti aggiuntivi, come per esempio il metodo di perforazione approvato, il copriferro minimo, la temperatura, ecc. Per questo motivo, sia le verifiche richieste che la scelta del sistema corretto sono da ritenersi relativamente complesse. Una possibile soluzione per facilitare il processo di scelta e dimensionamento è offerta dal software di dimensionamento HILTI PROFIS Rebar. In base alle regole

relative alle costruzioni in calcestruzzo armato, per il dimensionamento si ipotizza una sollecitazione di trazione esclusivamente assiale del ferro di armatura. Le singole verifiche sono descritte in modo dettagliato qui di seguito.

(a) Snervamento dell'acciaio

La resistenza caratteristica $N_{Rk,y}$ di un ferro di armatura è data da

$$N_{Rk,y} = A_s \cdot f_{yk} \text{ [N]}$$

dove:

A_s sezione trasversale di tensione di tutti i ferri di armatura post-installati sottoposti a carico di trazione [mm²]

f_{yk} tensione di snervamento caratteristica dell'acciaio [N/mm²]

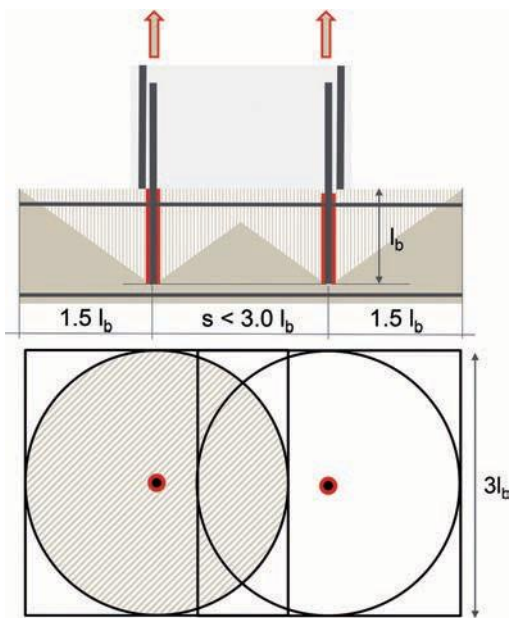


Figura 6 Influenza dell'interasse sulla forma del corpo di rottura del calcestruzzo per gruppi di due tondini di armatura sottoposti a sollecitazione di trazione

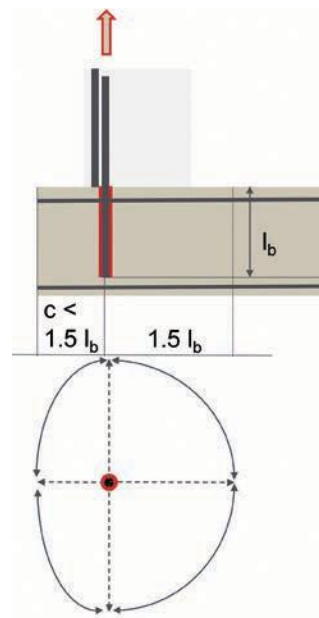


Figura 7 Influenza del bordo sull'andamento delle forze nell'area di un tondino di armatura post-installato con malta di iniezione sottoposto a carico di trazione (schema)

Se la resistenza caratteristica del calcestruzzo è inferiore al valore di snervamento dell'acciaio, si ha una rottura della connessione lato calcestrutto. Nel caso in cui sia richiesto un meccanismo di crisi secondo il criterio $NR_{d,c} \geq NR_{d,y}$ (lato acciaio), si dovrà assicurare un'adeguata conseguente disposizione delle armature. EOTA TR 069 [6] raccomanda lo snervamento dell'acciaio come modalità di rottura di riferimento per garantire il comportamento duttile dell'ancoraggio. Ciò dovrebbe accadere anche durante il dimensionamento.

(b) Rottura conica del calcestruzzo

La resistenza caratteristica $N_{Rk,c}$ di un singolo ferro di armatura o di un gruppo di ferri di armatura sottoposti a carico di trazione è determinata in modo analogo a elementi di ancoraggio post-installati ai sensi della norma EN 1992-4 [7]:

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot A_{c,N} / A_{c,N}^0 \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{M,N} \text{ [N]} \quad (2)$$

La resistenza caratteristica $N_{Rk,c}^0$ di un ferro di armatura con interasse e distanza dal bordo elevate in calcestruzzo fessurato o non fessurato risulta dall'eq. (3).

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot f_{ck}^{0,5} \cdot l_b^{1,5} \quad (3)$$

dove:

k_f pre-fattore per calcestruzzo fessurato o non fessurato desumibile dall'ETA corrispondente

L'influsso geometrico di distanze dal bordo e interassi sulla resistenza caratteristica viene preso in considerazione con il rapporto $A_{c,N}/A_{c,N}^0$ (Fig. 6).

dove:

$A_{c,N}^0$ superficie proiettata di un singolo ferro di armatura con distanza dal bordo e interasse elevati sulla superficie di calcestruzzo; il corpo di rottura è pensato idealmente come piramide avente un'altezza l_b e una lunghezza dei lati di base $s_{cr,N} = 3 l_b = 9 l_b^2$

$A_{c,N}$ superficie proiettata del corpo di rottura dell'ancoraggio sulla superficie del calcestruzzo esistente; è limitata dall'intersezione dei singoli corpi di rottura di ferri di armatura adiacenti ($s \leq s_{cr,N}$) e dai bordi degli elementi ($c \leq c_{cr,N}$)

$s_{cr,N} = 3 l_b$ e/o $c_{cr,N} = 1,5 l_b$, interasse e/o distanza dai bordi necessario/a per garantire un corpo di rottura completo [mm]

l_b lunghezza di ancoraggio del ferro di armatura post-installato con resina ad iniezione nell'elemento strutturale esistente

Il fattore di influenza $\psi_{s,N}$ considera l'interferenza dello stato tensionale a simmetria rotazionale nel calcestruzzo dovuta ai bordi dell'elemento (Fig. 7). In presenza di più bordi dell'elemento (ad es. nel caso di tondini di armatura nello spigolo dell'elemento o in un elemento stretto) si dovrà utilizzare la distanza dal bordo più piccola c .

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot c / c_{cr,N} \leq 1,0 [-] \quad (4)$$

dove:

$c_{cr,N} = 1,5 l_b$ [mm]

c distanza dal bordo più vicino, misurata dal centro del ferro di armatura

Il fattore di influenza $\psi_{ec,N}$ considera l'eccentricità della sollecitazione di trazione risultante di un gruppo di ferri di armatura post-installati.

$$\psi_{ec,N} = 1 / (1 + 2 \cdot e_N / s_{cr,N}) \leq 1,0 [-] \quad (5)$$

dove: $s_{cr,N} = 3 \cdot l_b$

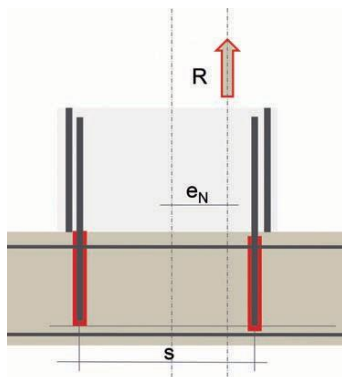


Figura 8 Considerazione dell'eccentricità del carico esterno ai sensi di EOTA TR 069

e_N è l'eccentricità della forza di trazione risultante (cfr. Fig. 8) dei ferri di armatura sottoposti a sollecitazione di trazione dal rispettivo baricentro geometrico. Essa deve essere calcolata dalle forze di trazione dell'acciaio. In presenza di un'eccentricità in due direzioni assiali, $\psi_{ec,N}$ deve essere calcolata separatamente per ogni direzione assiale e si dovrà utilizzare il prodotto dei due fattori.

La resistenza alla rottura conica del calcestruzzo può essere influenzata negativamente se le tensioni di aderenza dell'armatura superficiale si sovrappongono alle tensioni di trazione dei ferri di armatura post-installati con resina ad iniezione. Questo effetto è tenuto in considerazione dal fattore di distacco del guscio che, soprattutto in caso di armatura densa e profondità di ancoraggio ridotta (< 100 mm) dell'armatura post-installata, porta ad una riduzione della resistenza alla rottura del calcestruzzo, (eq. 6). Se nell'area dei ferri di armatura è presente un'armatura con interasse ≥ 150 mm o ≥ 100 mm e diametro ≤ 10 mm, si può utilizzare un fattore di distacco del guscio $\psi_{re,N} = 1$ indipendentemente dalla profondità di ancoraggio.

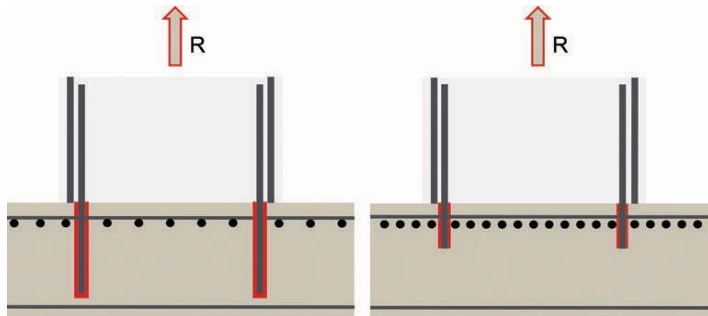


Figura 9 Influenza negativa del carico di rottura del calcestruzzo

$$\psi_{re,N} = 0,5 + l_b / 200 \leq 1, 0 \quad [-] \quad (6)$$

dove: l_b [mm]

Quando si applica un momento flettente all'elemento, si crea una coppia di forze che consiste in una forza di trazione nei ferri di armatura e una forza di compressione nel giunto di collegamento. Se la forza di trazione supera la capacità di carico del calcestruzzo, si verifica una rottura di quest'ultimo. In questo caso, il carico di rottura del calcestruzzo può essere positivamente influenzato da una forza di compressione che subentra nel giunto di collegamento. Se il braccio di leva interno delle forze è basso, la rottura del calcestruzzo è ostacolata dalla forza di compressione (Fig. 10). Di conseguenza, il carico di rottura del calcestruzzo aumenta. L'aumento è tanto maggiore quanto minore è la distanza tra le forze di compressione e di trazione risultanti. Ciò viene espresso come segue:

$$\psi_{M,N} = 2, 0 - z / 1,5 l_b \geq 1, 0 \quad [-] \quad (7)$$

dove:

z braccio di leva tra la forza di trazione e la forza di compressione risultante nella sezione trasversale di collegamento degli elementi in calcestruzzo armato a causa di un momento flettente sollecitante, calcolato in base alla teoria dell'elasticità

$\psi_{M,N} = 1,0$, quando la distanza minima dal bordo è $c \leq 1,5 l_b$, oppure quando il rapporto in ancoraggi con $c \geq 1,5 l_b$ tra effetti di compressione (C_{Ed}) e di trazione (V_{Ed}) nel giunto tra il vecchio e il nuovo elemento è inferiore a 0,8

(c) Rottura "bond-splitting"

La rottura dell'aderenza può essere suddivisa in rottura per fessurazione, rottura per splitting del calcestruzzo e cedimento da frattura, taglio delle micromensole tra malta e superficie del foro di ferri di armatura gettati in opera con successiva estrazione del ferro di armatura. Le forze di adesione si propagano a imbuto nel calcestruzzo circostante in direzione del lato opposto rispetto l'acciaio. Se il copriferro è assente o ridotto oppure manca un'armatura trasversale, le fessure longitudinali possono raggiungere la superficie del calcestruzzo. La tensione di aderenza diminuisce e si verifica una rottura dell'aderenza in seguito a splitting del corpo di calcestruzzo. Se il copriferro è sufficientemente elevato è possibile evitare lo splitting del calcestruzzo. In questo secondo caso, un ulteriore aumento del carico determina un'estrazione del tondino di armatura dovuta a taglio delle micromensole, portando alla formazione di una superficie di frattura liscia attorno al ferro di armatura con resina. Questo comportamento può essere descritto con modelli di spostamento relativo della tensione di aderenza tenendo conto di un'ampia gamma di parametri o di relazioni tra adesione e splitting. La determinazione di questa relazione costituisce una parte essenziale della qualifica ai sensi di EAD 332402-00-0601 [8].

La resistenza caratteristica di un singolo tondino di armatura per il tipo di rottura "bond-splitting" deve essere calcolata come segue per ogni tondino di armatura sottoposto a sollecitazione di trazione: se il gruppo viene sollecitato in modo eccentrico oppure le distanze dai bordi c_{min} e c_{max} sono diverse per i singoli ferri di armatura di un gruppo, la resistenza deve essere calcolata separatamente per ogni singolo ferro di armatura.

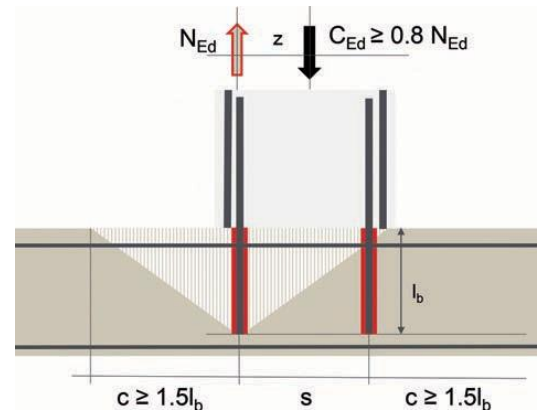


Figura 10 Influenza di un momento flettente agente sulla connessione sul carico di rottura del calcestruzzo dei tondini di armatura sottoposti a sollecitazione di trazione



$$N_{Rk,sp} = \tau_{Rk,sp} \cdot l_b \cdot \phi \cdot \pi [N] \quad (8)$$

dove:

$$\begin{aligned} \tau_{Rk,sp} &= \eta_1 \cdot A_k \cdot (f_{ck}/25)^{sp1} \cdot (25/\phi)^{sp2} \cdot [(c_d/\phi)^{sp3} \cdot (c_{max}/c_d)^{sp4} + k_m \cdot K_{tr}] \cdot (7\phi/l_b)^{lb1} \cdot \Omega_{p,tr} \\ &\leq \tau_{Rk,ucr} \cdot \Omega_{cr} \mid \Omega_{p,tr} \cdot \psi_{sus}, \text{ se } 7\phi \leq l_b \leq 20\phi [N/mm^2] \\ &\leq \tau_{Rk,ucr} \cdot (20\phi/l_b)^{lb1} \cdot \Omega_{cr} \mid \Omega_{p,tr} \cdot \psi_{sus}, \text{ se } l_b > 20\phi [N/mm^2] \end{aligned}$$

I fattori seguenti sono indicati nell'ETA corrispondente del sistema:

- A_k fattore di adattamento; sp1, sp2, sp3, sp4 e l_{b1} = Esponenti di adattamento ai sensi di ETA [-]
- $\tau_{Rk,ucr}$ resistenza di adesione in calcestruzzo non fessurato come limite superiore della resistenza a splitting [N/mm²]
- Ω_{cr} fattore di riduzione della resistenza di adesione ipotizzando la presenza di calcestruzzo fessurato [-]
- ψ_{sus}^0 Fattore per tenere conto di carichi permanenti [-]
- η_1 coefficiente per tenere conto della qualità delle condizioni di adesione e della posizione dei tondini di armatura durante il getto del calcestruzzo ai sensi della EN 1992-1-1
= 1,0 in presenza di "condizioni di adesione buone"
= 0,7 per tutti gli altri casi e ferri in elementi realizzati secondo il metodo del getto dell'elemento

Un sufficiente effetto di confinamento del calcestruzzo, per assorbire tensioni di trazione ad anello può risultare dall'inserimento di un'armatura trasversale corrispondente sotto forma di staffe chiuse o cappi. Il fattore k_m (· 12; 6; 0) considera l'efficacia di un'armatura trasversale esistente secondo il Codice Modello fib 2010 [10] in funzione della distanza del ferro di armatura dal fianco dell'armatura trasversale (a_t), dal copriferro (c_f), dalle distanze dei ferri (c_s). K_{tr} considera il grado di un'armatura trasversale esistente che incrocia una possibile fessurazione e viene calcolato come segue:

$$K_{tr} = (n_t \cdot A_{st}) / (n_b \cdot \phi \cdot s_b) \leq 0,05 [-] \quad (9)$$

dove:

- n_t numero dei fianchi da legare che intersecano una possibile fessurazione [-]
- A_{st} sezione di un fianco della staffa [-]
- n_b numero dei ferri di armatura post-installati all'interno della possibile superficie di fessurazione [-]
- s_b distanza dell'armatura da legare [mm]

Le tensioni di compressione ad anello si ripercuotono favorevolmente sul comportamento di adesione in quanto riducono o impediscono la formazione di fessurazioni longitudinali. Questo stato di tensione si forma ad es. per effetto di una pressione trasversale applicata dall'esterno. La pressione trasversale agente perpendicolarmente all'asse del tondino p_{tr} può essere tenuta in considerazione con il fattore $\Omega_{p,tr}$ ai sensi di EOTA TR 069 [6]. In caso di calcestruzzo fessurato si omette $\Omega_{p,tr}$:

$$\Omega_{p,tr} = 1, 0 - (0,3 \cdot p_{tr} / f_{ctm}), \text{ se } 0 \leq p_{tr} \leq f_{ctm} \text{ (trazione)} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \Omega_{p,tr} &= 1, 0 - \tanh[0,2 \cdot p_{tr} / (0,1 \cdot f_{cm})], \\ &\text{ se } f_{cm} \leq p_{tr} \leq 0 \text{ (compressione)} \end{aligned} \quad (11)$$

dove:

- f_{cm} e f_{ctm} ai sensi di EN 1992-1-1 [4]
- p_{tr} deve essere calcolata come tensione media nel calcestruzzo (perpendicolare all'asse del ferro) tramite un volume intorno al ferro di armatura con un diametro 3ϕ

Grazie alle loro proprietà viscoelastiche, le resine ibride mostrano una differenza nella resistenza in caso di sollecitazione a breve e a lungo termine. Il comportamento di scorrimento dei sistemi ad iniezione per ferri di armatura post-installati con resina ad iniezione viene esaminato nella qualifica del prodotto con carichi permanenti selezionati. Questo effetto viene preso in considerazione dal fattore ψ_{sus} , che dipende sia dal prodotto utilizzato che dal rapporto tra il carico permanente e il carico totale:

$$\psi_{sus} = 1, \text{ wenn } \alpha_{sus} \leq \psi_{sus}^0 \quad [-]$$

$$\psi_{sus} = \psi_{sus}^0 + 1 - \alpha_{sus}, \text{ wenn } \alpha_{sus} > \psi_{sus}^0 \quad [-]$$

dove:

ψ_{sus}^0 fattore dipendente dal prodotto che tiene conto dell'effetto di un carico ad azione permanente sulla resistenza di adesione; desumibile dall'ETA corrispondente; se non si ha nessun valore per ψ_{sus}^0 , si applica $\psi_{sus}^0 = 0,6$ (EN 1992-4 [7])

α_{sus} descrive il rapporto tra il carico ad azione permanente e il carico totale per lo stato limite della capacità di carico

La lunghezza dell'ancoraggio l_b calcolata in base ai valori di resistenza calcolati ai sensi di EOTA TR c°69 [6] non deve essere inferiore al valore della profondità minima di ancoraggio $l_{b,min}$ secondo EN 1992-1-1 [4] e/o i suoi allegati nazionali. Fatta salva l'applicabilità di requisiti diversi, l_b dovrebbe essere almeno pari al valore di $l_{b,min}$ secondo EN 1992-1-1 [4].

3. Confronto esemplificativo dei risultati di dimensionamento con armature post-installate secondo EN 1992-1-1 ed EOTA TR 069

La Figura 11 mostra il dimensionamento di una connessione rigida tra parete esistente e solaio nuovo, utilizzando un'armatura post-installata. A differenza del dimensionamento secondo EN 1992-1-1, il dimensionamento secondo EOTA TR 069 non richiede alcuna armatura di sovrapposizione nella parete di calcestruzzo armato. Inoltre, il dimensionamento secondo EN 1992-1-1 porta a lunghezze di ancoraggio significativamente superiori per effetto di tensioni di aderenza inferiori rispetto a EOTA TR 069 e, nell'esempio illustrato, non porta a una soluzione per uno spessore della parete di 300 mm. A causa delle maggiori tensioni di aderenza calcolate, il dimensionamento ai sensi di EOTA TR 069 offre una soluzione di ancoraggio in presenza di uno spessore della parete di 300 mm e ha anche il vantaggio che per eseguire una connessione rigida non è necessaria la presenza di un'armatura di sovrapposizione nell'elemento strutturale esistente. Soprattutto in strutture esistenti ciò rappresenta un vantaggio determinante. I citati vantaggi del dimensionamento ai sensi di EOTA TR 069 sono applicabili anche al secondo esempio di una connessione rigida fondazione esistente-parete resistente a flessione nella Figura 12. Secondo EOTA TR 069, si ottengono profondità di ancoraggio inferiori e anche in questo caso non è necessario sovrapporre l'armatura post-installata a un'armatura esistente nella fondazione. I calcoli esemplificativi sono stati eseguiti con il software di dimensionamento HILTI PROFIS Rebar. Il calcolo ai fini dell'attestazione ai sensi di EOTA TR 069 [6] viene effettuato con un processo iterativo che tiene conto dei criteri di dimensionamento definiti nell'ambito di EOTA TR 069.

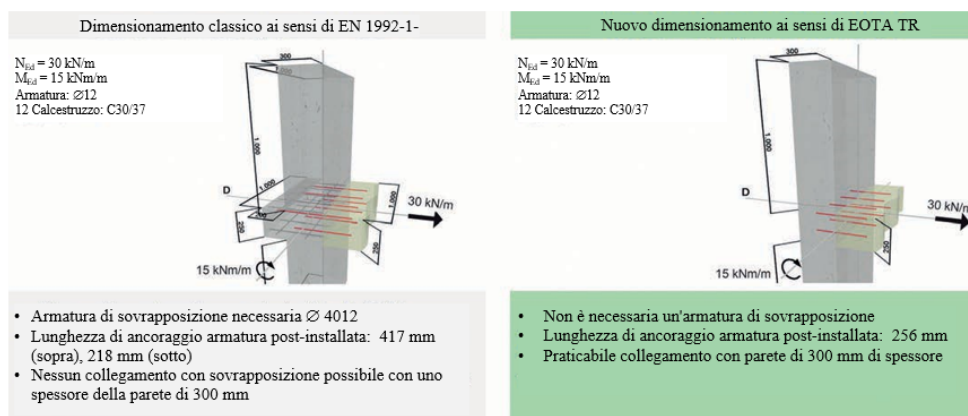


Figura 11 Confronto tra dimensionamento di connessione soffitto/parete post-installata resistente alla flessione ai sensi di EN 1992-1-1 [4] ed EOTA TR 069 [6]

4. Ulteriori attestazioni che esulano dai regolamenti ai sensi di EOTA TR 069

La trasmissione di forze di taglio tra l'elemento in calcestruzzo esistente e quello nuovo deve essere verificata ai sensi di EOTA TR 069 [6] in conformità alla norma EN 1992-1-1 [4]. Inoltre, le superfici carbonatate eventualmente presenti nel calcestruzzo esistente devono essere rimosse prima del collegamento del nuovo ferro nella zona del

ferro di armatura post-installato con il diametro $d_s + 6^\circ$ mm. La profondità del calcestruzzo da rimuovere deve essere almeno pari al copriferro minimo per la corrispondente classe di esposizione ai sensi di EN 1992-1-1 [4].

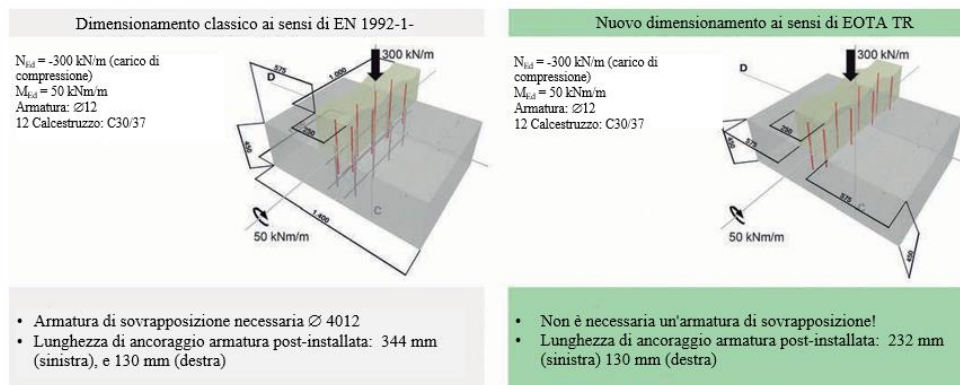


Figura 12 Confronto tra dimensionamento di connessione parete/fondamenta post-installata resistente alla flessione ai sensi di EN 1992-1-1 [4] ed EOTA TR 069 [6].

Mentre le misure necessarie in EOTA TR 069 [6] per la trasmissione di forze di taglio mediante la superficie irruvidita del giunto vengono illustrate chiaramente in riferimento a EN 1992-1-1 [4], in EOTA TR 069 [6] mancano indicazioni in merito al trasferimento del carico. L'attestazione del trasferimento locale dei carichi nell'elemento o nella base di ancoraggio è fornita mediante applicazione di EOTA TR 069. Il trasferimento dei carichi da ancorare nell'elemento strutturale esistente così come nel nuovo elemento deve essere attestato ai sensi di EN 1992-1-1. EOTA TR 069 non definisce esplicitamente come ciò debba essere effettuato nel dettaglio senza armatura di sovrapposizione nell'elemento strutturale esistente.

Secondo EN 1992-1-1 [4] si presume che i carichi "appesi" (cioè l'ancoraggio nella zona di trazione) debbano essere trasferiti al lato dell'elemento rivolto verso il lato opposto al carico o alla zona di compressione mediante un'armatura supplementare esistente e ivi ancorati. Nel caso di nodi momento-resistenti in calcestruzzo armato sotto forma di ferri di ripresa post-installati dimensionati secondo TR 069 [6], i carichi vengono trasferiti nella zona di trazione del calcestruzzo, e, in molti casi, può non essere presente un'armatura supplementare. Per non influenzare negativamente il comportamento portante dell'elemento strutturale esistente che funge da base di ancoraggio, possono essere necessarie ulteriori verifiche, come quelle condotte per i sistemi di fissaggio. Le verifiche aggiuntive potrebbero essere desunte da EN 1992-4 [7] Allegato A e dovrebbero essere intese come base di discussione nel contesto della presente pubblicazione.

Supponendo che le condizioni di attestazione del trasferimento locale del carico nella zona di trazione di un elemento ai sensi di EN 1992-4 [7] Allegato A possano essere trasferite a ferri di ripresa post-installati ai sensi di EOTA TR 069 [6], l'attestazione del trasferimento locale del carico potrebbe essere omessa se una delle seguenti condizioni fosse soddisfatta:

a) La sollecitazione da sforzo tagliente nell'elemento per effetto del dimensionamento e tenendo conto dei carichi immessi dai ferri di armatura post-installati con resina di iniezione è:

$$V_{Ed} = 0,8 V_{Rd,c} \text{ per elementi senza armatura di taglio}$$

$$V_{Ed} = 0,8 \min (V_{Rd,sr}; V_{Rd,max}) \text{ per elementi con armatura di taglio}$$

con $V_{Rd,c}$, $V_{Rd,sr}$, $V_{Rd,max}$ ai sensi di EN 1992-1-1 [4]

b) La profondità di ancoraggio calcolata è pari a $l_b \geq 0,8 \cdot h$.

c) È presente un'armatura supplementare.

Ulteriori disposizioni, se non viene soddisfatta una delle disposizioni da a) a c), sono riportate in EN 1992-4 [7] allegato A o [12]. Naturalmente ci possono essere anche casi in cui EOTA TR 069 non può essere applicato o può essere applicato solo in misura limitata.

5. Sintesi

Il nuovo rapporto tecnico EOTA TR 069 definisce un nuovo stato dell'arte per un campo di applicazione determinante e finora non regolamentato, quello dei ferri di ripresa post-installati, con un concetto di verifica chiaro e un programma di qualifica dei sistemi di resina da utilizzare definito specificamente per queste applicazioni. Secondo EOTA TR 069 è determinante ai fini del dimensionamento che il sistema di resina utilizzato disponga di un ETA ai sensi di EAD 332402-00-0601 (come ad es. HILTI HIT-HY 200-R V3). Considerando l'entità delle verifiche da effettuare secondo EOTA TR 069, un adeguato software di dimensionamento è utile per determinare rapidamente la soluzione più economica tecnicamente possibile (ad es. HILTI PROFIS Rebar). Oltre alle spiegazioni del programma di qualifica e delle fasi di dimensionamento ai sensi di EOTA TR 069, in questo articolo sono state fornite raccomandazioni per ulteriori verifiche degli elementi che esulano da quanto previsto da EOTA TR 069.

I calcoli esemplificativi illustrati di nodi momento-resistenti calcestruzzo/calcestruzzo mostrano le conseguenze positive che un dimensionamento ai sensi di EOTA TR 069 può avere sull'economicità e sulla possibilità di realizzare collegamenti in calcestruzzo armato post-installati.

Bibliografia

- [1] Rapporto tecnico EOTA TR 023 (2006) **Assessment of postinstalled rebar connections**. novembre 2006.
- [2] Documento di valutazione europeo EOTA EAD 330087-000601 (2018) **Systems for post-installed rebar connections with mortar**. maggio 2018
- [3] Fuchs, W.; Hofmann, J. (2020) **Nachträgliche Bewehrungsanschlüsse. Vorschriften - Grundlagen für ihre sichere Verwendung?** in: Beton- und Stahlbetonbau 115, n° 7, pag. 523531. <https://doi.org/10.1002/best.202000006>
- [4] DIN EN 1992-1-1 (2011) **Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010**. Gennaio 2011.
- [5] Spieth, H. A. (2002) **Tragverhalten und Bemessung von eingemörtelten Bewehrungsstäben**. Dissertation, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, Stuttgart.
- [6] Rapporto tecnico EOTA TR 069 (2019) **Design method for anchorage of post-installed reinforcing bars (rebars) with improved bond-splitting behavior as compared to EN 1992-1-1**. Ottobre 2019.
- [7] DIN EN 1992-4 (2019) **Eurocode 2 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 4: Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton; versione tedesca EN 1992-4:2018**. Aprile 2019.
- [8] Documento di valutazione europeo EOTA EAD 332402-000601 (In attesa di citazione in OJEU) **Post-installed reinforcing bar (rebar) connections with improved bondsplitting behaviour under static loading**.
- [9] DIN EN 206 (2017) **Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; versione tedesca EN 206:2013+A1:2016**. Gennaio 2017.
- [10] fib Model Code for concrete structures 2010 (2013). Ernst & Sohn.
- [11] Rex, J.; Sharma, A.; Hofmann, J.: A new test specimen to investigate the bond behavior of post-installed reinforcing bars, Structural Concrete 2018, 1-14, Wiley fib.
- [12] Reuter, M.; Eligehausen, R. (1992) **Einfluss der Lasteinleitung durch Befestigungen auf die Tragfähigkeit von Stahlbetonbauteilen** in: Bauingenieur 67, pagg. 461-474.

Autori



Dr. techn. Patrick Wörle
patrick.woerle@hilti.com
Hilti Deutschland AG



Dr.-Ing. Jörg Appl
joerg.appl@hilti.com
Hilti Entwicklungsgesellschaft mbH



Dr.-Ing. Giovacchino Genesio
giovacchino.genesio@hilti.com
Hilti Entwicklungsgesellschaft mbH

Citazione di questo articolo

Wörle, P.; Appl, J.; Genesio, G. (2020) *Bewehrungsanschlüsse für momententragfähige Verbindungen nach EOTA TR 069*. Beton- und Stahlbetonbau 115, n° 11, pagg. 887–896. <https://doi.org/10.1002/best.202000057>

Il presente articolo è stato sottoposto a peer-review. Presentato: 27 luglio 2020; accettato: 18 settembre 2020.