



Ancorante cementizio per tirafondi nel calcestruzzo

UNA NUOVA TIPOLOGIA DI ANCORANTI BASATA SULL'IMPIEGO DI UN PARTICOLARE SISTEMA LEGANTE CEMENTIZIO PER RIDURRE IL DIAMETRO DEL FORO ALLA COMUNE PRASSI DELLE MATRICI RESINOSE, OTTENERE PRESTAZIONI IN LINEA CON I MIGLIORI ANCORANTI SUL MERCATO E SEMPLIFICARE DRASTICAMENTE LA MESSA IN OPERA

Marco Arduini*

Andrea Nicoletti**

Il fissaggio di barre filettate e barre ad aderenza migliorata nel calcestruzzo è comunemente eseguito con resine polimeriche di varia natura (epossidiche, vinilestere, poliestere). La tecnica prevede la foratura con trapano o il carotaggio del basamento, l'eventuale irruvidimento con spazzola rotante, la pulizia del foro, il riempimento dello stesso con la matrice organica e l'inserimento del tirafondo.



1. Un inghisaggio di tirafondi con problemi di sfilamento e/o rottura del supporto

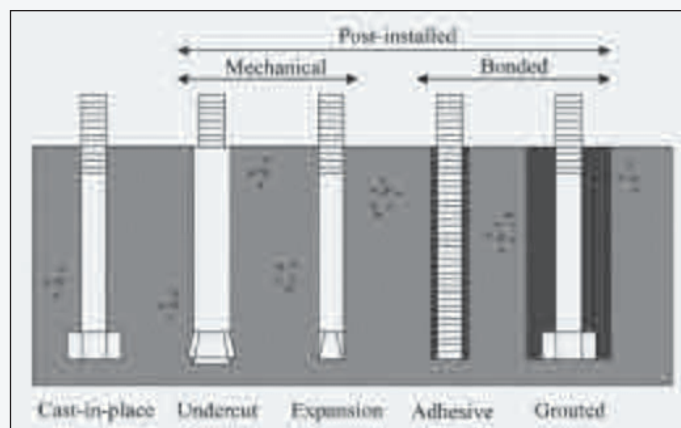
Il diametro del foro φ_f è, normalmente, pari al diametro del tirafondo $\varphi_t + 5$ mm. Le matrici resinose, però, presentano alcune problematiche: sono molto sensibili alla temperatura; infatti, quando essa supera la temperatura di transizione vetrosa, la resina inizia a rammollire perdendo tutte le sue capacità adesive. Invece, quando la temperatura ambiente è inferiore a 5 °C la polimerizzazione si ferma. Sono molto sensibili alla presenza di acqua, per la corretta adesione il supporto deve essere asciutto, il costo del prodotto è abbastanza elevato. In alternativa alle matrici organiche, si possono utilizzare malte cementizie fluide espansive: queste matrici inorganiche estendono il campo termico di impiego rispetto alle matrici summenzionate, induriscono anche in condizioni umide, in presenza di basse temperature e resistono bene anche fino a 500-600 °C. Il difetto di questa tipologia di ancoranti è che il diametro del foro aumenta a circa $\varphi_f = \varphi_t + 20$ mm, con i conseguenti mag-

giori costi di foratura e maggiore impiego di materiale. In questa memoria si presenta una nuova tipologia di ancoranti basata sull'impiego di inerti finissimi e di un particolare sistema legante cementizio espansivo, per ridurre il diametro del foro alla comune prassi delle matrici resinose e semplificare drasticamente la messa in opera, riducendo ulteriormente la temperatura di impiego anche in condizioni di -10 °C conservando tutte le altre proprietà tipiche delle matrici inorganiche. Sono presentate nel seguito prove di sfilamento di tirafondi di diverso diametro e lunghezza di ancoraggio.

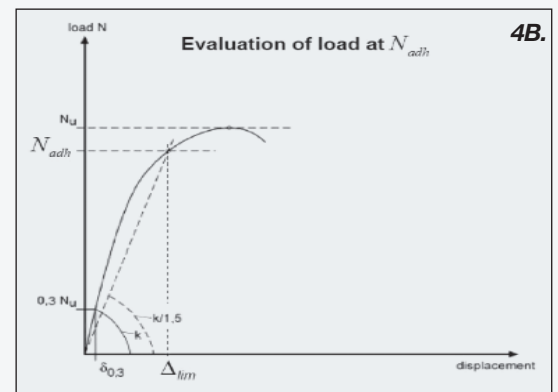
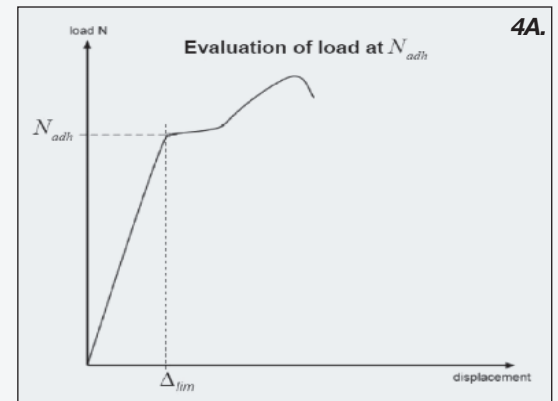
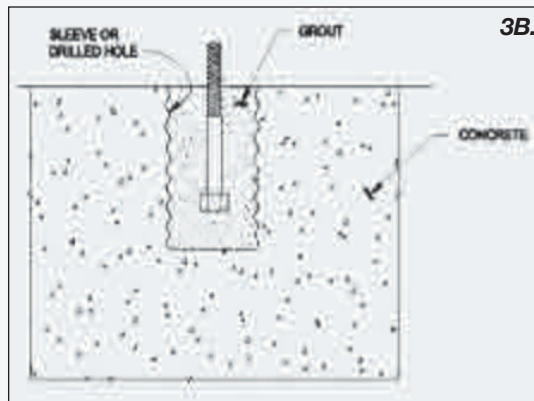
L'inquadramento

La tecnologia di inghisaggio che qui si illustra è classificata nei "Post-Installed Grouted Anchors" in quanto si interviene su un elemento di calcestruzzo già pienamente indurito e sano (cioè privo di lesioni e/o degni) e si utilizza un "ancorante colato", cioè un materiale più o meno adesivo e/o espansivo che accoppia il tirafondo al calcestruzzo in modo pienamente solidale. Le raccomandazioni internazionali che parlano di questi argomenti sono:

- ◆ la ACI 318-08 Appendice D riguarda tirafondi pre-installati;
- ◆ la ACI 355.2 riguarda tirafondi post-installati a secco (cioè tirafondi con attrito meccanico);
- ◆ la ACI 318-11 ha esteso il campo ai tirafondi post-installati e aderenti.

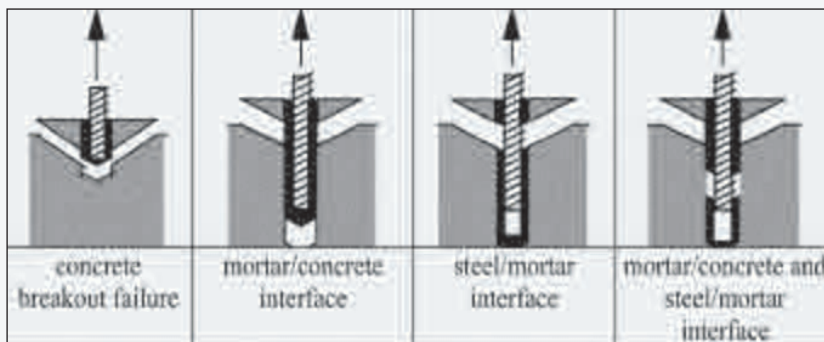


2. I tipi di ancoraggio



4A e 4B. Tipiche risposte tiro-sfilamento e definizione del tiro ultimo secondo AC308 e ETAG001/5

3A e 3B. Un classico inghisaggio di tirafondi con problemi di sfilamento e/o rottura del supporto (3A) e relativo schema (3B)



5. Modi tipici di crisi degli inghisaggi, da Elgehausen 1

Più recentemente, il Comitato ICC ha definito la procedura di certificazione AC308 per la certificazione dei prodotti Post-Installed Adhesive Anchors.

In Europa ha validità la ETAG 001 parte 5, che stabilisce la procedura di prova per ottenere la certificazione degli ancoranti per inghisaggi nel calcestruzzo.

Tantissime strutture basano la loro performance strutturale sull'ancoraggio ed è fondamentale comprendere il termine "pienamente solidale" perché questa definizione è fonte di incomprensioni e produce dimensionamenti degli inghisaggi non sufficienti per garantire la "perfetta adesione".

Il progetto di una connessione deve essere condotto in modo tale da non generare non linearità della risposta al caricamento.

La prova sperimentale tiro-scorrimento, infatti, può presentare differenti forme, le Figure 3A e 3B riportano il possibile caso della presenza iniziale di comportamenti lineari che possono però poi sviluppare vere e proprie curve che possono essere paraboliche discendenti o anche incrudenti.

Secondo la Norma AC308 e la ETAG001/5, il massimo tiro assorbibile dal tirafondo N_{adh} non è il massimo carico ottenuto nella prova bensì quello a cui si verifica una fuoriuscita significativa dalla linearità nella risposta carico-sfilamento. Oltre tale carico anche la progettazione non può andare perché l'adesione perfetta non è più garantita ed il campo di spostamento non è più trascurabile, anzi, modifica in negativo il modo di lavorare del sistema di ancoraggio.

In questo ambito i Produttori sono chiamati a certificare con

test sperimentali la "tenuta" della perfetta aderenza nelle condizioni di lavoro simili a quelle reali del cantiere.

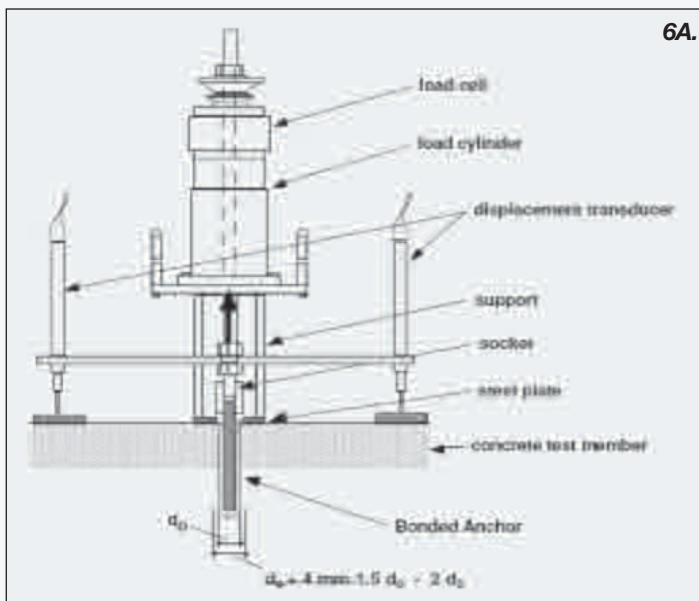
I meccanismi di crisi di questo genere di ancoraggi sono essenzialmente (Figura 5):

- ◆ rottura nel calcestruzzo di supporto con formazione di un "cono" di estrazione ("Cone Pull-Out");
- ◆ sfilamento tra l'ancorante e il tirafondo (Anchor-Grout Interface);
- ◆ sfilamento tra l'ancorante e il calcestruzzo (Grout-Concrete Interface);
- ◆ rottura dell'ancorante (Anchor Fracture);
- ◆ rottura del calcestruzzo (Concrete Fracture);
- ◆ snervamento e rottura per trazione del tirafondo (Tensile Failure);
- ◆ modi misti tra quelli sopra riportati.

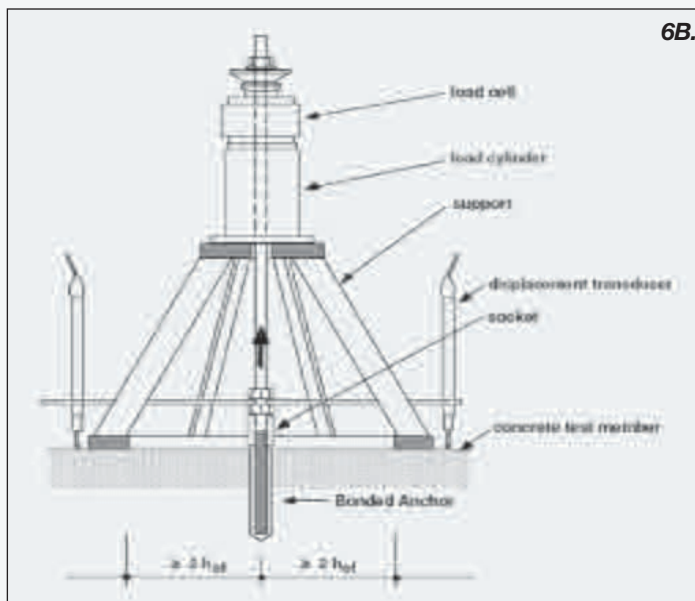
Alcuni meccanismi di crisi, inoltre, possono non manifestarsi o modificarsi in funzione della modalità di carico.

La prova di sfilamento, infatti, può realizzarsi in ambito "confinato" o "non confinato" in funzione della distanza dei contrasti rispetto alla lunghezza dell'ancoraggio. Le Figure 6A e 6B illustrano bene la situazione: se la superficie di contrasto del martinetto si concentra attorno al foro impedirà la formazione del cono di rottura ed il carico di crisi aumenterà rispetto a una prova in ambito non confinato.

Per studiare il comportamento reale degli inghisaggi si è svolto uno specifico programma sperimentale con prove di sfilamento in ambito parzialmente non confinato che verrà presentato successivamente.



6A.



6B.

6A e 6B. La prova di sfilamento confinata (6A) e non confinata (6B) da ETAG 001/5

Il programma sperimentale

Le Figure 7A e 7B mostrano lo schema della prova di sfilamento che si è condotta: si sono realizzati campioni cubici di calcestruzzo di 40x40x40 cm, confezionando una unica miscela e gettandola all'interno di pozzetti prefabbricati identici di calcestruzzo. Dopo 28 giorni di stagionatura si è provveduto alla foratura verticale, alla pulitura del foro con aria compressa, al riempimento del foro con speciale ancorante cementizio espansivo e all'inserimento del tirafondo.

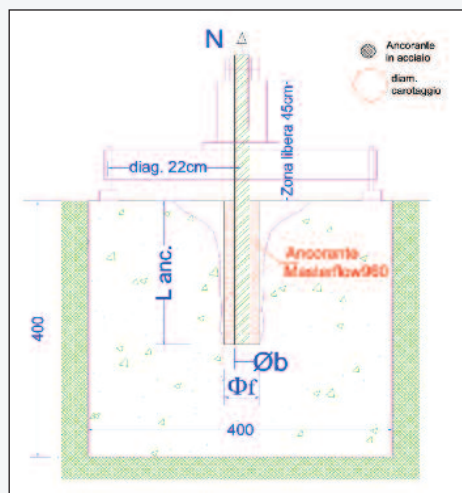
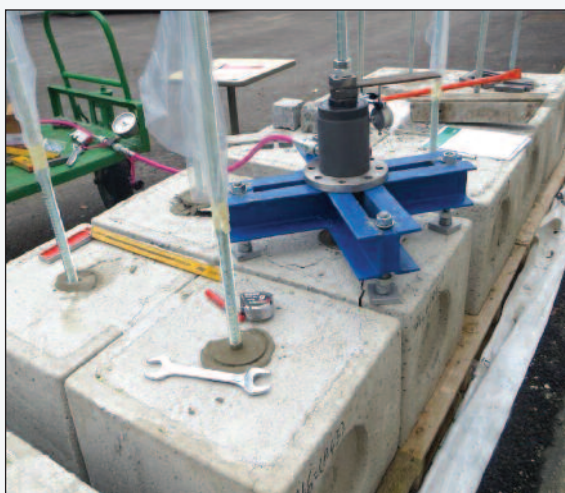
L'ancorante cementizio impiegato è il Masterflow 960, speciale malta cementizia a granulometria finissima, monocomponente, fluida, indicata per l'ancoraggio ad elevata funzione strutturale di barre filettate e barre ad aderenza migliorata, anche su fori di grande diametro ed in presenza di umidità. Permette di effettuare applicazioni fino a temperature di -5 °C ed è utilizzata in sostituzione delle tradizionali resine strutturali negli ancoraggi e presenta le seguenti caratteristiche:

- ◆ MasterFlow 960 risponde ai limiti di accettazione indicati nella Normativa UNI EN 1504 parte 6 ed è marcato CE;
- ◆ l'applicazione del prodotto è semplice e molto meno vincolata alle temperature ambientali, problema che spesso limita l'impiego delle tradizionali resine strutturali in particolare sotto i +10 °C; è infatti possibile l'applicazione fino a -5 °C;
- ◆ elevata compatibilità chimica e "monoliticità" con il supporto (quindi simili moduli elastici, simili coefficienti di dilatazione termica), problema che spesso

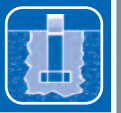
limita l'impiego delle tradizionali resine strutturali e che comunque non garantisce l'ottenimento di un insieme supporto-ancorante di tipo monolitico;

- ◆ elevata durabilità, elevata adesione e in generale elevate prestazioni meccaniche;
- ◆ semplice da usare, privo di odori fastidiosi tipici delle resine tradizionali;
- ◆ rapido sviluppo di resistenze, permette di risparmiare tempo;
- ◆ può essere utilizzato sia in applicazioni con barre ad elevato diametro e con fori di elevato diametro, sia in condizioni di fori con diametri di poco maggiori delle barre da ancorare (si vedano nel seguito le caratteristiche geometriche raccomandate degli inghisaggi);
- ◆ può essere applicato anche su supporti umidi, problema che spesso limita l'impiego delle tradizionali resine strutturali;
- ◆ elevata resistenza alle alte temperature (ad esempio in caso di urto ed incendio) grazie alla natura dell'ancorante.

Le prove sono state condotte con martinetto cavo appoggiato



7A e 7B. Lo schema di prova



su telaio metallico avente quattro piedi di contrasto. Si è preferita questa configurazione a quella delle Figure 6A e 6B per due principali motivi:

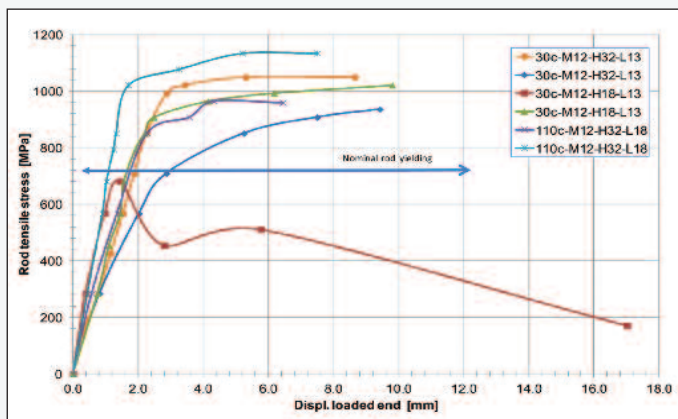
- ◆ per i carichi e le lunghezze di ancoraggio in gioco si sarebbe dovuto costruire un telaio molto ragguardevole difficile da manovrare;
- ◆ nelle situazioni pratiche di cantiere è impossibile ottenere il perfetto contatto dell'anello di contrasto sulla superficie del supporto, è più semplice contrastare con quattro piedini dotati di snodo sferico.

Il dispositivo di contrasto è posto sulle due diagonali del prisma, in questo modo, per quanto riguarda le prove con tirafondi di diametro compreso tra 12 e 24 mm e con lunghezza di ancoraggio tra 8 e 38 cm, si è garantita una distanza minima dai bordi di 20 cm e una distanza di 22 cm circa tra il centro del foro ed i quattro piedini di contrasto del martinetto. Per quanto riguarda i tirafondi di diametro 12 mm con lunghezza di ancoraggio di 6 cm si è ridotta tale distanza a 9 cm.

La prova di tiro è stata eseguita con caricamento statico monofonico. Al momento della prova il calcestruzzo aveva una resistenza cubica media a compressione pari a 35 MPa, mentre l'inerte impiegato ha diametro massimo pari a 25 mm.

Le variabili indagate sono:

- ◆ due tipologie di barre di acciaio: ad aderenza migliorata per c.a. classe B450C (filettate in testa per afferraggio nel martinetto) e filettate di carpenteria conforme alla classe 8.8;
- ◆ diametri differenti della barra da estrarre φ_b ;

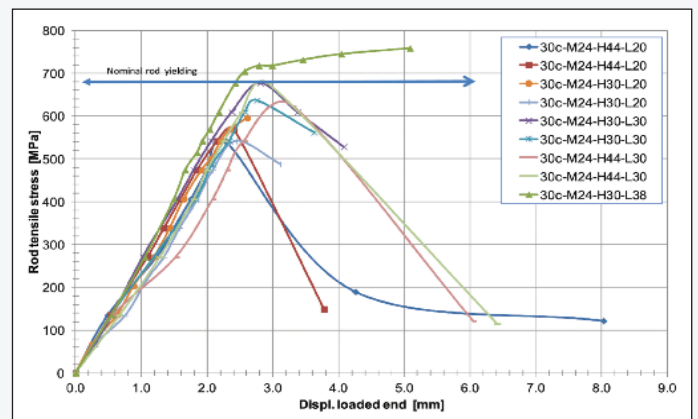


- ◆ diametri differenti di foratura del supporto φ_F ;
- ◆ lunghezze differenti di ancoraggio L_{anc} ;
- ◆ tempo di stagionatura dell'ancorante: si sono svolti test di sfilamento a 7, 30, 110 e 127 gg di stagionatura dell'ancorante cementizio speciale.

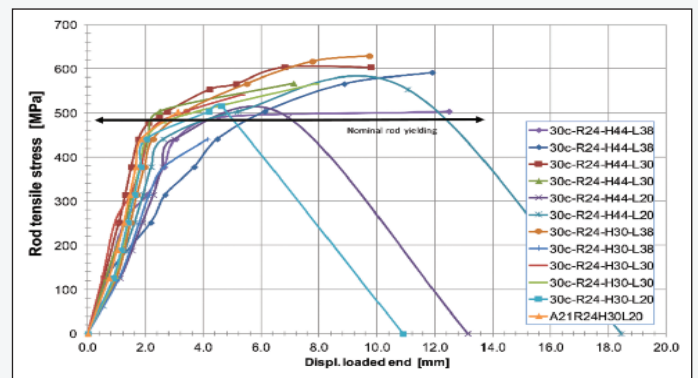
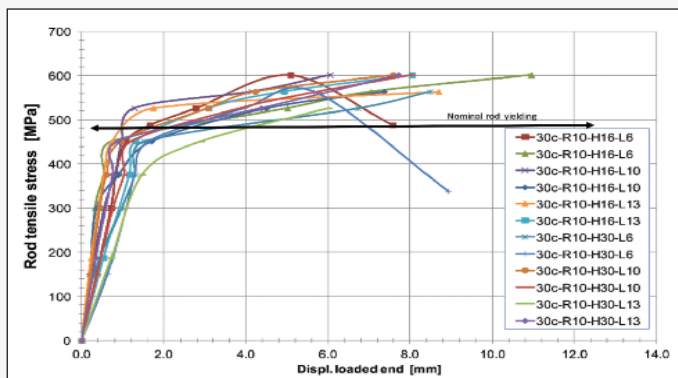
Per ogni tipologia si sono eseguite due prove di pull-out, per un totale di 76 test. I risultati sperimentali acquisiti in termini di carico massimo, carico massimo N_{adh} e modo di crisi.

In conformità con quanto illustrato nelle Figure 4A e 4B, nelle Figure 8A, 8B, 9A e 9B si riportano alcuni diagrammi tensione nel tirafondo-scorrimento dell'estremità caricata relativi ai 30 gg di stagionatura rispettivamente per i diametri M12 e M24 di barre filettate acciaio 8.8 e diametro di 10 e 24 di barre ad aderenza migliorata di acciaio B450C. Come si può osservare dai risultati sperimentali delle Figure 8A e 8B.

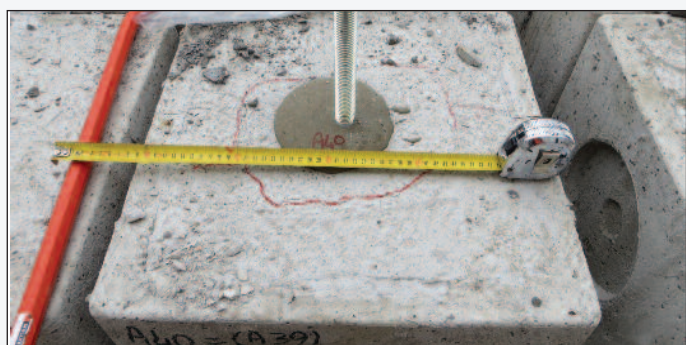
- ◆ le barre filettate M24 con lunghezza di ancoraggio: maggiore e uguale a 30 cm non si sfilano, è necessario applicare un tiro significativamente maggiore del carico di snervamento per riuscire ad ottenere lo spacco del calcestruzzo (crisi CF) e/o la crisi dell'ancorante (crisi AF), il diametro del foro non sembra influire significativamente sulla tenuta;
- ◆ il ragionamento sopra riportato si può estendere anche alle barre filettate M12 con lunghezza di ancoraggio maggiore di 12 cm;
- ◆ le barre per calcestruzzo armato, del diametro di 10 mm con lunghezze di ancoraggio minori di 10 cm, evidenziano la crisi per formazione del cono di calcestruzzo (crisi CPO). Con



8A e 8B. I diagrammi tensione: lo sfilamento della parte caricata per i perni M12 e M24



9A e 9B. I diagrammi tensione: lo sfilamento della parte caricata per le barre f10 e f24 in acciaio B450C



10A, 10B, 10C, 10D e 10E. Alcuni meccanismi di crisi

lunghezze di ancoraggio maggiori il meccanismo di crisi è la rottura a trazione del tirafondo eventualmente associata allo spacco del blocco di supporto;

- ◆ le barre per calcestruzzo armato, del diametro di 24 mm con lunghezze di ancoraggio minori di 30 cm, portano alla crisi per spacco di calcestruzzo (crisi CF). Con lunghezze di ancoraggio maggiori il meccanismo di crisi è la rottura a trazione del tirafondo;
- ◆ le tensioni tangenziali medie di aderenza acciaio-ancorante sono particolarmente elevate: si raggiungono i 21 MPa nel caso delle barre filettate e i 16 MPa nel caso delle barre ad aderenza migliorata.

Alcune immagini dei meccanismi di crisi osservati sono riportati nelle Figure 10A, 10B, 10C, 10D e 10E.

Conclusioni

In questa memoria si sono presentati risultati sperimentali di prove di sfilamento per trazione di tirafondi metallici, di varia forma e resistenza, inghisati in blocchi di calcestruzzo non armato per mezzo di uno speciale ancorante cementizio. Con numerosi campioni saggiati, si è potuto comprendere le influenze di diversi fattori sulla tenuta dell'inghisaggio quali la lunghezza di ancoraggio, il diametro del foro, la posizione del foro e l'età di stagionatura. Le prove di sfilamento sono state condotte mediante martinetto idraulico manuale, interponendo un'attrezzatura di contrasto che permettesse di applicare forze di estrazione in ambito parzialmente non confinato anche nelle situazioni di cantiere. I risultati mostrano un'eccellente risposta dell'ancorante: nella stragrande maggioranza dei casi esaminati si è potuto raggiungere il pieno snervamento del tirafondo prima dei fenomeni di sfilamento (a valori in linea con ancoraggi realizzati con le resine epossidiche), pur garantendo un'applicazione molto più semplice e molto meno influenzata dalle condizioni al contorno, fattori tipicamente molto più limitativi per l'impiego degli ancoraggi resinosi. ■

* *Progettista e Consulente nel settore della riparazione e del rinforzo*

** *Ingegnere Segment Manager Repair, Grouting, Wall Systems, Adhesives and Injections di BASF CC*

RINGRAZIAMENTI

Gli Autori sentitamente ringraziano i Tecnici di BASF Construction Chemical per l'assistenza fornita nella preparazione dei campioni e nella realizzazione dei test.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. ETAG 001/5 - "Guideline for European Technical Approval of Metal Anchors for use in Concrete", ed. '08
- [2]. AC308 - "Acceptance criteria for post-installed adhesive anchors in concrete elements", February 2012.
- [3]. ACI 355.2-01 - "Evaluating the Performance of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete".