



# ARMATURE POST INSTALLATE PER NODI RIGIDI

L'innovazione nel calcolo sismico



Versione 2.0  
Novembre 2022

## INDICE

<b>1. Sommario</b>	<b>2</b>
<b>2. Lo status quo: qualifica e progettazione di barre di armatura post-installate</b>	<b>2</b>
<b>3. La rivoluzione: nuova qualifica e concept progettuale con EAD 332402 e TR069</b>	<b>4</b>
3.1 Panoramica dell'EAD 332402	5
3.2 Metodo di progettazione TR069	7
3.3 Progettazione Statica secondo TR069	8
3.3.1 Resistenza dello snervamento delle barre (sezione 4.2, TR069)	9
3.3.2 Resistenza conica del calcestruzzo (sezione 4.3, TR069)	9
3.3.3 Resistenza per <i>bond-splitting</i> (sezione 4.4, TR069)	10
3.4 Progettazione Sismica	12
3.4.1 Snervamento (Sezione 5.2, TR069)	13
3.4.1 Rottura conica del calcestruzzo (Sezione 5.3, TR069)	13
3.4.1 <i>Bond-splitting</i> (Sezione 5.4, TR069)	13
<b>4. Il Valore aggiunto degli ancoranti chimici qualificati</b>	<b>14</b>
<b>5. Sicurezza in fase di progettazione e di esecuzione</b>	<b>15</b>
<b>6. Sintesi</b>	<b>16</b>
<b>7. Reference</b>	<b>17</b>

## 1. SOMMARIO

Il collegamento di elementi strutturali in calcestruzzo con ferri di armatura post-installati (PIR – Post Installed Rebar) è ormai diventata una soluzione affidabile anche grazie ai significativi progressi compiuti in ambito di valutazione e qualifica delle soluzioni PIR negli ultimi 15 anni.

Fino a poco tempo fa, il collegamento tra due elementi in calcestruzzo tramite ferri di armatura post-installati veniva valutato solo mediante il documento europeo di valutazione (EAD) 330087 [1]. Quindi l'utilizzo di barre di armatura post-installate era consentito in conformità alla norma EN 1992-1-1 [2] (per carico statico) o alla norma EN 1998-1 [2] (per carico sismico). Ovviamente le barre post-installate potevano essere solo dritte (non piegate) e ciò significa che l'EAD 330087 [1] limita l'applicazione ad ancoraggi (per i casi di nodi a cerniera - senza momento) o a collegamenti con sovrapposizione delle barre post-installate a quelle già esistenti. Inoltre, la tensione di aderenza molto elevata degli ancoranti chimici performanti viene limitata alle prestazioni delle barre gettate in opera. Ciò è dovuto al fatto che la valutazione delle prestazioni secondo l'EAD 330087 si basa sulla dimostrazione dell'equivalenza con le barre gettate in opera. L'unico caso coperto dall'EAD 330087 in cui si può ottenere un nodo rigido resistente al momento: quando l'armatura nell'elemento di calcestruzzo esistente è posizionata in modo da creare una sovrapposizione con le nuove barre post-installate. Questo, tuttavia, non è quasi realizzabile perché è necessaria una predisposizione di queste barre nel calcestruzzo esistente. I metodi alternativi, come triante-puntone, sono applicabili in alcune situazioni per il carico statico ma non sono validi se il collegamento deve resistere alle azioni sismiche.

Alla fine del 2019 è stata introdotta una nuova procedura di qualifica nominata EAD 332402 [3] accompagnata dal metodo di progettazione Technical Report (TR) 069, [4] che è valido per i carichi statici. Nel 2020 e nel 2021, sia l'EAD che il TR sono stati aggiornati in modo da considerare rispettivamente una vita utile fino a 100 anni e le azioni sismiche. Ciò ha consentito, per la prima volta, la regolazione della valutazione, della progettazione e della verifica dei collegamenti PIR a livello europeo, prendendo in considerazione le prestazioni in funzione del prodotto. Questi aggiornamenti permettono di superare le sfide di cui sopra. Questo articolo introduce la nuova procedura di qualifica per ancoranti chimici EAD 332402 [3], [5], [6] e il metodo di progettazione con il TR 069. Inoltre, questo *white paper* spiega brevemente l'importanza della corretta installazione di ancoranti chimici che hanno un impatto diretto sulle ipotesi di progettazione e sulle relative prestazioni e viceversa.

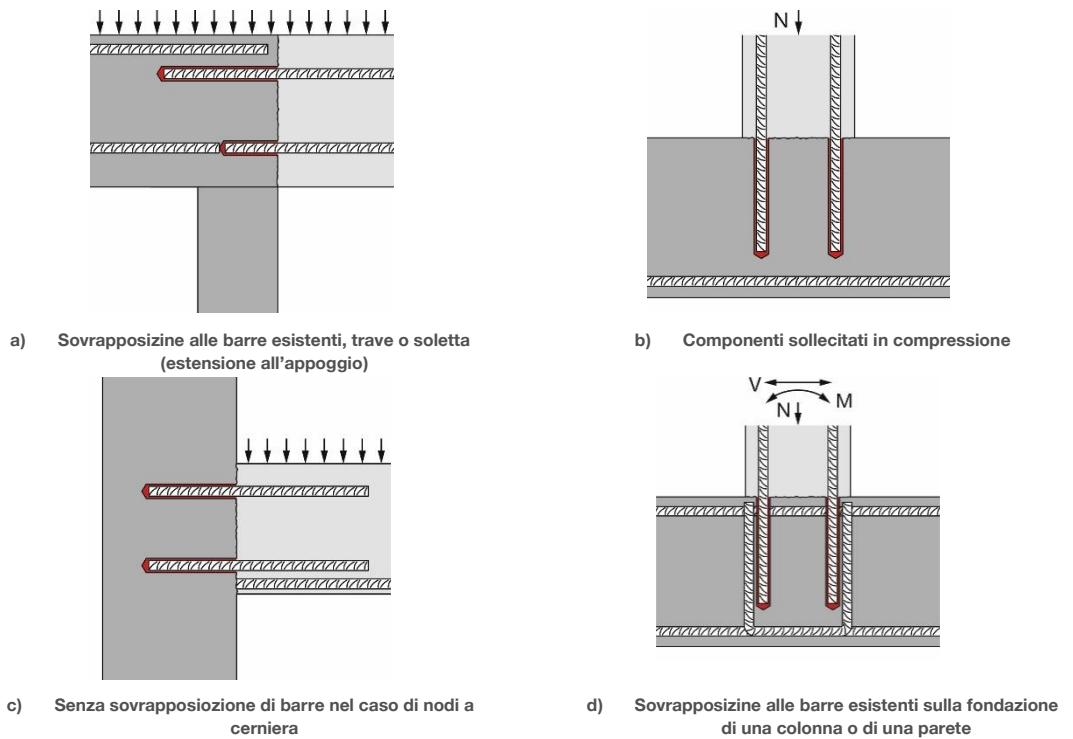
## 2. LO STATUS QUO: QUALIFICA E PROGETTAZIONE DI BARRE DI ARMATURA POST-INSTALLATE

Negli ultimi decenni, il collegamento di elementi strutturali in calcestruzzo tramite ferri di ripresa post-installati (PIR) è diventato una pratica diffusa nell'industria delle costruzioni globale ed è usato per costruzioni nuove e esistenti. Nel 2006, la European Organisation for Technical Assessment (EOTA) ha pubblicato la prima valutazione per i ferri di ripresa post-installati – Rapporto tecnico 023, [7] che è stata poi sostituita nel 2018 dal documento europeo di valutazione (EAD) 330087 [1].

Questa EAD introduce i criteri per la valutazione dei sistemi PIR per stabilire la loro equivalenza ai ferri di armatura gettati in opera (CIR) in termini di comportamento carico-spostamento, tensione di aderenza, e di robustezza in condizioni di installazione, ambientali e di carico diverse, quali l'esposizione statica, sismica e al fuoco.

Con un'ancorante chimico per armatura qualificato secondo EAD 330087, è possibile progettare la lunghezza di ancoraggio della **barra dritta** secondo la norma EN 1992-1-1, [2] ovvero principalmente per ancoraggi e giunzioni di nodi a cerniera, elementi in sola compressione, oppure con sovrapposizione di barre come illustrato in Figura 1.

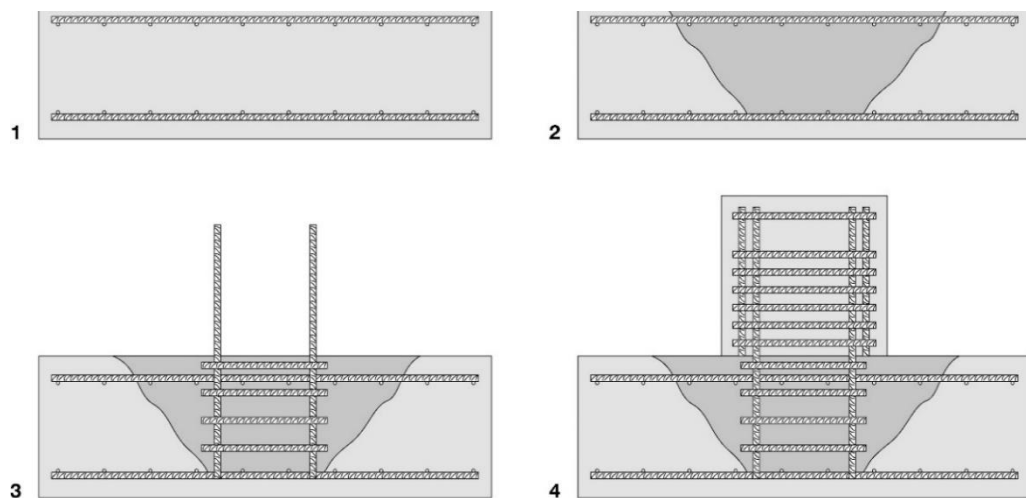
**Figura 1**  
 Esecuzione del collegamento post-installato tra elementi in calcestruzzo: Elenco di casi applicabili come richiesto da EAD 330087 [1]



Una volta progettata, l'installazione di barre post-installate implica modifiche al flusso delle lavorazioni in cantiere, costi e alle relative misure di sicurezza rispetto al caso delle barre direttamente gettate in opera. Ciò vale in particolar modo se la richiesta di post-installazione non è prevista ma è dovuta a esigenze di cantiere come, per esempio, errori durante l'installazione o modifiche al progetto. Gli installatori devono essere competenti e formati per garantire che la progettazione si traduca in una corretta installazione in cantiere. Un'importante sfida per progettisti e appaltatori consiste nell'accomodare la lunghezza di ancoraggio richiesta per barre dritte post-installate entro lo spessore della sezione esistente. Per l'estensione di elementi esistenti invece, è in genere più agevole l'utilizzo di barre post-installate nonostante le elevate lunghezze di sovrapposizione richieste. Garantire che la perforazione si mantenga perpendicolare alla superficie è una sfida che si può superare con l'uso di guide alla perforazione. Per l'ancoraggio post installato, la norma EN 1992-1-1 copre i nodi rigidi (resistenti a momento) solo in quei casi in cui si può applicare una sovrapposizione delle armature nuove a quelle esistenti (ad es. Figura 1.d); altrimenti questi nodi possono solo trasferire il taglio (ad es. nodi a cerniera come in Figura 1.c). I metodi alternativi, come i modelli a tirante-puntone della zona di ancoraggio, richiedono una conoscenza dettagliata delle forze nei collegamenti e nell'armatura esistente. Di conseguenza, sono validi per geometrie specifiche e solo sotto carico statico. Pertanto, la loro applicabilità è limitata. Esaminiamo il caso in cui si voglia trasferire momento tra un elemento strutturale di nuova costruzione e un elemento strutturale esistente ortogonale ad esso. L'ingegnere strutturista che desidera trasferire il momento e rispettare la norma EN 1992-1-1 deve realizzare una progettazione ad hoc e ubicare l'armatura aggiuntiva nella posizione corretta nel componente esistente per sovrapporre successivamente le nuove barre post-installate. In cantiere, questo si tradurrà in barre esposte che spesso impediscono l'accesso e il flusso di lavoro in spazi già di per sé congestionati, causando rischi elevati per la sicurezza. Le barre esposte inducono inoltre il rischio di danneggiare le attrezzature da costruzione. Nella struttura esistente, in cui queste barre sovrapposte non sono disponibili, il trasferimento della flessione dall'elemento nuovo a quello esistente può richiedere una demolizione parziale per la posa delle nuove barre, come illustrato in Figura 2. In entrambe le situazioni, l'esecuzione in cantiere è soggetta a ostacoli e incline ad errori, pertanto è meglio evitare l'uso di barre sovrapposte.

Un'ulteriore limitazione delle resine per barre di armature valutate secondo l'EAD 330087 (approccio EC2), è quella di limitare la tensione di aderenza ( $f_{bd}$ , usata nel calcolo della lunghezza ancoraggio) ad un tetto massimo che coincide con il valore delle barre gettate in opera. Ad esempio, il sistema post-installato (barre+resina) deve raggiungere una tensione di aderenza media di 10 MPa, che corrisponde a una tensione di aderenza di progetto  $f_{bd}$ , pari ad almeno 2,3 MPa nel calcestruzzo C20/25; tuttavia non viene presa in considerazione la performance superiore che mostra il sistema post-installato. La tensione di aderenza dei sistemi di post-installati con ancoranti chimici (di produttori leader del settore in termini di prestazioni) superano di gran lunga quella delle barre gettate in opera. Le limitazioni dell'EAD 330087 hanno ostacolato l'impiego di performance più realistiche dell'ancorante chimico in calcestruzzi ben confinati portando spesso all'impossibilità di trovare soluzioni con barre post installate (ad es. la profondità di perforazione supera spesso lo spessore del calcestruzzo esistente).

**Figura 2**  
Processo tipico per demolire un elemento esistente per posizionare un nuovo sistema di armatura seguito da calcestruzzo gettato in opera [8]



Il fatto che l'EAD 330087 non fosse in grado di valutare in modo realistico il comportamento degli ancoraggi in nodi resistenti al momento e il fatto che per considerare tali performance realistiche in termini di bond-splitting del ancorante chimico in un elemento di calcestruzzo (non più confinato in questo caso), hanno reso necessaria una vasta campagna sperimentale alla fine degli anni 2010 [9] [10], che ha portato alla redazione di un nuovo documento di valutazione europea, l'EAD 332402, [3] e al relativo TR069, [4] pubblicati dall'EOTA.

### 3. LA RIVOLUZIONE: NUOVA QUALIFICA E CONCEPT PROGETTUALE CON EAD 332402 E TR069

Il nuovo TR069 [4] intitolato "*Design method for anchorage of post-installed reinforcing bars (rebars) with improved bond-splitting behavior as compared to EN 1992-1-1*" è stato pubblicato per la prima volta nel 2019 e successivamente aggiornato nel 2020 e 2021. Il documento consente la progettazione per carico statico e sismico. La progettazione con TR069 richiede che l'ancorante chimico per barre di armatura sia valutato secondo i requisiti dell'EAD 332402 ([3], [5], [6]). La relativa *European Technical Assessment* (ETA), pubblicata successivamente, contiene fattori specifici (unici per quello specifico prodotto approvato) che influenzano il comportamento di bond-splitting della barra post-installata nei casi di nodi rigidi resistenti al momento flettente come illustrato nella parte di destra della seguente Tabella 1

**Tabella 1**  
 Estensione dell'ambito di applicazione con l'arrivo del metodo di progettazione EOTA TR069 [4]

	Estensione Vincolo a Solo carico di Nodo rigido con cerniera compressione sovrapposizione			Nodo rigido (senza sovrapposizione)	
Carico	Statico	Fuoco	Sismico	Statico	Sismico
Qualifica prodotto	EAD 330087			EAD 332402	
Dati tecnici	ETA I			ETA II	
Metodo di progettazione	EC2-1-1	EC2-1-2	EC8-1	TR 069	

### 3.1 Panoramica dell'EAD 332402

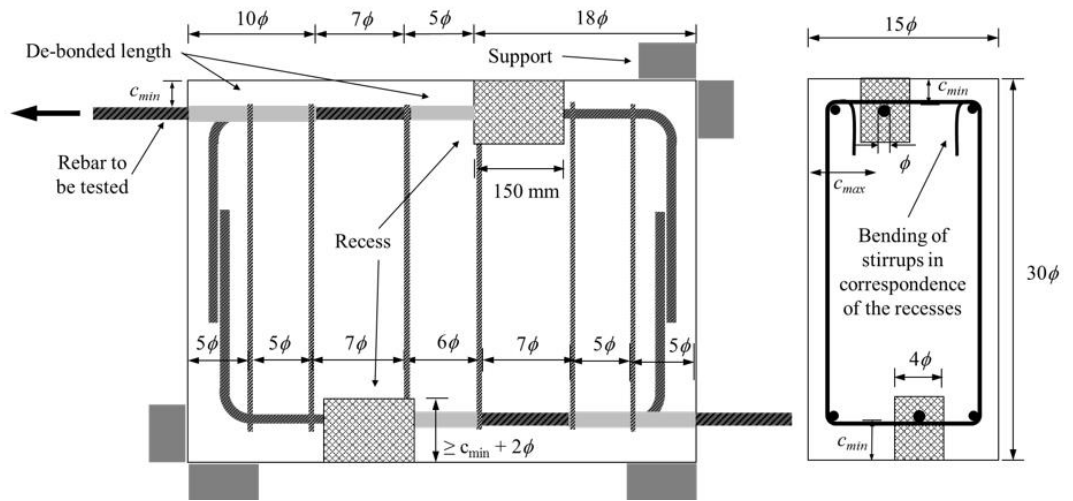
Mentre la EAD 330087 [1] valuta l'equivalenza del sistema post-installato a quello gettato in opera (*cast-in*), il nuovo EAD 332402 [3] va oltre, consentendo una valutazione realistica (in funzione del prodotto) della tensione di aderenza *bond-splitting* dei ferri di armatura post-installati che si devono usare nell'ambito applicativo del TR069 [4].

Sebbene sia un documento di approvazione "a sé stante", l'EAD 332402 si basa su aspetti specifici di due EAD precedenti: il 330087 (per equivalenza alle barre gettate in opera, coperte nella Sezione 2 di questo documento) e il 330499 (per ancoranti chimici di piastre base) [11]. Pertanto, una resina chimica deve essere valutata utilizzando entrambi questi documenti prima di effettuare una valutazione con l'EAD 332402. La prima valuta esclusivamente l'equivalenza con barre gettate in opera. La seconda non copre distanze dal bordo ridotte, interassi ridotti o lunghezze di ancoraggio superiori a 20 volte il diametro della barra tuttavia fornisce la resistenza caratteristica a sfilamento che costituisce il limite superiore per la tensione di aderenza *bond-splitting*.

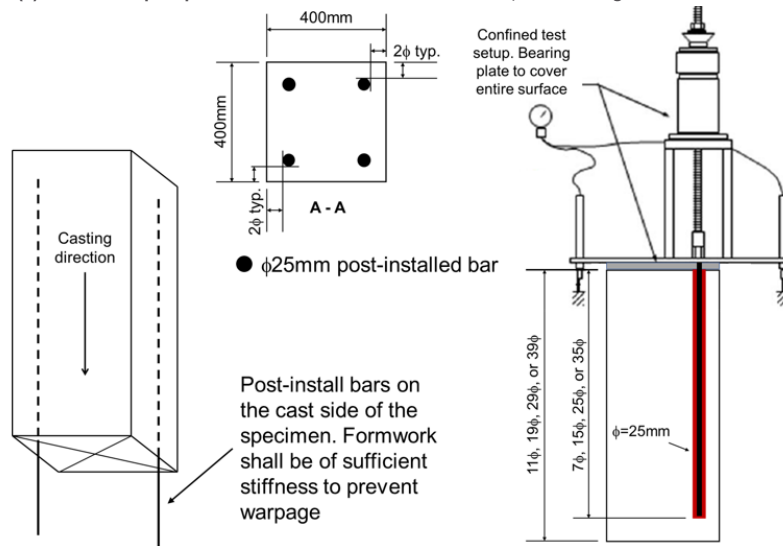
L'EAD 332402 implementa un nuovo tipo di test di fondo trave (*Beam End Test* - BET) che permette di determinare l'andamento della tensione di aderenza (curva *bond-slip*) per ferri di armatura post-installati con ancoranti chimici secondo il Model Code 2010 *fib* [12] (vedere Figura 3(a)). Questo BET simula condizioni di sollecitazione non confinate, con una zona di compressione e una in trazione paragonabile a una tipica trave sollecitata a momento, in cui le barre di armature post-installate si trovano in trazione e con una distanza dal bordo ridotta. Se paragonata con i provini di pull-out secondo l'EAD 330087, (che utilizza un setup **confinato** per impedire la rottura del cono, copriferro elevato su tutti i bordi e un notevole confinamento), questa configurazione consente una valutazione completa del comportamento *bond-splitting* in condizioni al contorno realistiche. Infatti, in questo caso il calcestruzzo **non è confinato**, il copriferro ridotto e non uniforme su bordi diversi e la disposizione dell'armatura trasversale è inclusa.

La Figura 3(a) illustra un provino BET concepito per valutare l'**influenza** di una specifica resina chimica sul comportamento *bond-splitting* del calcestruzzo. Con questo test si ottengono una serie di fattori di calibrazione specifici per il prodotto testato che influiscono la resistenza caratteristica *bond-splitting*. Il secondo provino e setup molto importante è il *bond-splitting* test (vedere Figura 3(b)). Per questo viene utilizzato un provino prismatico non armato per investigare l'influenza della lunghezza di ancoraggio  $l_b$  sulla resistenza di *bond-splitting* e per ricavare il corrispondente parametro dipendente  $l_{b1}$ , che dipende dal prodotto e che a sua volta descrive analiticamente il degrado della tensione di aderenza (*bond-splitting*) in funzione della lunghezza di ancoraggio.

**Figura 3**  
 Provini di prova da EAD 332402 [3]: a) Test fondo trave (BET); b) test di *bond-splitting*



(a) Provino tipico per il test di fondo trave *Beam End Test*, come da Figura 2.1 dell'EAD 332402 [3]



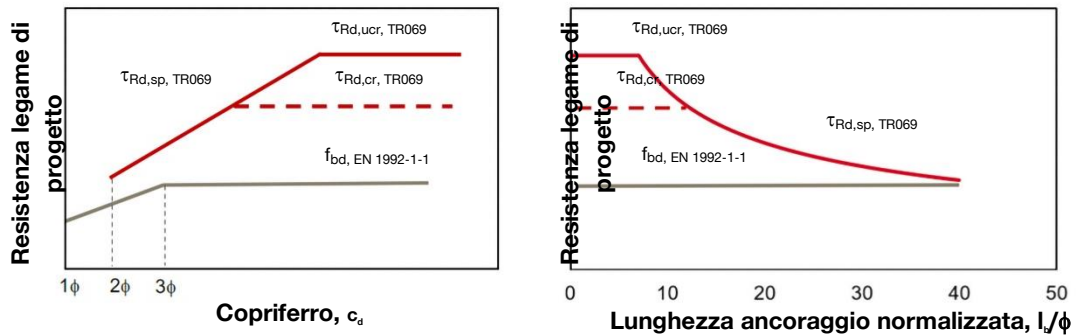
(b) Provino tipico per il test di *bond-splitting*, come da Figura 2.2 dell'EAD 332402 [3]

Il risultato di questo approccio rappresenta un cambiamento nei metodi di progettazione in cui l'uso di un ancorante chimico diverso porta a una resistenza di bond-splitting e ad una lunghezza ancoraggio diverse. Questo approccio ha molte similitudini con la progettazione degli ancoranti chimici per piastre di base. Le Figure 4(a) e (b) mostrano un confronto qualitativo della resistenza bond-splitting quando vengono usati rispettivamente i metodi di progettazione TR069 ed EN 1992-1-1 [2]. Le linee rosse continue e tratteggiate (per calcestruzzo non fessurato e fessurato rispettivamente) mostrate in Figura 4(a) rappresentano la tensione di aderenza in funzione del confinamento da copriferro (minimo copriferro-diametro barra). In pratica mostrano che la tensione di aderenza aumenta finché si raggiunge il limite superiore di sfilamento (*pull-out*). Questo approccio non è possibile con riferimento sia al EAD 330087 e sia per la progettazione secondo la norma EN 1992-1-1. Infatti, come si può notare rappresentato graficamente nella Figura 4(a), la EN 1992-1-1 non consente un aumento della tensione di aderenza oltre il limite di confinamento da copriferro di dimensioni pari a tre volte il diametro della barra

Inoltre, le norme per la progettazione delle strutture in calcestruzzo come EN 1992-1-1 utilizzano un "modello di tensione di aderenza uniforme" sulla lunghezza dell'armatura. Questo modello si basa su una tensione media per tutta la lunghezza della barra che agevola la procedura di progettazione sia delle barre gettate in opera sia, di conseguenza, delle barre post-installate. Tuttavia, è noto che la tensione di

aderenza diminuisce all'aumentare della lunghezza di ancoraggio. La Figura 4(b) rappresenta questo scenario in cui la linea EN 1992-1-1 rappresenta il modello di tensione di aderenza uniforme mentre le linee rosse solide e tratteggiate (rispettivamente per calcestruzzo non fessurato e fessurato) rappresentano la diminuzione non-lineare della tensione di aderenza secondo il TR 069.

**Figura 4**  
 Confronto qualitativo della resistenza *bond-splitting* sistema [13] valutato secondo EAD 332402 [3] ed EOTA TR069 [4] vs un sistema secondo EAD 330087 [1] ed EN 1992-1-1 [2]



(a) Dipendenza della curva di sollecitazione sul legante dalla copertura in calcestruzzo (b) Dipendenza della curva di sollecitazione sul legante dalla lunghezza ancoraggio

## 3.2 Metodo di progettazione TR069

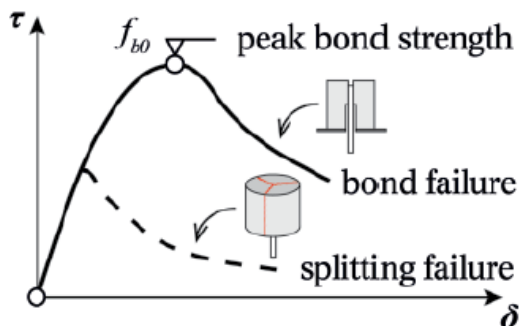
Il comportamento allo stato limite di esercizio (Serviceability Limit State - SLS) e allo stato di limite ultimo (Ultimate Limit State - ULS) delle strutture in calcestruzzo armato è legato al trasferimento delle tensioni tra armatura e calcestruzzo ossia la tensione di aderenza. Tuttavia, l'aderenza non è una proprietà della barra, sono piuttosto la geometria della barra, la sezione del calcestruzzo, le caratteristiche dei materiali, lo stato di sollecitazione e le caratteristiche superficiali dell'acciaio che, combinati insieme, influiscono la tensione di aderenza e di conseguenza il comportamento strutturale degli elementi in calcestruzzo. [14].

Per barre gettate in opera e post-installate, la rottura (cosiddetta *bond-splitting*) si può verificare in uno dei seguenti modi:

1. **Splitting (fessura per spacco):** Questa rottura dipende dalla resistenza a trazione del calcestruzzo, dall'adesione e dall'eventuale attrito sull'interfaccia. Si manifesta con fessure che si sviluppano nei piani che contengono la barra di armatura. Queste fessure da splitting, che tendono a propagarsi lungo tutta la barra, si creano all'aumentare delle tensioni di trazione anulari nel calcestruzzo circostante in special modo nei casi in cui il confinamento è ridotto. Pertanto, aumentando il confinamento, in particolare attraverso l'incremento del copriferro e l'interasse tra le barre, si aumenta la resistenza allo splitting.
2. **Pull-out (Sfilamento):** In presenza di un adeguato confinamento, con l'aumento della sollecitazione il trasferimento delle tensioni fa affidamento in misura crescente alle nervature della barra che esercitano una pressione (localizzata) nel calcestruzzo. Lo sfilamento avviene proprio per tranciamento dei denti di calcestruzzo tra le nervature quando le tensioni superano la resistenza a taglio del dente. Ossia quando la tensione di aderenza (*bond*) è superata.

**Figura 5**  
 Bond-slip laws for pull-out (solid line) and splitting (dashed line) failures; Modello schematico bond-slip del comportamento con riferimento con riferimento allo sfilamento (linea continua) e lo splitting (linea tratteggiata) [15].

La Figura 5 evidenzia come la rottura per splitting avvenga prima dello sfilamento per particolari condizioni al contorno (in genere per confinamento ridotto).



Le disposizioni progettuali di norme come la EN 1992-1-1 [2] limitano in modo specifico l'impatto positivo di un confinamento maggiore. Tuttavia, queste disposizioni si basano sull'assunzione che il calcestruzzo non sarà soggetto ad una trazione diretta, come nel caso di ancoranti (cast-in o post-installati) con sufficiente confinamento garantito dalla resistenza del calcestruzzo, dal copriferro, dall'interasse, dall'armatura trasversale, dal diametro e geometria della barra e dalla pressione perpendicolare all'asse della barra (pressione laterale) oppure grazie a una combinazione di tali fattori. Questo modello confinato garantisce inoltre che non si verifichi la formazione di un cono di calcestruzzo, poiché le barre hanno una profondità sufficiente ad impedire appunto una simile rottura.

Il TR069 [4] rappresenta un cambiamento nell'approccio progettuale, poiché sfrutta la maggiore resistenza degli ancoranti chimici moderni impiegati nella post-installazione di barre d'armatura, consentendo così una valutazione più realistica e dettagliata della resistenza *bond-splitting*. Questo metodo di progettazione consente la determinazione della resistenza delle barre post-installate nel calcestruzzo non confinato, ad es. calcestruzzo soggetto a trazione diretta dovuta al momento flettente. La definizione della resistenza bond-splitting è possibile grazie a una serie di fattori di calibrazione specifici del prodotto che sono riportati nell'ETA valutata secondo EAD 332402, [3]. Molte caratteristiche del TR069 si riconducono alle attuali conoscenze del comportamento dell'aderenza e alla progettazione del calcestruzzo strutturale:

- la gerarchia delle resistenze segue i principi degli stati limite, in cui la lunghezza di ancoraggio si calcola in base alla tipologia di rottura con resistenza minore;
- i dettagli costruttivi devono rispettare le disposizioni della norma EN 1992-1-1;
- deve essere eseguito l'irruvidimento dell'interfaccia di contatto tra calcestruzzo nuovo ed esistente per trasferire la forza di taglio in linea con la sezione 6.2.5 della EN 1992-1-1;
- i requisiti di durabilità devono essere soddisfatti in conformità alla norma EN 1992-1-1: la verifica dell'elemento esistente (con i carichi aggiuntivi introdotti dall'armatura post-installata) conformemente alle disposizioni della norma EN 1992-1-1.

Tuttavia, la natura stessa della valutazione della resina secondo EAD 332402, con il set-up senza confinamento, comporta la presa in considerazione in fase di progetto della possibile rottura del cono di calcestruzzo. Di conseguenza, richiede la valutazione della resistenza analogamente a quanto avviene durante la progettazione degli ancoranti chimici post-installati per piastre di base. In questo caso, il TR069 si basa sulla logica della norma EN 1992-4 [16], ma senza limitazioni nelle configurazioni dei gruppi di ancoraggio, mentendo al contempo l'ipotesi che le barre nel calcestruzzo strutturale non siano soggette a taglio diretto.

### 3.3 Progettazione Statica secondo TR069

La progettazione si basa sul principio della gerarchia delle resistenze, vale a dire che la resistenza più bassa dei singoli modi di rottura è quella governante. Il TR069 [4] richiede tre verifiche di resistenza diverse, uno per ogni diverso modo di rottura, valutate utilizzando i corretti fattori di sicurezza parziali del

materiale riportati nella tabella 3.1 del TR069 ed elencati di seguito nella Tabella 2. Le resistenze di progetto relative ai tre modi di rottura sono:

- resistenza allo **snervamento delle barre** ( $N_{Rd,y}$ ), valutata per la barra con il massimo carico di trazione;
- resistenza **conica del calcestruzzo** ( $N_{Rd,c}$ ), valutata per il gruppo di barre in trazione.
- resistenza per **bond-splitting** ( $N_{Rd,sp}$ ), valutata per la barra con il massimo carico di trazione.

Queste verranno esaminate nel dettaglio nelle successive Sub-Sezioni.

La resistenza di progetto decisiva,  $R_d$  che condiziona la lunghezza ancoraggio, è fornita da:

$$R_d = \min(N_{Rd,y}; N_{Rd,c}; N_{Rd,sp})$$

La verifica allo stato limite ultimo è superata se  $E_d \leq R_d$  dove  $E_d$  è l'azione di progetto.

**Tabella 2**  
Fattori di sicurezza parziali per diversi metodi di rottura, dalla Tabella 3.1 del TR069 [4]

Failure Modes	Partial Factor
Reinforcement Yielding	$\gamma_{Ms} = 1.15$
Concrete cone failure	$\gamma_{Mc} = \gamma_{inst} \cdot \gamma_c$ $\gamma_{inst} \geq 1.0$ see relevant ETA $\gamma_c = 1.5$
Bond failure and Bond-splitting failure	$\gamma_{Mp} = \gamma_{Msp} = \gamma_{Mc}$

### 3.3.1 Resistenza dello snervamento delle barre (sezione 4.2, TR069)

La resistenza allo snervamento delle barre è funzione del diametro dell'armatura e della resistenza allo snervamento dell'acciaio. Questa può essere ottenuta dalla seguente equazione:

$$N_{Rd,y} = \frac{N_{Rk,y}}{\gamma_{Ms}} = \frac{A_s f_{yk}}{\gamma_{Ms}}$$

Dove:

$A_s$  è l'area della sezione trasversale della barra

$f_{yk}$  è la resistenza allo snervamento caratteristica nominale dell'acciaio

$\gamma_{Ms}$  vedere Tabella 2

### 3.3.2 Resistenza conica del calcestruzzo (sezione 4.3, TR069)

Come indicato nelle sezioni precedenti di questo documento, è necessario valutare la resistenza della rottura conica del calcestruzzo, perché il calcestruzzo sarà soggetto a trazione diretta. La valutazione della resistenza è simile a quella che la norma EN 1992-4 [16] indica per gli ancoranti chimici nel caso di piastra di base:

$$N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$$

con:

$\gamma_{Mc}$  Vedere Tabella 2 di questo documento.

$$N_{Rk,c} = (k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot l_b^{1.5}) \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{M,N}$$

dove:

$k_1$  è pari a 7.7 nel caso di calcestruzzo fessurato oppure a 11.0 rispettivamente per calcestruzzo non fessurato

$f_{ck}$  è la resistenza caratteristica (cilindrica) del calcestruzzo

$l_b$  è la lunghezza di ancoraggio della barra

$A_{c,N}/A_{c,N}^0$  è il fattore dell'effetto geometrico degli interassi tra le barre della distanza dal bordo

$\psi_{s,N}$  è il fattore che considera l'interferenza dello stato tensionale con il bordo ed è pari a :

$$= 0.7 + 0.3 \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1.0$$

$\psi_{re,N}$  è il fattore che considera l'effetto dell'armatura superficiale densa nel calcestruzzo esistente quando l'ancoraggio è  $l_b$ , è inferiore a 100 mm. Viene valutato come:

$$= 0.5 + \frac{l_b}{200} \leq 1$$

$\psi_{ec,N}$  è il fattore che considera l'effetto dell'eccentricità della sollecitazione di trazione risultante di un gruppo di ferri di armatura post-installati. Questo viene calcolato con la seguente formula:

$$= \frac{1}{1 + 2e_N/s_{cr,N}} \leq 1$$

$\psi_{M,N}$  è il fattore che considera l'effetto positivo della forza di compressione dovuta a eventuale momento applicato, con o senza forza assiale. È espresso nell'equazione riportata di seguito:

$$= 2 - \frac{z}{1.5l_b} \geq 1, \text{ in cui } z, \text{ rappresenta il braccio di leva. In assenza di prove sperimentali}$$

$\psi_{M,N}$  deve essere considerato pari a 1,0 quando la distanza dal bordo è inferiore a pari a 1,5 volte la lunghezza di ancoraggio (ad es. casi con distanze ridotte dal bordo) [17].

### 3.3.3 Resistenza per *bond-splitting* (sezione 4.4, TR069)

La resistenza di progetto per *bond-splitting*,  $N_{Rd,sp}$ , si basa sulla formula analitica del *fib* Model Code 2010 [12] ed è funzione di una serie di parametri, come spiegato di seguito:

$$N_{Rd,sp} = \frac{\tau_{Rk,sp} \cdot l_b \cdot \phi \cdot \pi}{\gamma_{Mp}}$$

$$\tau_{Rk,sp} = \eta_1 \cdot A_k \cdot \left(\frac{f_{ck}}{25}\right)^{sp1} \cdot \left(\frac{25}{\phi}\right)^{sp2} \cdot \left[\left(\frac{c_d}{\phi}\right)^{sp3} \cdot \left(\frac{c_{max}}{c_d}\right)^{sp4} + k_m K_{tr}\right] \cdot \left(\frac{7\phi}{l_b}\right)^{lb1} \cdot \Omega_{p,tr}$$

L'equazione di  $\tau_{Rk,sp}$  fornisce la resistenza *bond-splitting* dell'ancorante chimico che dipende dallo stesso prodotto tenendo in conto dell'influenza della resistenza del calcestruzzo, del diametro della barra, del copriferro minimo e massimo, dell'armatura trasversale, della pressione trasversale (nell'ipotesi di calcestruzzo non fessurato) e della lunghezza di ancoraggio. La resistenza *bond-splitting* è quindi limitata dalla resistenza di sfilamento *pull-out*, è sensibile alle fessure e dipende dalla lunghezza di ancoraggio, come mostrato di seguito:

$$\tau_{Rk,sp} \leq \tau_{Rk,ucr} \cdot \Omega_{cr,03} (or \Omega_{p,tr}) \cdot \psi_{sus} \quad \rightarrow for 7\phi \leq l_b \leq 20\phi$$

$$\tau_{Rk,sp} \leq \tau_{Rk,ucr} \cdot \left(\frac{20\phi}{l_b}\right)^{lb1} \cdot \Omega_{cr,03} (or \Omega_{p,tr}) \cdot \psi_{sus} \quad \rightarrow for l_b \geq 20\phi$$

Nelle equazioni sopra riportate:

$\gamma_{Mc}$  vedere Tabella 2 di questo documento;

$A_k$  è il fattore di adattamento della malta valutato secondo EAD 332402 [3] e pubblicato nell'ETA prodotto pertinente, indica la resistenza base *bond-splitting*;

- $\eta_1$  è il coefficiente (EN 1992-1-1) che considera la qualità della condizione di aderenza e della posizione della barra durante il getto di calcestruzzo ( $\eta_1 = 1$  quando si hanno buone condizioni di aderenza e  $\eta_1 = 0.7$  per tutti gli altri casi). Per le armature post-installate si applicano le stesse regole delle armature gettate in opera;
- $(f_{ck}/25)^{sp1}$  è il termine che considera l'influenza della resistenza del calcestruzzo sulla resistenza bond-splitting del ancorante chimico.  $sp1$  è definito nell'ETA pertinente del prodotto.
- $(25/\phi)^{sp2}$  è il termine che considera l'influenza che ha il diametro della barra sulla resistenza bond-splitting del ancorante chimico.  $sp2$  è definito nell'ETA pertinente del prodotto.
- $(c_d/\phi)^{sp3}$  è il termine che considera l'influenza del copriferro ridotto sulla resistenza *bond-splitting* del ancorante chimico.  $sp3$  è definito nell'ETA pertinente del prodotto. Analogamente alla norma EN 1992-1-1 [2],  $c_d$  è il valor minimo tra il copriferro da bordo più vicino e la metà della distanza libera dalla barra di armatura più vicina. L'ETA stabilisce anche che il copriferro minimo non deve essere inferiore a  $2\phi$  e l'equazione di progettazione stabilisce che nel denominatore si usi  $\phi$  pari a 12 mm nel caso in cui si utilizzano barre di dimensioni inferiori a 12 mm.
- $(c_{max}/c_d)^{sp4}$  è il termine (rapporto tra copriferro massimo ( $c_{max}$ ) e ( $c_d$ )) che considera l'influenza del confinamento dato dal copriferro sulla resistenza bond-splitting dell'ancorante chimico.  $sp4$  è definito nell'ETA pertinente del prodotto.  $c_{max}$  è il valor massimo tra il copriferro dal bordo più lontano e la metà della distanza libera dalla barra di armatura più vicina. Un valore basso del rapporto tra  $c_{max}$  e  $c_d$  indica il posizionamento delle barre in prossimità degli spigoli, dove il confinamento ridotto riduce la resistenza bond-splitting. Sebbene il limite inferiore non possa essere inferiore a 1.0, il TR069 stabilisce il limite superiore di  $c_{max}/c_d$  pari a 3.5
- $k_m K_{tr}$  la combinazione di  $k_m$  e  $K_{tr}$  prende in considerazione l'impatto positivo dell'armatura trasversale sul bond-splitting. Sebbene  $K_{tr}$  (la quantità di armatura trasversale che attraversa una potenziale superficie di splitting) sia limitata a un valore superiore di 0.05 secondo TR069 ed EN 1992-1-1,  $k_m$  può assumere i valori di 0, 6 o 12, a seconda dell'efficacia dell'armatura trasversale. Nella maggior parte dei casi, per esempio il collegamento di una nuova trave a un pilastro esistente, l'armatura trasversale del pilastro di calcestruzzo esistente sarà parallela alle barre longitudinali post-installate della nuova trave; pertanto, non può migliorare la resistenza bond-splitting, di conseguenza, questo termine può essere trascurato nella progettazione di casi come questo.
- $(7\phi/l_b)^{lb1}$  è il termine spiegato nelle sezioni precedenti e dalla Figura 5. La resistenza allo splitting di un ancorante chimico diminuisce all'aumentare della lunghezza di ancoraggio e il fattore di adattamento  $lb1$  (dall'ETA pertinente del prodotto) rappresenta una misura di tale diminuzione per uno specifico prodotto. Praticamente tutte le lunghezze di ancoraggio  $l_b$  supereranno  $7\phi$  come richiesto dai minimi normativi, riportati nella sezione 3.4 di questo documento. Quindi, più è piccolo il fattore  $lb1$  di un ancorante chimico e più si sente l'impatto positivo per ancoraggi profondi ( $l_b \gg 7\phi l_b$ ).
- $(20\phi/l_b)^{lb1}$  analogamente alla riduzione della resistenza allo splitting, anche la resistenza allo sfilamento, pull-out della malta diminuisce in modo non lineare con l'aumento della lunghezza di ancoraggio; tuttavia, questo effetto diventa evidente solo per lunghezze di ancoraggio superiori a  $20\phi$  e in combinazione con copriferro e interassi elevati. Lo stesso fattore  $lb1$  dall'ETA pertinente del prodotto descrive analiticamente tale diminuzione.
- $\psi_{sus}$  è il fattore che tiene conto dell'effetto dei carichi sostenuti nel tempo sulla tensione di aderenza dell'ancorante chimico (comportamento viscoso). Poiché le barre post-installate sono sempre sollecitate a trazione e la componente dei carichi permanenti è di norma significativa, il fattore di carico sostenuto specifico del prodotto ( $\psi_{sus}^0$ ) riduce la

resistenza allo sfilamento. Pertanto, come per ancoranti chimici utilizzati per piastre di base, un fattore di carico sostenuto vicino all'unità è vantaggioso.

$\Omega_{cr,03}$  è il fattore che prende in considerazione l'influenza della fessurazione del calcestruzzo sulla resistenza allo sfilamento. La presenza di fessure parallele alla lunghezza di inghisaggio della barra post-installata riduce la resistenza allo sfilamento e questo fattore, assieme a quello di carico sostenuto, riduce il limite superiore della tensione di aderenza *bond-splitting*. Questo valore è tratto dall'ETA pertinente. Le linee rosse tratteggiate in Figura 4 mostrano schematicamente la riduzione del limite superiore dovuta proprio alla fessurazione. Questa riduzione dipende dal tipo di prodotto e dal diametro della barra.

$\Omega_{p,tr}$  è il fattore che considera l'effetto delle pressioni trasversali nel calcestruzzo per i casi in cui il calcestruzzo non è ancora fessurato o in cui è possibile dimostrare che non si formeranno mai le fessure durante la vita utile struttura. In questi casi una pressione trasversale di compressione contribuisce ad aumentare la resistenza di *bond-splitting*. Mentre una pressione trasversale di trazione lo riduce. La pressione è la media delle tensioni di compressione o di trazione nel calcestruzzo perpendicolare all'asse della barra, su un volume di  $3\phi$  intorno a quest'ultima.

### 3.4 Progettazione Sismica

Anche per azioni sismiche è necessario verificare le stesse modalità di rottura del carico statico, ovvero lo snervamento dell'acciaio, la rottura del cono di calcestruzzo e la rottura per *bond-splitting*. Tuttavia, sulla base dei principi della norma EN 1998-1 [18] per la maggior parte delle applicazioni la resistenza di progetto sismica,  $R_{d,eq}$  corrisponderà allo snervamento dell'acciaio. Pertanto, deve essere soddisfatta la seguente equazione:

$$R_{d,eq} = N_{Rd,y,eq} \leq \min(N_{Rd,c,eq}; N_{Rd,sp,eq})$$

La rottura conica del calcestruzzo  $N_{Rd,c,eq}$  o la rottura per *bond-splitting*  $N_{Rd,sp,eq}$  possono essere accettabili come modalità di rottura decisive. Questo è possibile se si prevede un meccanismo plastico del sistema strutturale duttile a un livello di domanda per cui il collegamento con ferri di armatura post-installati progettato secondo TR069 [4] è ancora elastico.

L'ampiezza della fessura deve essere valutata, sotto azione sismica, poiché può essere significativamente maggiore rispetto a quella che si verifica sotto carico statico. La valutazione dell'ampiezza prevista delle fessure in un giunto di collegamento deve essere eseguita dal progettista. I principi per valutare tale ampiezza sono legati alla deformabilità del collegamento (ad es. classe di duttilità e fattore di struttura), al rapporto tra lunghezza d'ancoraggio e spessore dell'elemento esistente e al livello di tensioni di compressione nell'elemento esistente. TR069 fornisce alcune raccomandazioni per l'ampiezza delle fessure nella tabella 3.6.1, riportate di seguito in . La larghezza delle fessure  $w_k$  influisce sulla resistenza del cono di calcestruzzo poiché agisce su  $\alpha_{eq}$ , sulla resistenza *bond-splitting* e anche sul fattore  $\alpha_{cr,eq}$  come descritto nei capitoli successivi.

Oltre alle disposizioni di EOTA TR069, si applicano requisiti specifici della norma EN 1998-1 per diversi tipi di collegamento (ad es. in termini di dettagli dell'armatura).

Tabella 3  
Raccomandazioni per l'ampiezza delle fessure, dalla tabella 3.6.1 di TR069 [4]

Ductility class according to EN 1998-1	Behaviour factor, $q$ according to EN 1998-1	$l_b / h$ [-]	Assumed crack width, $w_k$ [mm]	Comment
DCL	1,0	All	0,3	Static design applies
DCM	1,0 – 1,5	$\geq 0,8$	0,3	
		$< 0,8$	0,5	
DCM / DCH	1,5 – 3,0	$\geq 0,8$	0,5	
		$< 0,8$	0,8	
DCM / DCH	$> 3,0$	$\geq 0,8$	0,8	
		$< 0,8$	Not covered by this TR	

### 3.4.1 Snervamento (Sezione 5.2, TR069)

La resistenza di progetto sismica è funzione del diametro dell'armatura, della resistenza allo snervamento dell'acciaio e della sovra-resistenza dell'acciaio secondo la seguente equazione:

$$N_{Rd,y,eq} = \gamma_{Rd} \frac{N_{Rk,y}}{\gamma_{Ms}}$$

Dove:

$N_{Rk,y}$  Resistenza statica, calcolata come indicato nella Sezione 3.3.1 di questo documento

$\gamma_{Ms}$  è il coefficiente parziale di sicurezza come da Tabella 2 di questo documento.

$\gamma_{Rd}$  è il fattore che tiene conto di eventuale sovra-resistenza dovuta all'incrudimento dell'acciaio. Il valore di  $\gamma_{Rd}$  deve essere correlato al livello di duttilità per il quale è progettato il collegamento. I valori 1.0 e 1.2, rispettivamente per DCM e DCH, possono essere utilizzati conformemente alle disposizioni della norma EN 1998-1, Cl. 5.6.2.2.

### 3.4.1 Rottura conica del calcestruzzo (Sezione 5.3, TR069)

La resistenza sismica corrispondente alla rottura del cono di calcestruzzo viene calcolata con la seguente formulazione:

$$N_{Rd,c,eq} = \alpha_{eq} \cdot \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$$

Dove:

$\alpha_{eq}$  è un fattore riduttivo funzione dell'ampiezza ipotizzata delle fessure. Questo assume i seguenti valori:

$$\begin{aligned} \alpha_{eq} &= 1 && \text{se } w_k = 0.3 \text{ mm oppure se il calcestruzzo è non fessurato;} \\ \alpha_{eq} &= 0.85 && \text{se } w_k = 0.5 \text{ mm oppure } 0.8 \text{ mm.} \end{aligned}$$

$N_{Rk,c}$  è la resistenza caratteristica del cono di calcestruzzo calcolata come indicato nella Sezione 3.3.2 di questo documento.

$\gamma_{Mc}$  è il coefficiente parziale di sicurezza come da Tabella 2 di questo documento.

### 3.4.1 Bond-splitting (Sezione 5.4, TR069)

La resistenza sismica di progetto per *bond-splitting*  $N_{Rd,sp,eq}$  si ottiene con la stessa formula impiegata per il carico statico (vedere Sezione 3.3.3). Tuttavia, esiste una sensibilità della resina al carico ciclico che è quantificata secondo EAD 332402-00-0601-v02 [6] per la rottura a splitting ( $\alpha_{eq,sp} \leq 1.0$ ) e per lo sfilamento ( $\alpha_{eq,p} \leq 1.0$ ). Questa sensibilità è presa in conto grazie a questi due fattori di riduzione che,

per il caso sismico, sono inclusi nell'equazione di valutazione della tensione di aderenza caratteristica di *bond-splitting*,  $\tau_{Rk,sp,eq}$ .

Inoltre, il fattore che tiene conto dell'ampiezza massima prevista delle fessure  $\Omega_{cr,eq}$ , (con  $w_k = 0.3, 0.5$  o  $0.8$  mm di ampiezza), varia a seconda delle ipotesi e assunzioni del progettista. Tutti gli altri fattori dell'equazione seguente restano inalterati rispetto a quanto ripostato nella Sezione 3.3.3.

$$\tau_{Rk,sp,eq} = \eta_1 \cdot \alpha_{eq,sp} \cdot A_k \cdot \left(\frac{f_{ck}}{25}\right)^{sp1} \cdot \left(\frac{25}{\phi}\right)^{sp2} \cdot \left[\left(\frac{c_d}{\phi}\right)^{sp3} \cdot \left(\frac{c_{max}}{c_d}\right)^{sp4} + k_m K_{tr}\right] \cdot \left(\frac{7\phi}{l_b}\right)^{lb1} \cdot \Omega_{p,tr}$$

$$\leq \tau_{Rk,ucr} \cdot \Omega_{cr,eq} \cdot \alpha_{eq,p} \leq \tau_{Rk,ucr} \cdot \left(\frac{20\phi}{l_b}\right)^{lb1} \cdot \Omega_{cr,eq} \cdot \alpha_{eq,p} \rightarrow \text{for } l_b \geq 20\phi$$

$$\leq \tau_{Rk,ucr} \cdot \left(\frac{20\phi}{l_b}\right)^{lb1} \cdot \Omega_{cr,eq} \cdot \alpha_{eq,p} \rightarrow \text{for } l_b \geq 20\phi$$

Dove:

$\Omega_{cr,eq} = \Omega_{cr,0.3} \circ \Omega_{cr,0.5} \circ \Omega_{cr,0.8}$ , a seconda delle ipotesi progettuali fatte per larghezza della fessura (vedere per i valori consigliati da TR069). I valori si trovano nell'ETA pertinente del prodotto.

$\alpha_{eq,sp}$  e  $\alpha_{eq,p}$  sono rispettivamente i fattori di riduzione sismica per lo splitting e lo sfilamento che impattano la formula della tensione di aderenza bond-splitting. I valori si trovano nell'ETA pertinente del prodotto.

## 4. IL VALORE AGGIUNTO DEGLI ANCORANTI CHIMICI QUALIFICATI

Hilti offre ai progettisti una scelta di due ancoranti chimici ad alte prestazioni, la **HY 200R V3** e la nuova **RE 500 V4**, entrambe qualificate secondo EAD 332402 [3], [5], [6] per l'uso con barre di armatura post-installate in collegamenti di nodi rigidi (resistenti al momento flettente) e progettati secondo TR069 [4]. Entrambe le resine presentano caratteristiche uniche e garantiscono eccellenti prestazioni in diverse condizioni.

- La **HY 200R V3** (ETA-19/0665) è consigliata quando è necessario un tempo d'indurimento più breve a dettato dalle esigenze del cantiere. Dal punto di vista della progettazione secondo TR069, questa resina fornisce elevate performance in condizioni statiche con confinamento ridotto.
- La resina epossidica **RE 500 V4** (ETA-20/0539) prevede tempi d'indurimento più prolungati, ma una performance superlativa in svariate condizioni progettuali. Le prestazioni di quest'ultima resina di Hilti superano quelle della HY 200R V3 in situazioni con confinamento di grandi dimensioni in condizioni statiche. Inoltre, la RE 500 V4 è qualificata anche per carico sismico.

I progettisti devono tenere presente che è difficile fornire un confronto diretto tra prodotti per sapere quale resina sia "sempre meglio" senza una progettazione comparativa. Ciò è dovuto al fatto che i fattori specifici del prodotto utilizzato influiscono sulla tensione di aderenza bond-splitting e di conseguenza anche progettazione. Se invece, in una progettazione la rottura lato acciaio o lato cono di calcestruzzo sono dominanti, allora la scelta della resina è poco rilevante dal punto di vista della progettuale (fermo restando che gli altri requisiti progettuali e di qualifica siano soddisfatti)

Tabella 4 mostra il confronto tra HIT-RE 500 V4 e HIT-HY 200-R V3

**Tabella 4**  
 Confronto tra HIT-RE  
 500 V4 e HIT-HY 200-R  
 V3

Condizioni di utilizzo	HIT-RE 500 V4	HIT-HY 200-R V3
Tipo di connessione	Sovrapposizione di armature o nodi cerniera, Nodi rigidi senza sovrapposizione	Sovrapposizione di armature o nodi cerniera, Nodi rigidi senza sovrapposizione
Carico/Metodo di calcolo/EAD	Statico, Sismico, Fuoco/EN 1992-1-1/ EAD 330087-01-0601 Statico, Sismico/TR 069/ EAD 332402-00-0601-v2	Statico, Sismico, Fuoco/EN 1992-1-1/ EAD 330087-01-0601 Statico/TR 069/ EAD 332402-00-0601-v1
Vita utile	50anni/100anni	50 anni/100 anni
Diametro barra di ancoraggio	8 mm – 40mm	8 mm – 40mm (fino a 40 mm per progettazione secondo EN-1992-1-1)
Diametro barra di ancoraggio	≤ 3.2m	≤ 1 m
Intervallo temperatura di esercizio	-5 °C fino a 40 °C	-10 °C fino a 40 °C
Tempo di lavorabilità	10 min – 2 h	6 min – 3 h
Tempo di indurimento	4 h – 168 h	1 h – 20h
Foro asciutto e umido	Si	Si
Fori riempiti d'acqua e applicazioni immerse	Si (solo progettazione con TR069)	No
Hammer drilled hole	Si	Si
Foro con corona diamantata	Si	Si (14 mm – 28 mm)
Tecnologia Hilti SafeSet con irruviditore	Si	Si
Tecnologia Hilti SafeSet con punta cava e aspirazione Hilti	Si	Si

## 5. SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE E DI ESECUZIONE

### PROFIS Software: pianificazione, progettazione e documentazione in un unico strumento

La progettazione con TR069 [4], a differenza della tradizionale progettazione di ferri di armatura post-installati secondo EN 1992-1-1 [2], è poco adatta ai calcoli manuali. Il dimensionamento inizia ipotizzando una lunghezza di ancoraggio e un particolare prodotto che soddisferanno la resistenza alla rottura conica e bond-splitting. Un calcolo manuale richiede diverse iterazioni per ottenere una soluzione fattibile.

Per una progettazione rapida e ottimizzata, il software Hilti **PROFIS ENGINEERING** consente agli ingegneri di progettare qualsiasi collegamento post-installato in cemento armato, sia esso con vincolo semplice a cerniera, nodo rigido resistente al momento o estensione di elementi esistenti con sovrapposizione delle armature. PROFIS ENGINEERING offre flessibilità ed efficienza, sempre conformemente alle normative e agli standard più recenti (EOTA TR069, EN 1992-1-1 ed EN 1998-1 [18]).

Figura 6  
PROFIS Engineering,  
modulo di progettazione  
per barre di armatura post-  
installate.

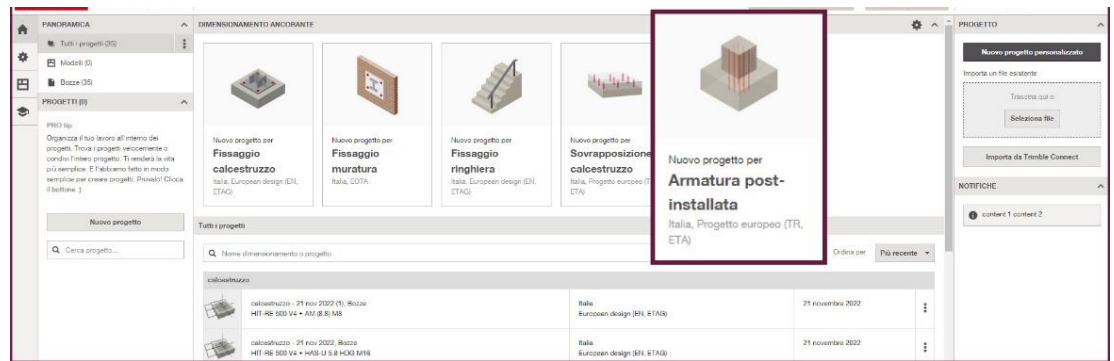


Figura 7  
Un tipico sistema SafeSet  
per collegamenti  
calcestruzzo-calcestruzzo



### SAFESET: sicurezza costante durante l'installazione

La resistenza delle barre di armatura post-installate è influenzata in modo significativo dal processo d'installazione. Un foro pulito è la chiave per garantire un'installazione praticamente senza vuoti durante l'iniezione della resina e per assicurare, che il prodotto installato si comporti come previsto in fase progettuale. L'inserimento del ferro di armatura fino alla lunghezza di ancoraggio necessaria entro il tempo di lavorazione della resina è un altro fattore cruciale nel processo d'installazione.

Per ridurre al minimo gli errori di installazione, gli ancoranti chimici a iniezione HIT-RE 500 V4 e HIT-HY 200-R V3 sono compatibili con il sistema SafeSet. Quando si esegue la perforazione a percussione, il sistema SafeSet Hilti si avvale di punte cave collegate a un aspiratore (ad es. l'aspiratore Hilti VC 40-U o VC 20-U) per eseguire e pulire il foro in una sola operazione, riducendo al minimo il rischio che la polvere influisca negativamente sulla tensione di aderenza tra resina e calcestruzzo. Le punte cave di Hilti utilizzano la stessa tecnologia di perforazione delle punte Hilti TE-CX e Hilti TE-YX, garantendo una performance di perforazione ottimale. Il sistema Hilti SafeSet garantisce performance elevate sia in calcestruzzo asciutto sia in quello bagnato ed elimina. Con il sistema SafeSet, si elimina la fase delicata e laboriosa del processo d'installazione: la pulizia del foro prima di iniettare la resina. Hilti SafeSet aiuta a ridurre al minimo gli errori di installazione, contribuendo a ottenere una struttura che si comporta come previsto in fase progettuale.

## 6. SINTESI

I documenti allo stato dell'arte EAD 332402 [3], [5], [6] e TR069 [4] introducono nel settore un nuovo approccio di valutazione e progettazione per barre post-installate e colmano le lacune presenti nella precedente valutazione EAD 330087 [1] e nelle norme di progettazione EN 1992-1-1 [2]/EN 1998-1 [18]. Progettare barre di armature post-installate per nodi rigidi resistenti al momento, considerando al contempo l'impatto che ha un prodotto specifico sulla resistenza bond-splitting, è un concetto rivoluzionario; poiché adesso non è più possibile considerare paragonabili due ancoranti chimici senza effettuare un calcolo comparativo.

Questo documento ha fornito una breve panoramica del programma di qualifica secondo l'EAD 332402 e un approfondimento sulla verifica progettuale secondo TR069. Il software **PROFIS ENGINEERING** di Hilti consente agli ingegneri di risparmiare tempo, che possono così dedicare varie altre verifiche necessarie oltre al calcolo della lunghezza di ancoraggio. Grazie a Hilti SafeSet, è possibile trasformare la progettazione in un'installazione produttiva in cantiere e senza errori.

## 7. REFERENCE

- [1] EAD 330087-01-0601: Systems for post-installed rebar connections, Brussels: EOTA, 2020.
- [2] EN 1992-1-1:2004: Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels: European Committee for Standardization, 2004.
- [3] EAD 332402-00-0601: Post-installed reinforcing bar (rebar) connections with improved bond-splitting behavior under static loading, Brussels: EOTA, 2019 (Pending for citation in OJEU).
- [4] EOTA TR 069 - "Design method for anchorage of post-installed reinforcing bars (rebars) with improved bond-splitting behavior as compared to EN 1992-1-1", Brussels: EOTA, 2021.
- [5] EOTA EAD 332402-00-0601-v01: Post-installed reinforcing bar (Rebar) connections with improved bond-splitting behaviour under static loading: 100 years working life, Brussels: EOTA, August 2020 (pending for citation in OJEU).
- [6] EAD 332402-00-0601-v02: Post-installed reinforcing bar (rebar) connections with improved bond-splitting behaviour under static loading and seismic action, Brussels: EOTA, 2021 (Pending for citation in OJEU).
- [7] EOTA TR023 Assessment of post-installed rebar connection, Brussels: EOTA, 2006 (superseded by EAD 330087).
- [8] B. Campelo, J. Correia and J. Appl, "The revolution of concrete to concrete connections with post-installed rebar," *Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas*, vol. 3, no. 18, pp. 89-94, March 2022.
- [9] J. Rex, A. Sharma and J. Hofmann, "A new test specimen to investigate the bond behavior," *Structural Concrete*, vol. 20, no. 2, pp. 583-596, 2019.
- [10] V. Mahadik, A. Sharma and J. Hofmann, "Cast-in and post-installed rebar anchorage systems in RC column foundation joints: Experimental investigations," *Engineering Structures*, vol. 238, 2021.
- [11] EAD 330499-01-0601: Bonded fasteners for use in concrete, Brussels: EOTA, 2018.
- [12] fib, Model Code for Concrete Structures 2010, Lausanne: Ernst & Sohn, 2013.
- [13] P. Wörle, J. Appl and G. Genesio, "Bewehrungsanschlüsse für momententragfähige Verbindungen nach EOTA TR 069," *Beton- und Stahlbetonbau*, vol. 115, no. 11, pp. 887-896, 2020.
- [14] J. Cairns, "Bond and anchorage of embedded steel reinforcement in fib Model Code 2010," *Structural concrete*, vol. 16, no. 1, pp. 45-55, 2015.
- [15] F. Brantschen, D. Faria, M. F. Ruiz and A. Muttoni, "Bond behaviour of straight, hooked, U-shaped and headed bars in cracked concrete," *Structural Concrete*, vol. 17, no. 5, pp. 799-810, 2016.
- [16] EN 1992-4 - Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 4: Design of fastenings for use in concrete, Brussels: European Committee for Standardization, 2018.

- 
- [17] S. Catteneo, G. Genesio and R. Piccinin, "Design of anchorages in connections using post-installed reinforcing bars," Naples, 2021.
  - [18] EN 1998-1:2004 - Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Brussels: European Committee for Standardization, 2004.



Hilti Italia S.p.A.  
Piazza Indro Montanelli, 2020099  
Sesto San Giovanni (MI)

[www.facebook.com/Hiltitalia](https://www.facebook.com/Hiltitalia)  
[www.hilti.it](http://www.hilti.it)