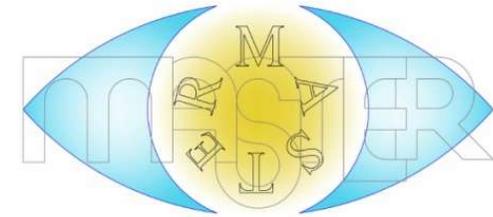


Ordine degli Ingegneri
della Provincia
di Roma



Materials and Structures Testing and Research
www.associazionemaster.org

CONTROLLO DEL CALCESTRUZZO IN OPERA MEDIANTE LA PROVA DI ESTRAZIONE (PULL OUT) STANDARDIZZATA. APPLICAZIONE DEL METODO SONEX

Dott. Stefano Bufarini

Presidente Associazione MASTER

Laboratorio Ufficiale Prove Materiali e Strutture

Università Politecnica delle Marche

stefanobufarini@masteritalia.org - s.bufarini@univpm.it

CONTROLLO DELLA RESISTENZA DEL CALCESTRUZZO IN OPERA (§ 11.2.6 NTC 2018)

Per la modalità di determinazione della resistenza a compressione in situ, misurata con tecniche opportune (distruttive e non distruttive), si potrà fare utile riferimento alle norme:

- UNI EN 12504-1 *“Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Carote - Prelievo, esame e prova di compressione”*.
- UNI EN 12504-2 *“Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Prove non distruttive - Determinazione dell'indice sclerometrico”*.
- **UNI EN 12504-3 *“Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Determinazione della forza di estrazione”***.
- UNI EN 12504-4 *“Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici”*.

La resistenza caratteristica in situ va calcolata secondo quanto previsto nella norma UNI EN 13791:2008 *“Valutazione della resistenza a compressione in sito nelle strutture e nei componenti prefabbricati di calcestruzzo”*, ai §§ 7.3.2 e 7.3.3, considerando l'approccio B se il numero di carote è minore di 15, oppure l'approccio A se il numero di carote è non minore di 15, in accordo alle *Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera* elaborate e pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici nel Settembre 2017.

Per conseguire sperimentalmente lo specifico livello di conoscenza indicato dal Committente, il piano delle indagini deve tener conto di due aspetti fondamentali:
la numerosità e l'invasività delle prove.

L'indagine deve essere caratterizzata da una numerosità della “**popolazione campionaria**” tale da risultare statisticamente rappresentativa e consentire una stima affidabile e ripetibile del parametro cercato.

La rappresentatività del “**campione statistico**” può essere raggiunta non solo mediante l'esecuzione di “**prove distruttive**” (prelievo di campioni cilindrici mediante carotaggio e successiva prova di compressione) ma può anche essere soddisfatta riducendo il numero delle stesse ed integrandole, in maniera adeguata, con “**prove non distruttive**” (PnD).

Le modalità con cui si può operare questa riduzione trovano un riscontro oggettivo, per esempio, nella presenza nella costruzione o nell'infrastruttura strategica di aree omogenee, per la qualità dei materiali o per la serialità della produzione.

Al contempo, l'indagine deve essere tale da limitare il **danno strutturale**, specialmente nel caso di costruzioni con possibili problemi di natura statica, di beni tutelati e di opere strategiche per le quali il normale esercizio non possa essere messo a rischio. Competenze specifiche sono richieste per la corretta valutazione del danno indotto dall'attività sperimentale.

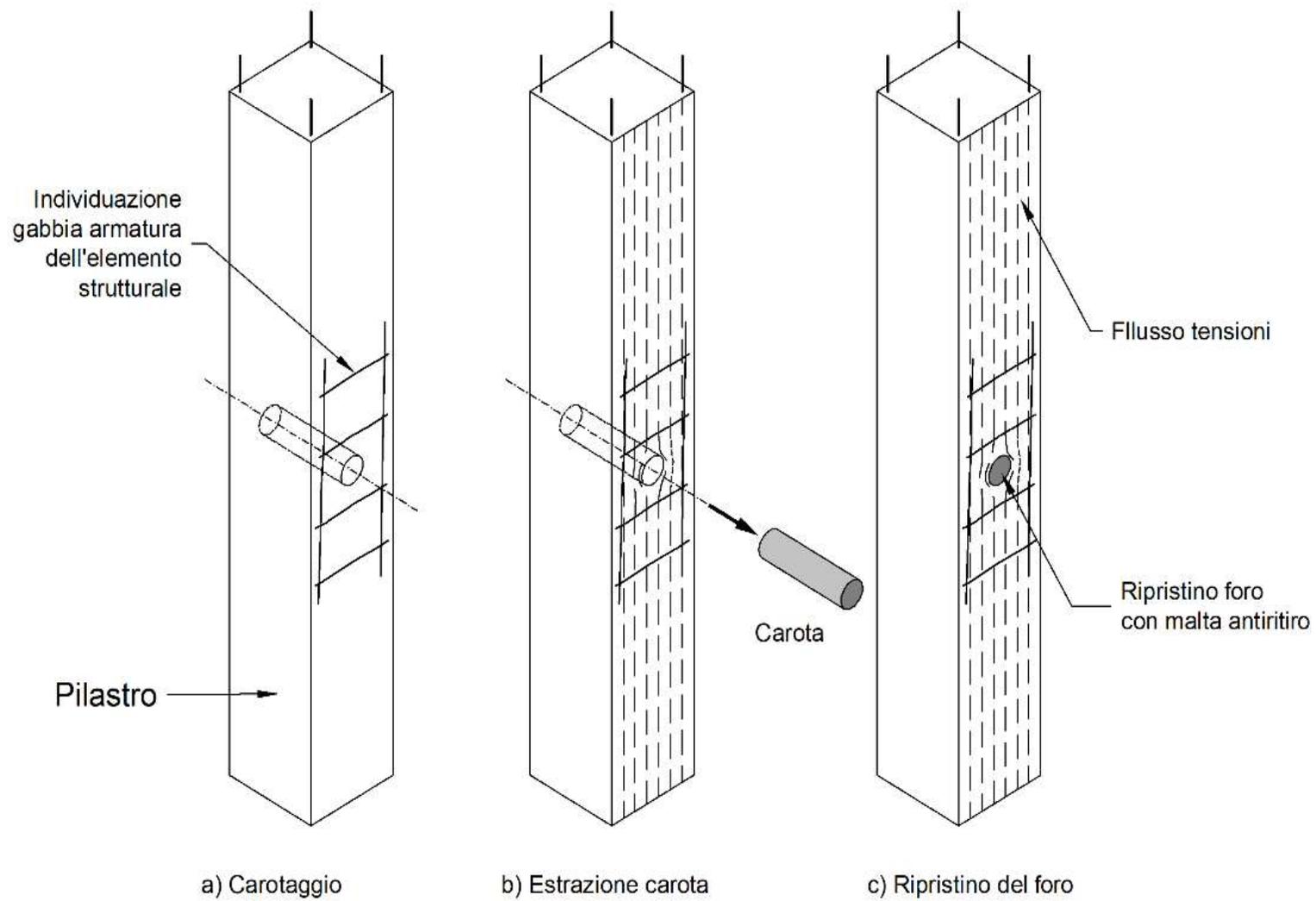
Il prelievo di campioni cilindrici mediante carotaggio determina infatti un indubbio “**danno**” locale, che risulta per certi versi irreversibile nonostante il successivo ripristino strutturale.

Questo consiste nel ripristinare la continuità strutturale mediante il “**ritombamento**” con malta espansiva e a ritiro compensato, e per risultare efficace deve essere eseguito con il rigore che compete all'esecuzione di un intervento locale di riparazione strutturale.

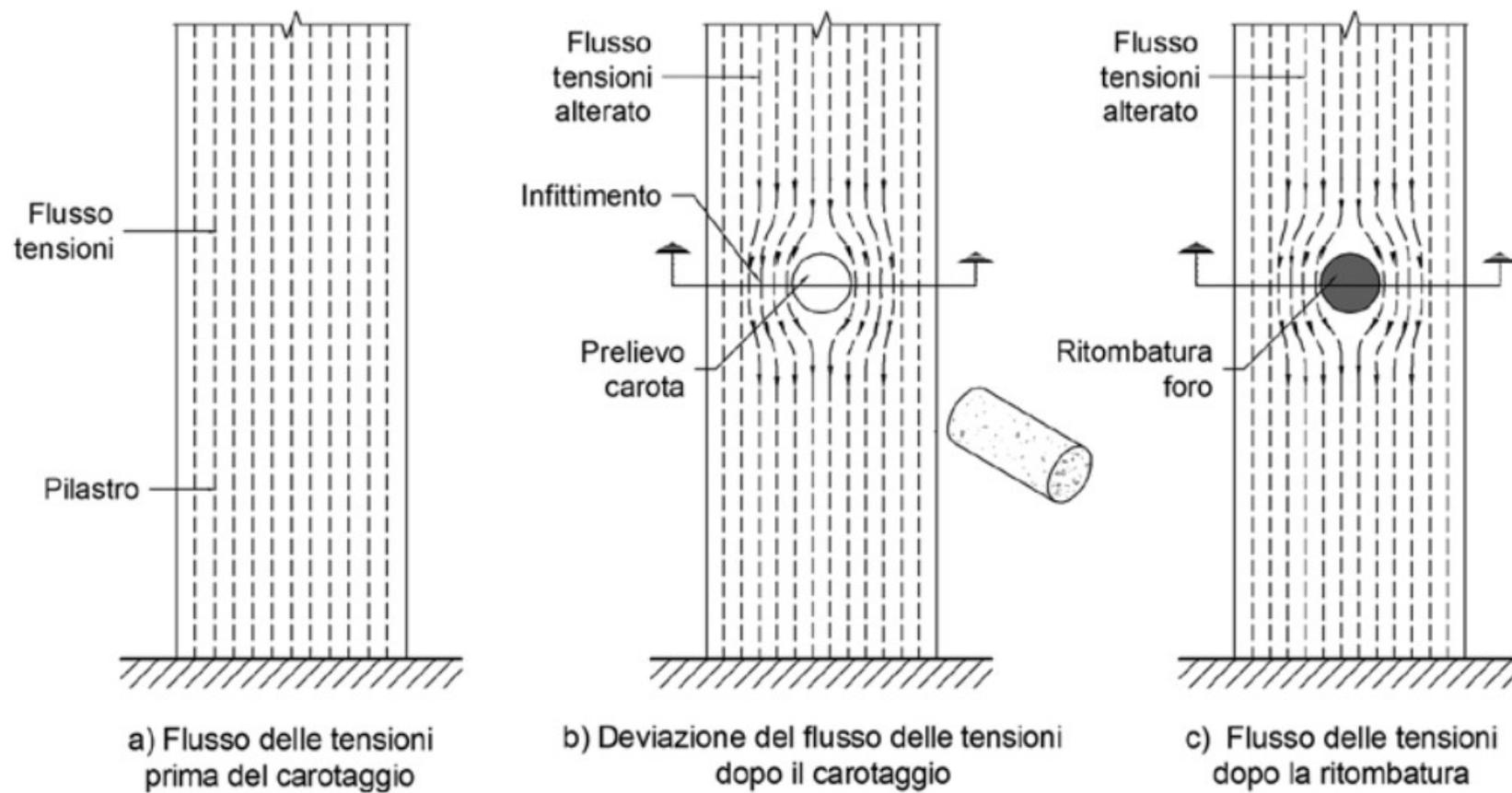
Il progettista delle indagini, nell'ubicare i punti di prelievo e, comunque, sempre prima di autorizzare il carotaggio, deve valutare l'indebolimento che questo può determinare sugli elementi strutturali, e specialmente su pilastri snelli o molto sollecitati, e le conseguenze che può comportare per esempio nel caso di azioni sismiche.

Le sezioni oggetto di prelievo, soprattutto nel caso in cui siano ubicate in zone critiche o quando non siano correttamente ripristinate, possono essere la causa della formazione di cerniere plastiche e del successivo collasso strutturale.

Come conseguenza dell'estrazione le isostatiche delle tensioni si concentrano nelle parti integre della sezione, adiacenti al foro e il "ritombamento" del foro non ripristina localmente lo stato tensionale antecedente il prelievo.



Disegno: Arch. Salvatore Lombardo



Disegno: Arch. Salvatore Lombardo

1. Introduzione

Sarà presentata una procedura innovativa per l'esecuzione standardizzata della prova di estrazione (pull out) con tasselli post-inseriti, finalizzata al controllo della resistenza del calcestruzzo in opera.

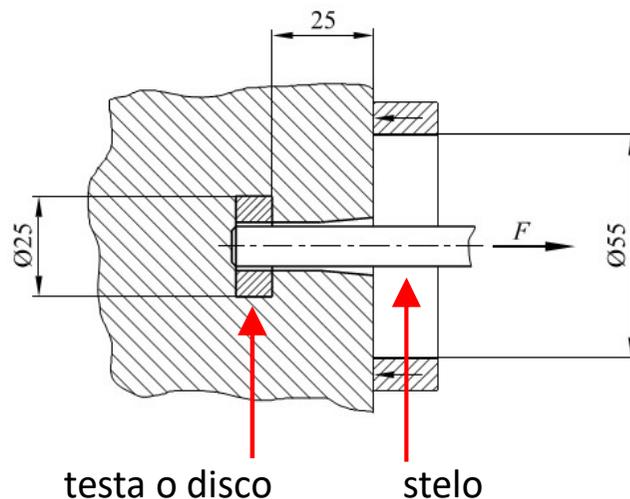
*Con questa nuova procedura, utilizzando un tassello post-inserito perfettamente conforme ai requisiti geometrico-dimensionali prescritti dalla norma, la metodologia di prova non risulta affetta dalle **incertezze (dispersioni)** che possono riguardare l'utilizzo di inserti destinati per altri usi.*

*Ciò rende la prova di estrazione con tasselli post-inseriti, alla pari dei tasselli pre-inglobati, una delle tecniche non distruttive **maggiormente affidabili (in termini di riproducibilità e ripetibilità)**, da affiancare a prove distruttive quali i carotaggi, per la stima della resistenza del calcestruzzo in opera.*

La prova di estrazione (pull-out), conosciuta in Unione Sovietica già nel 1935, è un metodo non distruttivo per il controllo delle qualità meccaniche del calcestruzzo.

La prova viene eseguita inserendo nel calcestruzzo (al momento del getto o in un secondo momento) un apposito inserto (denominato **tassello**), che ha la particolarità di avere due diametri diversi: uno più piccolo (lo **stelo**), che permette di raggiungere la profondità di infissione prescritta dalla norma, ed uno più grande (**testa o disco**) che funge da ancoraggio.

La prova consiste nel misurare la forza necessaria ad estrarre il tassello “**pre-inglobato**” o “**post-inserito**” dal calcestruzzo indurito.

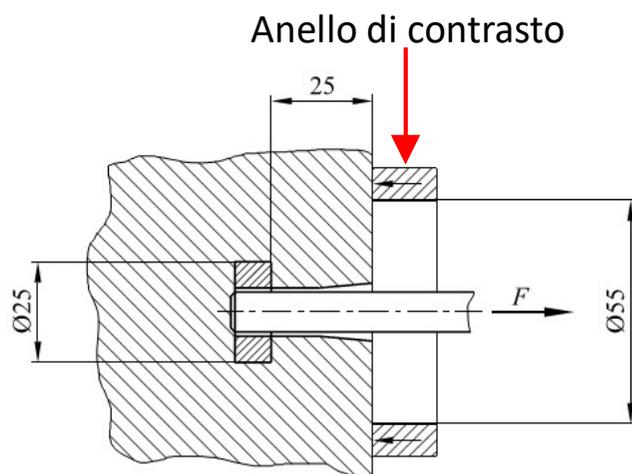


Per far questo, si esercita una forza contro un **anello di contrasto**, concentrico rispetto all'inserto e poggiante sulla superficie del materiale stesso, per mezzo di un martinetto oleodinamico cavo dotato di manometro digitale munito di **detentore di picco**.

Il martinetto è azionato da una pompa idraulica collegata allo stesso da un tubo flessibile ad alta pressione.

Grazie alla particolare forma dell'ancoraggio, oltre ad esso, viene anche estratta una porzione di calcestruzzo di forma **tronco-conica**.

Le linee di frattura del tronco-cono vengono definite dalle dimensioni dell'inserto di acciaio, dalla profondità a cui viene inserito il diametro maggiore e dalle dimensioni dell'anello di contrasto.



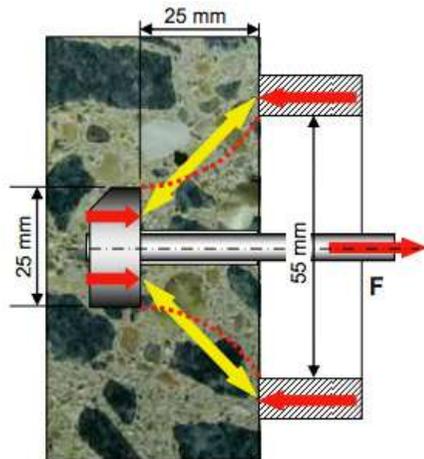
I principali vantaggi che il Pull-Out presenta, derivano dal metodo che è relativamente semplice e dal fatto che le prove possono essere effettuate sul campo in pochi minuti, senza provocare eccessivi danneggiamenti alle strutture.

Tutto ciò rende tale metodologia un ottimo supporto e complemento alle prove per la determinazione della resistenza a compressione del calcestruzzo, come il carotaggio nel caso di strutture esistenti e già in opera, o lo schiacciamento di provini cubici nel caso di strutture di nuova costruzione.



La forza necessaria ad estrarre il tassello consente, attraverso opportune curve di correlazione, di stimare la resistenza meccanica a compressione del calcestruzzo in sito.

Lo svantaggio che la prova di estrazione presenta è che deve essere prevista e predisposta in anticipo prima di eseguire il getto, se si vogliono utilizzare tasselli pre-inglobati (LOK-Test).



Con l'intento di superare questo limite, è stata proposta la tecnica con tasselli post-inseriti (CAPO-Test, "Cut and Pull Out Test"), che consentono la loro installazione in un secondo momento rispetto alla messa in opera della struttura.

Il LOK-Test viene presentato in Danimarca nel 1962 con l'intento di indicare la qualità della superficie del calcestruzzo (strato corticale).

Questa esigenza nasce dal fatto che la superficie del calcestruzzo è una parte molto importante per la durabilità dell'opera, infatti costituisce l'elemento di protezione delle barre di armatura da attacchi dovuti all'umidità, al cloro e all'anidride carbonica.

La profondità di indagine è stata fissata a 25 mm, per essere sicuri che nella zona di rottura non ci sia la presenza di barre di armatura, che potrebbero falsare i risultati di prova.

La sperimentazione condotta in Danimarca ha consentito di fissare il diametro interno del disco dell'anello di contrasto a 55 mm, in modo che la retta di correlazione abbia pendenza di 45 gradi.

Infatti, con tale diametro e geometria ad una forza di estrazione di 1 kN corrisponde approssimativamente una resistenza a compressione uguale a 1 N/mm².

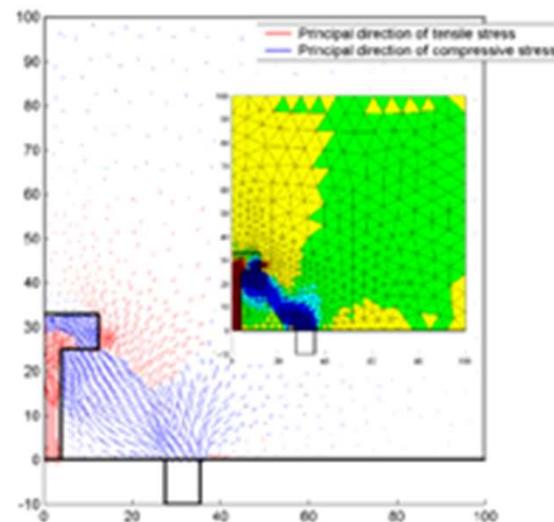
I risultati di molti anni di ricerca dimostrano la stabilità della correlazione fra la forza di estrazione e la resistenza del calcestruzzo, che non risulta essere influenzata da variazioni del tipo di cemento, dall'età e dalla presenza della carbonatazione.

I fattori che influenzano la prova di estrazione sono la presenza di grossi inerti (> 35-40 mm) ed inerti leggeri e friabili.

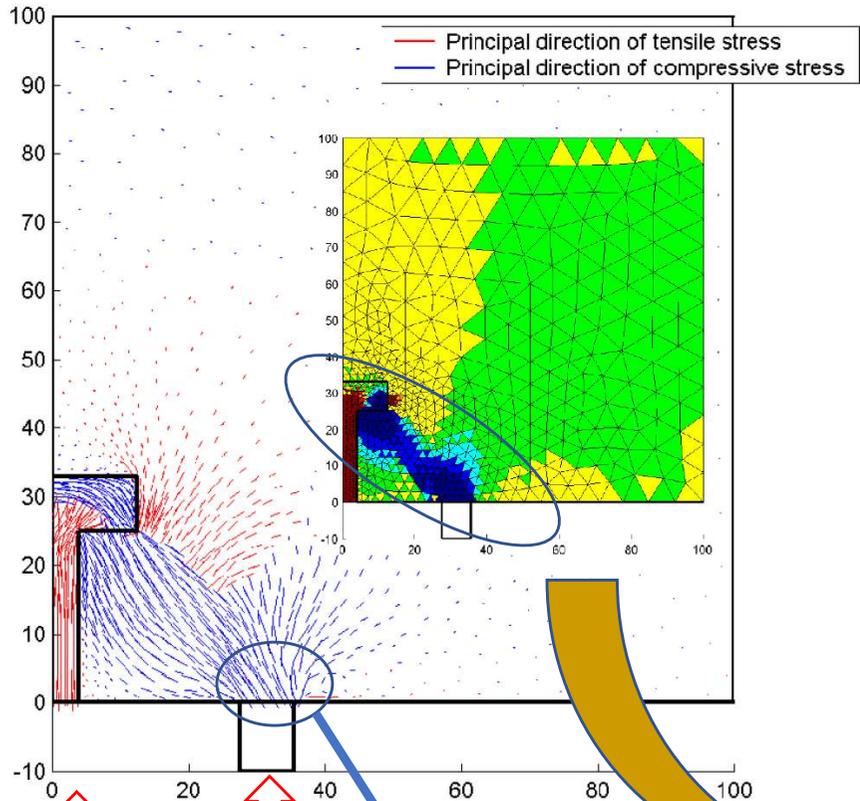
Per valori più piccoli del diametro si ha un drastico aumento della forza di estrazione.

Da uno studio non lineare agli elementi finiti del meccanismo di rottura, si evidenzia la formazione di forze di compressione che vanno dalla testa o disco del tassello inglobato all'anello di contrasto in superficie e quindi la rottura del calcestruzzo è causata dal superamento della sua resistenza a compressione e non a trazione.

Per questo motivo la forza necessaria ad estrarre l'elemento di acciaio è direttamente correlata con la resistenza a compressione del calcestruzzo.



STATICA DEL PULL OUT

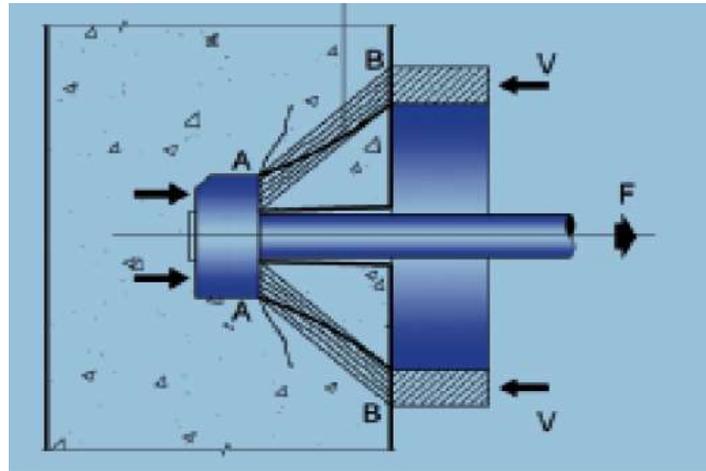


ZONA DI ATRITO ANELLO-CALCESTRUZZO

ANELLO DI CONTRASTO

INSERTO

BIELLE COMPRESSE DI CALCESTRUZZO



Si può concludere che il Pull Out è un metodo efficiente per l'indagine del calcestruzzo ed è in grado di fornire una stima attendibile della resistenza a compressione se, naturalmente, la prova viene correttamente eseguita.

In Danimarca ed in Svezia la prova di estrazione viene già utilizzata come alternativa al carotaggio.

2. La normativa

La norma che disciplina la metodologia di indagine è la UNI EN 12504-3:2005 “Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 3: Determinazione della forza di estrazione” (richiamata nell’Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 al §11.2.6 “Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera”).

La UNI EN 12504-3:2005 sostituisce la UNI 9536:1989+A1:1992 “Calcestruzzo indurito. Determinazione della forza di estrazione con inserti pre-inglobati nel getto”

La UNI 10157:1992 “Calcestruzzo indurito. Determinazione della forza di estrazione mediante inserti post-inseriti ad espansione geometrica e forzata” è stata ritirata senza sostituzione in data 7 novembre 2013.

La norma UNI EN 12504-3 di Luglio 2005 “Prove sul calcestruzzo nelle strutture Parte 3: Determinazione della forza di estrazione” è stata elaborata dal Comitato Tecnico CEN/TC 104 "Calcestruzzo e relativi prodotti", la cui segreteria è affidata al DIN.

Alla norma europea UNI EN 12504-3 deve essere attribuito lo status di norma nazionale. Le norme nazionali in contrasto devono essere ritirate (da settembre 2005).

La presente norma europea è basata sull'ISO/DIS 8046 "Concrete hardened Determination of pull-out strength".

In conformità alle Regole Comuni CEN/CENELEC, gli enti nazionali di normazione dei seguenti Paesi sono tenuti a recepire la presente norma europea: Austria, Belgio, Cipro, **Danimarca**, Estonia, Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Irlanda, Islanda, Italia, Lettonia, Lituania, Lussemburgo, Malta, Norvegia, Paesi Bassi, Polonia, Portogallo, Regno Unito, Repubblica Ceca, Slovacchia, Slovenia, Spagna, **Svezia**, Svizzera e Ungheria.

Scopo e campo di applicazione

La norma specifica il metodo per la determinazione della forza di estrazione di un inserto pre-inglobato nel getto costituito da un disco e uno stelo, oppure di un dispositivo simile inserito successivamente per foratura all'interno del calcestruzzo indurito.

NOTA:

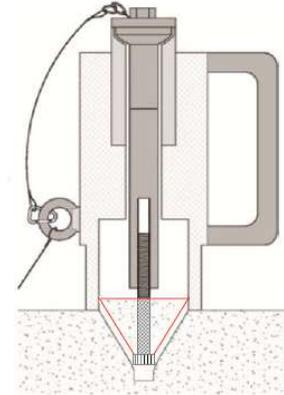
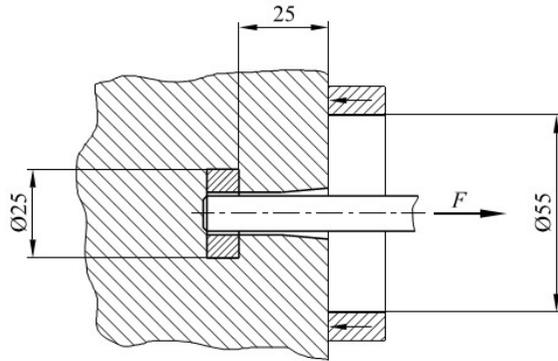
Il metodo di prova non è da intendersi come alternativo per la determinazione della resistenza a compressione del calcestruzzo sebbene, con opportune correlazioni, possa fornire una stima della resistenza in sito.

Principio

Un piccolo disco metallico, dotato di uno stelo centrale su un lato, è inserito nel calcestruzzo in modo che lo stelo rimanga sporgente dalla superficie del calcestruzzo. Si misura la forza necessaria per estrarre il disco dal calcestruzzo.

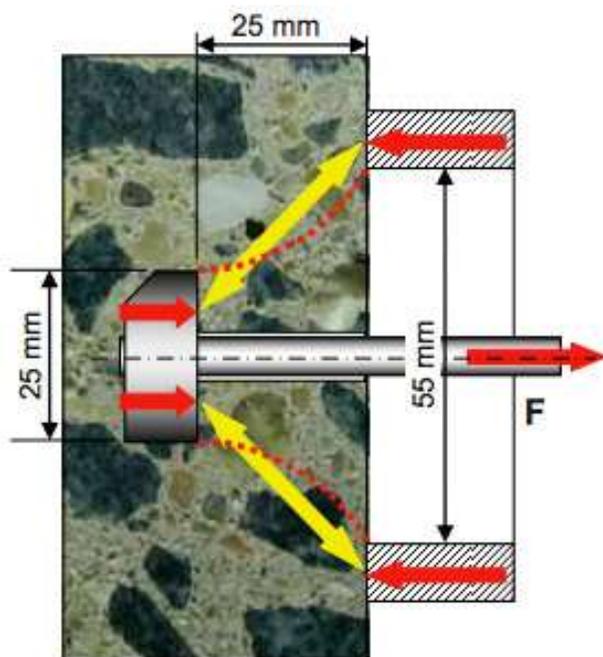
Apparecchiatura

Dispositivo a disco e stelo pre-inglobato nel calcestruzzo:

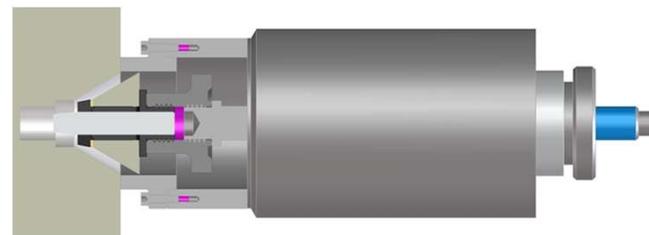
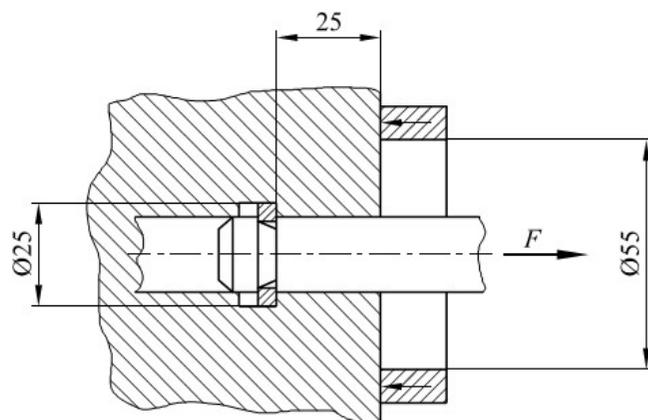


- Il disco deve avere una testa circolare di $25 \pm 0,1$ mm di diametro.
- Lo stelo deve avere diametro non maggiore di 0,6 volte il diametro del disco.
- La lunghezza dello stelo, misurata dalla superficie del calcestruzzo fino alla superficie più vicina del disco, deve essere uguale al diametro del disco.
- I lati dello stelo devono essere lisci e conici, con il diametro più largo nel punto più vicino alla superficie del calcestruzzo, per ridurre al minimo l'attrito durante la prova.
- Il dispositivo può essere rivestito con un agente di distacco per evitare l'aderenza al calcestruzzo e può essere dotato di intagli per evitare la rotazione nel calcestruzzo qualora lo stelo debba essere svitato.

Dispositivo a disco e stelo pre-inglobato nel calcestruzzo



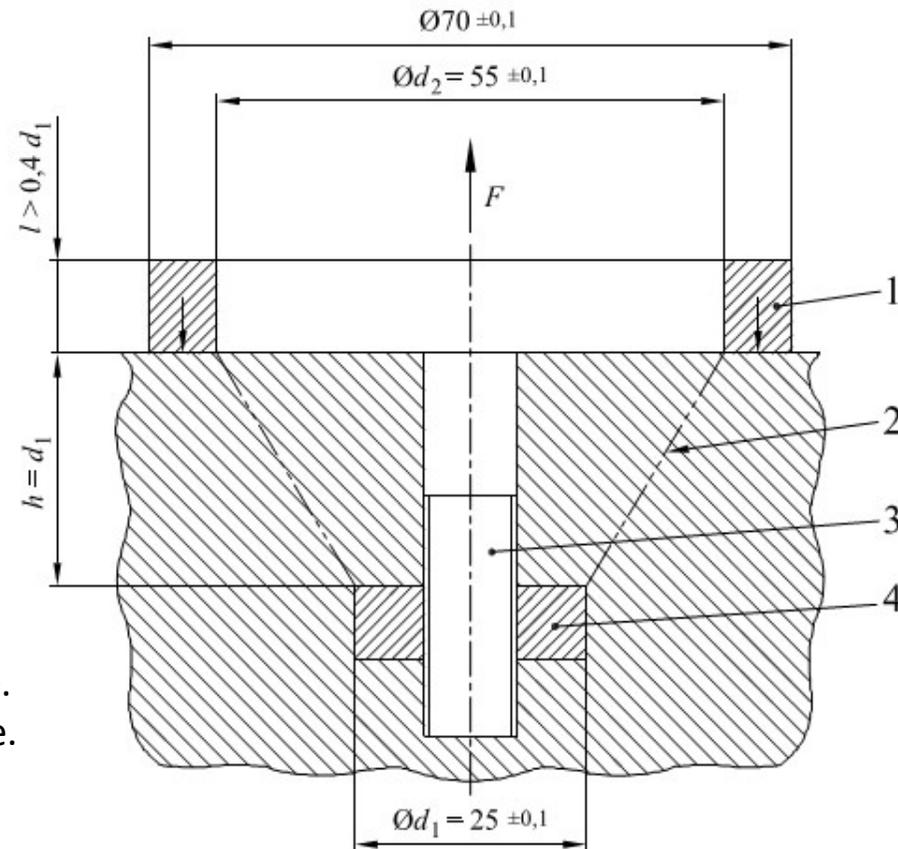
Dispositivo a disco e stelo post-inserito nel calcestruzzo indurito



Sono necessari dispositivi speciali: attrezzatura di perforazione e di alesaggio per inserire il dispositivo all'interno del calcestruzzo indurito.

- Il disco deve avere una testa circolare di $25 \pm 0,1$ mm di diametro (dopo espansione meccanica del disco).
- La lunghezza dello stelo, misurata dalla superficie del calcestruzzo fino alla superficie più vicina del disco, deve essere uguale al diametro del disco.

L'anello portante, collocato sulla superficie del calcestruzzo in modo simmetrico attorno allo stelo sporgente, deve avere un diametro interno di $55 \pm 0,1$ mm e diametro esterno di $70 \pm 0,1$ mm.

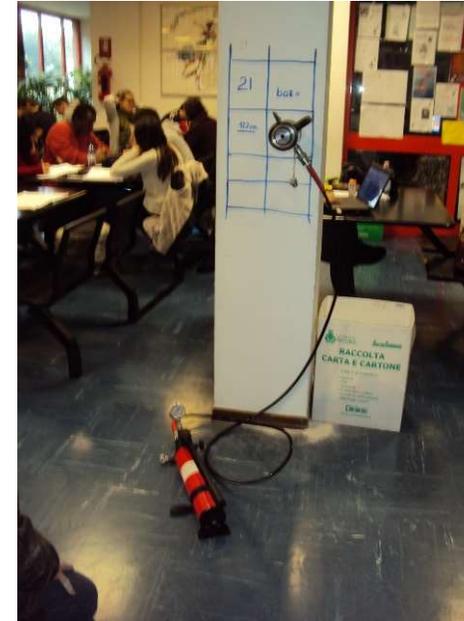


Schema della prova di estrazione:

- 1) Anello portante.
- 2) Frattura conica prevista.
- 3) Stelo dell'inserto per la prova di estrazione.
- 4) Disco dell'inserto per la prova di estrazione.

Dimensioni in millimetri.

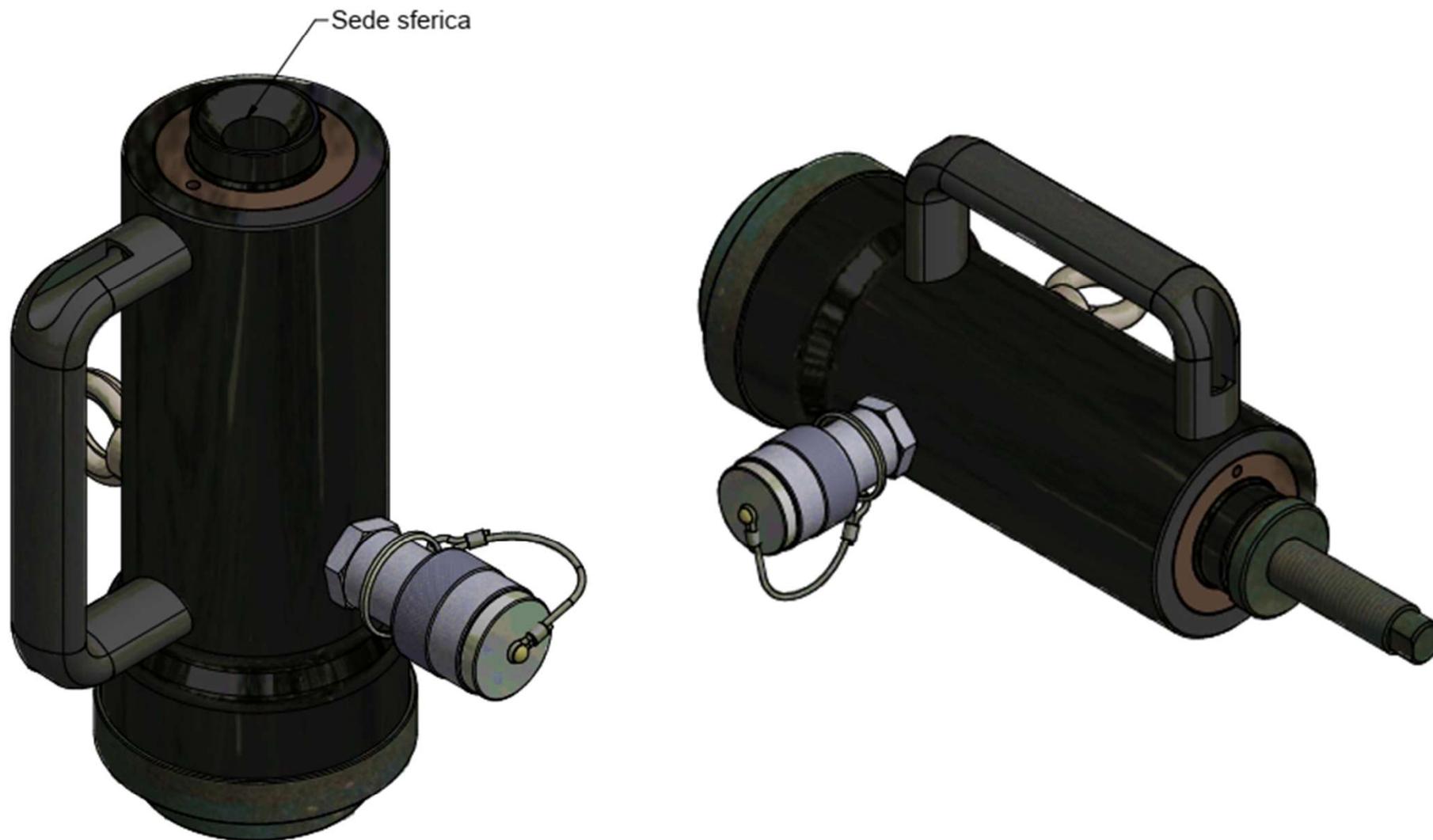
Sistema di carico



Il sistema di carico deve essere in grado di applicare una forza di trazione sull'inserito in modo da trasmettere la reazione sulla superficie del calcestruzzo attraverso l'anello portante.

Il sistema di carico deve garantire che l'anello portante sia concentrico allo stelo e che il carico sia applicato perpendicolarmente al piano dell'inserito.

Il sistema di carico tarato deve includere un indicatore della forza massima applicata con tolleranza di $\pm 2\%$. Il quadrante, la scala o il display deve essere dotato di un dispositivo che registri la forza massima applicata.



Particolare martinetto oleodinamico cavo

Superficie di prova

Posizionamento degli inserti

I centri delle posizioni di prova devono essere distanziati tra di loro di almeno 200 mm ed essere a 100 mm dal bordo del calcestruzzo.

Gli inserti devono essere posizionati in modo che tutte le armature si trovino al di fuori della superficie di rottura conica prevista, ad una distanza pari almeno al diametro della barra di armatura o alla dimensione massima dell'aggregato quale che sia il valore maggiore.

Lo spessore minimo del calcestruzzo da sottoporre a prova deve essere 100 mm.

E' fondamentale eseguire un'accurata indagine magnetometrica (pacometrica) preliminare per individuare le zone interessate dal passaggio delle armature principali e secondarie.



Numero delle prove

Il numero delle prove necessarie per rappresentare una zona o una parte di una struttura dipende da:

- a) variabilità prevista del calcestruzzo;
- b) scopo della prova e accuratezza richiesta.

NOTA: Si dovrebbe evitare di mediare i risultati individuali qualora le differenze tra di loro riflettano scarti effettivi di resistenza dovuti a fattori quali variazioni delle condizioni di maturazione o lotti diversi di calcestruzzo.

Installazione degli inserti pre-inglobati nel calcestruzzo

Fissare in modo sicuro i dispositivi destinati ad essere inglobati nel calcestruzzo alla cassaforma o al dispositivo di posizionamento, nelle posizioni di prova richieste.

NOTA

È importante assicurarsi che gli steli siano disconnessi dalla cassaforma prima della loro rimozione.

Installazione degli inserti post-inseriti nel calcestruzzo

Forare, alesare i fori e montare i dispositivi seguendo le istruzioni del produttore.

Carico

Non effettuare la prova su calcestruzzo gelato.

Applicare il carico ed aumentarlo ad una velocità costante di $(0,5 \pm 0,2)$ kN/s senza shock, fino al verificarsi della frattura.

Registrare la forza massima rilevata.

Espressione dei risultati

La forza massima rilevata deve essere espressa al più vicino 0,05 kN.

Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve includere:

- a) identificazione inequivocabile della(e) posizione/area(e) di prova;
- b) descrizione del calcestruzzo sottoposto a prova (se pertinente);
- c) dettagli di maturazione del calcestruzzo (se pertinenti e conosciuti);
- d) età del calcestruzzo al momento della prova (se conosciuta);
- e) condizione di umidità superficiale del calcestruzzo al momento della prova;
- f) data ed ora di esecuzione della/e prova/e;
- g) tipo di inserto impiegato (pre-inglobato o post-inserito);
- h) se il calcestruzzo è stato caricato fino alla rottura o sottoposto ad un carico di prova;
- i) singola(e) misurazione(i) di forza registrata(e);
- j) eventuali scostamenti dal metodo di prova normalizzato;
- k) dichiarazione della persona tecnicamente responsabile che attesti che la prova è stata effettuata in conformità alla norma UNI EN 12504-3:2005, eccetto per quanto riferito al punto j).

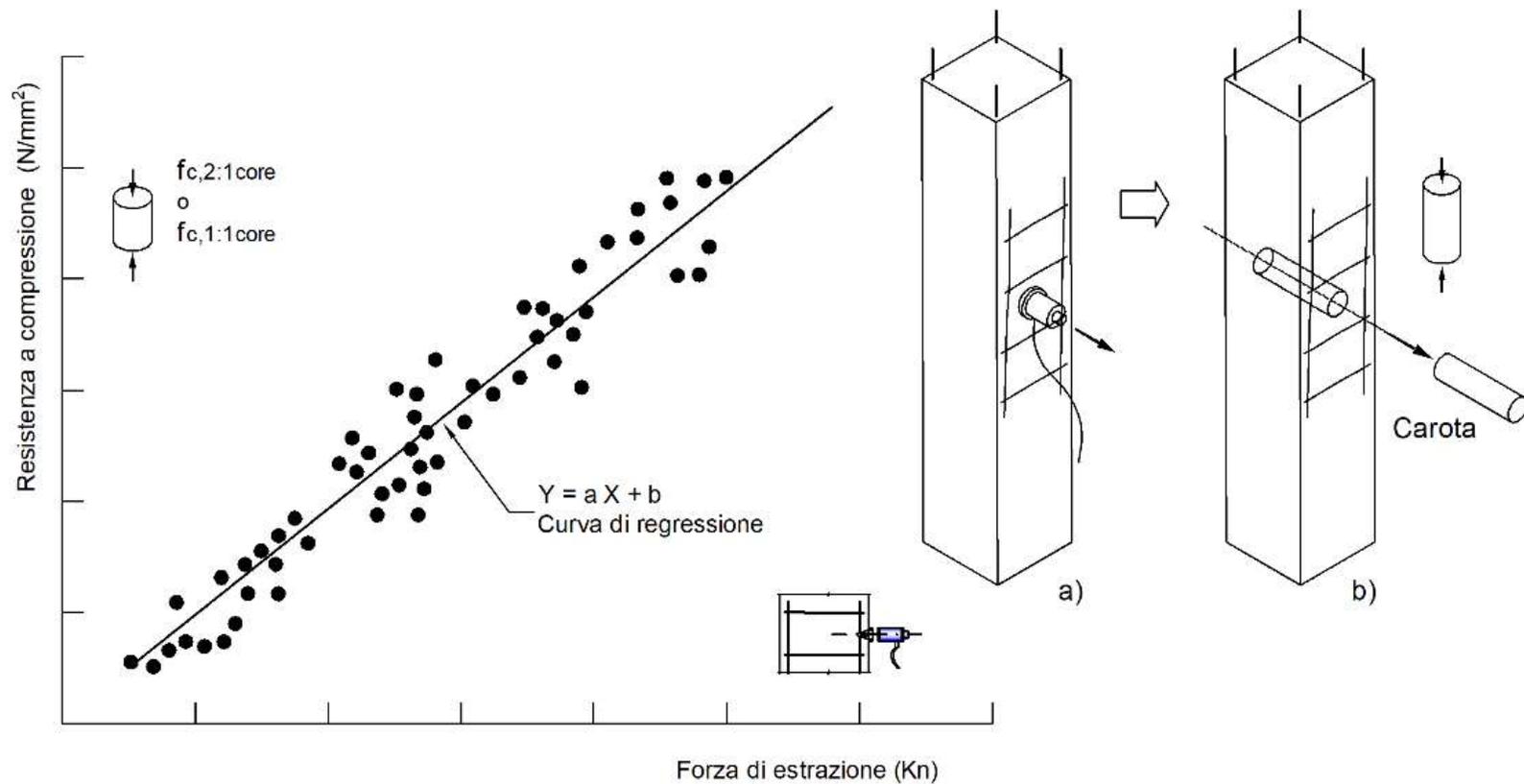
Relazione tra la forza di estrazione e la resistenza in sito del calcestruzzo

La forza di estrazione può essere empiricamente correlata alla resistenza in sito del calcestruzzo, determinata in conformità alla UNI EN 12504-1:2019 “Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 1: Carote - Prelievo, esame e prova di compressione”.

La correlazione tra la resistenza e la forza di estrazione per l'apparecchiatura da utilizzare dovrebbe essere stabilita sperimentalmente.

La norma definisce: **“è stato dimostrato che per un determinato tipo di apparecchiatura, la relazione tra la forza di estrazione e la resistenza a compressione è simile per una vasta gamma di calcestruzzi e che è possibile utilizzare una correlazione generale di sufficiente accuratezza”**.

Una maggior accuratezza, tuttavia, può essere raggiunta se si ottiene una correlazione specifica per il tipo di calcestruzzo in esame.



Esempio di curva di correlazione lineare ottenuta correlando le prove di estrazione e le prove di compressione eseguite su provini cilindrici estratti mediante carotaggio

Le “Linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera” pubblicate nel settembre 2017 dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale al “§4.4 Stima delle caratteristiche meccaniche in opera in base alle forza di estrazione (pull out)” indicano: **“In relazione a tale metodo di indagine, è opportuno rilevare l’importanza che assume il tipo di tassello utilizzato, che dovrà essere ad espansione geometrica controllata. In tal senso è sconsigliato l’impiego di tasselli destinati ad altri usi”**.



Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Servizio Tecnico Centrale

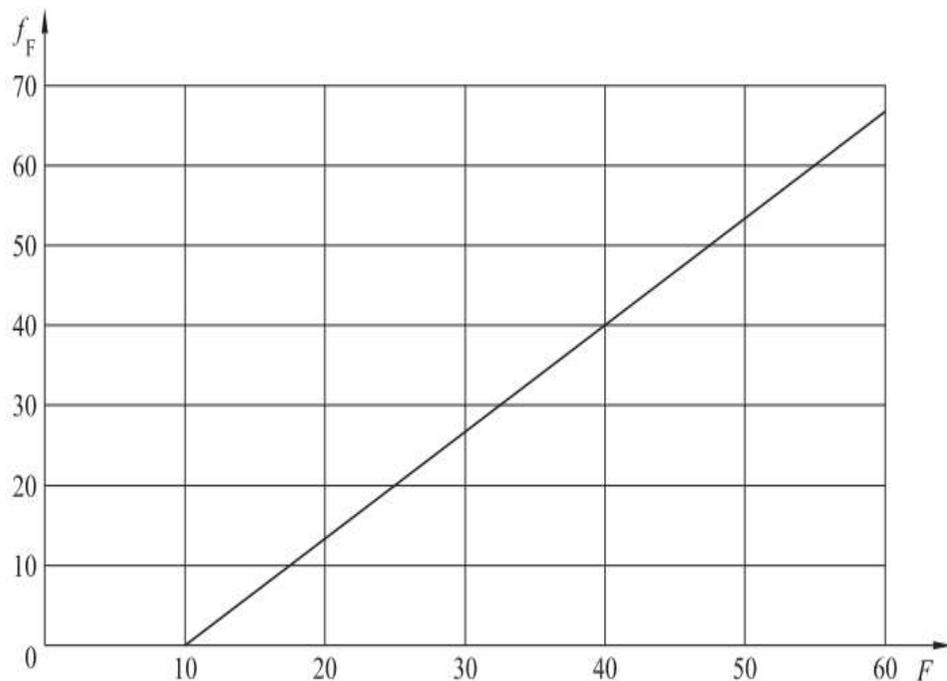
LINEE GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO IN OPERA

Settembre 2017

4 – METODI INDIRECTI PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL CALCESTRUZZO IN OPERA

4.4 Stima delle caratteristiche meccaniche in opera in base alla forza di estrazione (pull-out)

In relazione a tale metodo di indagine, è opportuno rilevare l'importanza che assume il tipo di tassello utilizzato, che dovrà essere ad espansione geometrica controllata. In tal senso è sconsigliato l'impiego di tasselli destinati ad altri usi.



$$f_F = 1,33 \times (F - 10) \quad 10 \leq F \leq 60$$

f_F = valore iniziale della resistenza in sito ottenuto dalla curva di base di un risultato di prova della forza di estrazione F (kN).

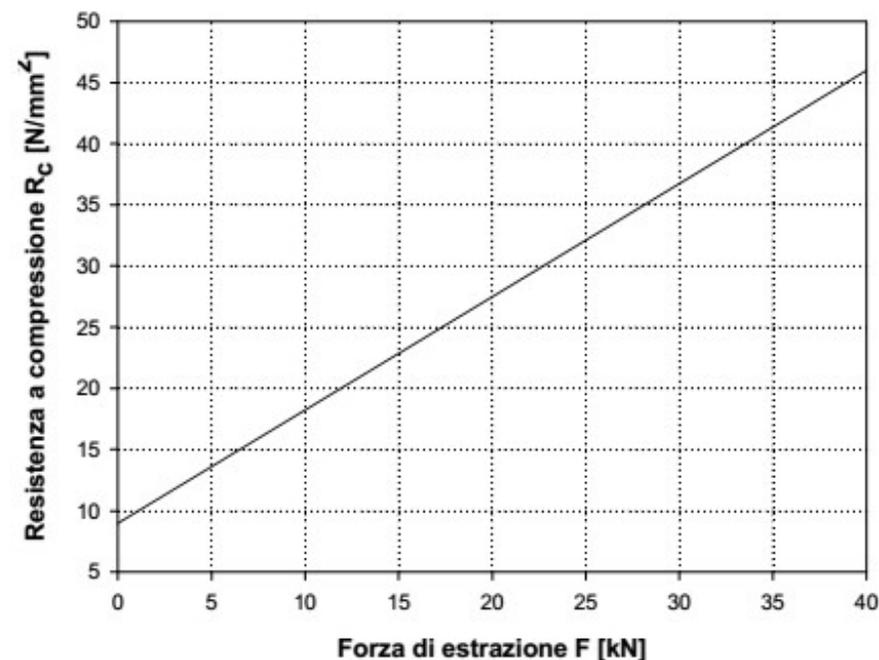


Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Servizio Tecnico Centrale

LINEE GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO IN OPERA

Settembre 2017



Andamento esemplificativo della correlazione tra forza di estrazione F e resistenza a compressione R_C .

2. Criticità della prova

La prova di estrazione è una tecnica:

- non distruttiva;
- molto affidabile (**se eseguita correttamente**);
- poco invasiva, di facile e rapida esecuzione;
- poco incidente sugli stati tensionali della struttura;
- che consente di allargare l'indagine su un numero elevato di elementi strutturali.

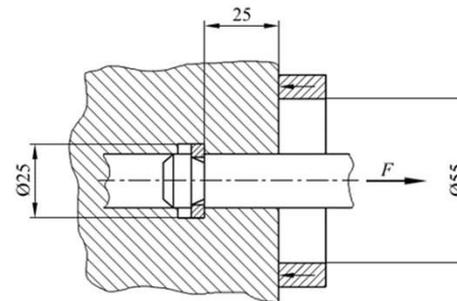
La prova è stata fino al 2016 poco utilizzata, nonostante la bassa invasività, a causa di problematiche inerenti l'apparecchiatura.

In particolare, la tipologia di inserti **post-inseriti** sinora impiegati non rispondevano alle caratteristiche tecniche richieste dalla norma, determinando:

- un'espansione non controllata;
- la presenza di tensioni tangenziali sulla superficie laterale dello stelo del tassello;
- dei meccanismi di rottura differenti ed in alcuni casi anomali;

Ne scaturisce:

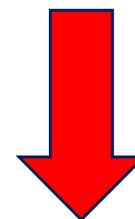
- un'elevata variabilità dei risultati;
- una scarsa attendibilità della prova.



Altra problematica, da non sottovalutare, è la non perpendicolarità del foro: qualora questa caratteristica venga a mancare, si creano coni di rottura asimmetrici e quindi una non uniforme distribuzione delle tensioni.

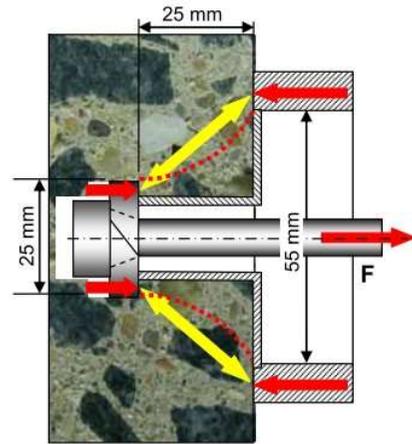


Tasselli non conformi alla norma:
espansione geometrica non controllata,
presenza di tensioni tangenziali sulla
superficie laterale del tassello



Meccanismi di rottura differenti ed anomali

E' presente sul mercato da circa 25 anni una tipologia di tassello "post-inserito" la cui testa, inserita nello stelo, viene realizzata mediante un anello metallico espandibile meccanicamente.





Il kit prevedeva già un sistema di perforazione mediante microcarota perpendicolare alla superficie di prova e di alesaggio parallelo alla superficie di prova.

La criticità di questa tipologia di inserto “post-inserito” sta nell’espansione geometrica non controllata dell’anello metallico che funge da testa del tassello, che comporta un’elevata variabilità dei risultati.

3. Scopo della ricerca (Gara-Bufarini-D'Aria, anno 2015/16)

Rendere conforme alla norma e standardizzare la prova di estrazione (pull out).

4. Fasi della ricerca

La ricerca si è espletata nelle seguenti fasi:

Fase A)

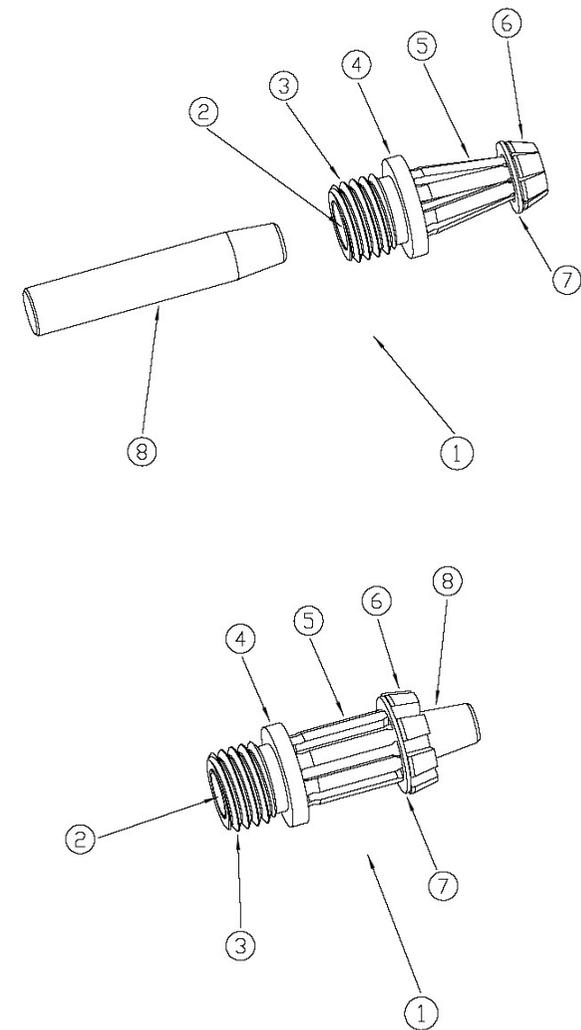
Progettazione e prototipazione di un innovativo tassello **post-inserito** ad espansione controllata, in grado di rispettare le caratteristiche geometrico-dimensionali riportate dalla norma vigente.

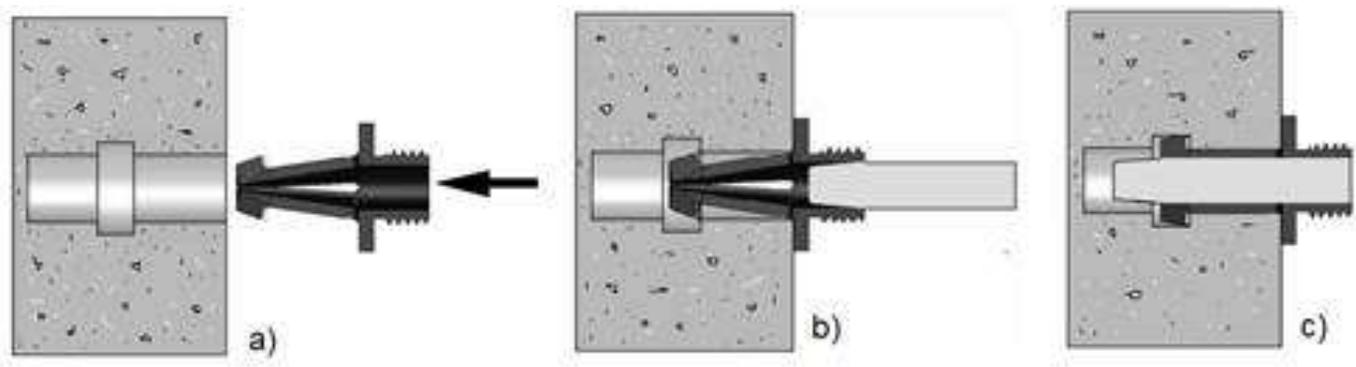
Fase B)

Estesa sperimentazione, sia su campioni in calcestruzzo armato che su strutture esistenti, al fine di verificare l'efficacia dell'inserito (tassello post-inserito) ed il raggiungimento della standardizzazione della procedura.

L'innovativo tassello è costituito da un elemento di acciaio ① internamente cavo ② formato dai seguenti componenti:

- base dotata di filettatura esterna ③;
- allargamento esterno ④ che funge da fermo corsa nella fase di inserimento del tassello nel calcestruzzo;
- parte terminale internamente cava, collegata all'allargamento esterno e destinata ad essere inserita nel calcestruzzo; detta parte presenta intagli longitudinali che definiscono nervature ⑤ terminanti con allargamenti esterni convergenti nella sommità ⑥, ottenuti mediante aumento della sezione delle nervature e formanti una porzione troncoconica nella testa del tassello;
- rondella ⑦ aperta di acciaio, disposta subito prima della porzione troncoconica per ripartire uniformemente il carico;
- capsula ⑧ con punta troncoconica arrotondata adibita per il suo inserimento entro il tassello.





Gli intagli longitudinali, gli allargamenti formanti la porzione troncoconica e la rondella aperta, sono destinati ad essere azionati, espandendosi, dall'inserimento della capsula all'interno del tassello.

L'inserto post-inserito progettato ha un'espansione geometrica controllata, elimina la presenza di tensioni tangenziali sulla superficie laterale e produce meccanismi di rottura «**radial-simmetrici**»

Il kit prevede un sistema di perforazione perpendicolare alla superficie di prova e di alesaggio parallelo alla superficie di prova.



La preparazione del lavoro sperimentale su calcestruzzi di nuova generazione ha avuto inizio con il getto di cinque pilastri in c.a. (dimensioni 30×30×100 cm), ciascuno confezionato con una resistenza caratteristica a compressione differente (R_{ck} 10, 20, 30, 40 e 45 N/mm²).

Al momento del getto di ogni pilastro sono stati confezionati, sempre per ciascuna delle cinque differenti miscele di calcestruzzo, sei provini cubici di 15 cm di lato da sottoporre a prova a compressione per la determinazione della relativa resistenza caratteristica (controllo di accettazione tipo A secondo NTC).

Armature metalliche dei pilastri



Fasi di getto dei pilastri



Configurazione finale dei pilastri



Confezionamento dei provini cubici mediante casseforme calibrate in materiale plastico



Stagionatura dei provini cubici per 28 giorni in acqua (Temp. 20 ± 2 °C) per mezzo di una vasca termostatica



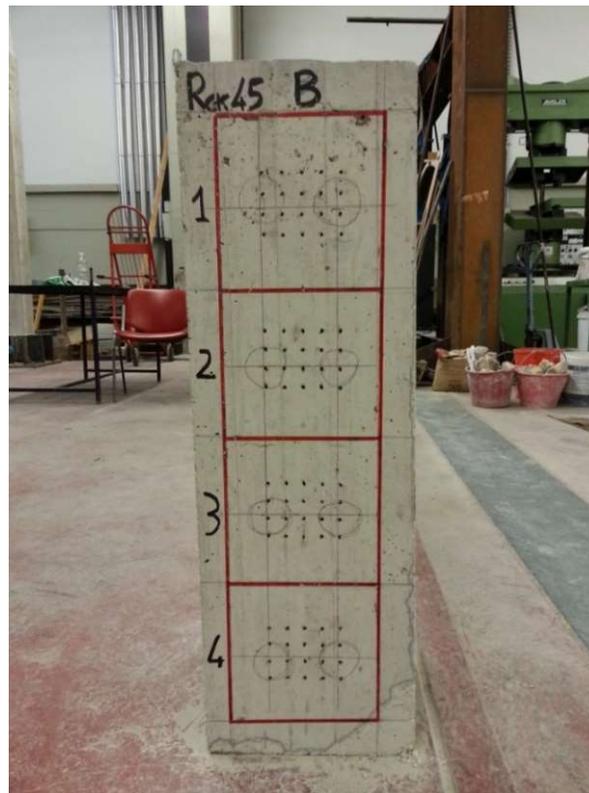
Ultimata la fase di preparazione, si è proceduto ad effettuare le prove e le indagini in laboratorio sui provini cubici e sui pilastri confezionati, che sono consistite in:

- schiacciamento dei 30 provini cubici confezionati per determinare la resistenza a compressione delle cinque classi di calcestruzzo utilizzate;
- indagine magnetometrica su tutte le facce dei 5 pilastri confezionati per l'identificazione delle armature principali e secondarie all'interno dei getti di calcestruzzo;
- 80 stazioni di misura per la determinazione dell'indice sclerometrico e 80 punti di misura per determinare la velocità di propagazione di impulsi ad onde vibrazionali ad alta frequenza (ultrasuoni) con il metodo di trasmissione diretta;
- prova di pull-out, eseguita su 80 punti di misura per la determinazione della forza di estrazione del calcestruzzo utilizzando l'innovativo tassello post-inserito;
- prelievo di un campione cilindrico mediante carotaggio da ciascuno dei 5 pilastri e successivo schiacciamento dei provini cilindrici estratti per determinare la resistenza cilindrica a compressione del calcestruzzo.

Schiacciamento provini cubici



Indagini magnetometrica e sclerometrica



Indagine ultrasonica



Verifica di taratura del sistema di estrazione costituito da martinetto oledinamico con portata massima pari a 20 tonnellate, pompa manuale collegata al martinetto mediante tubo idraulico ad alta pressione e dotata di manometro digitale da 250 bar (con certificato di taratura rilasciato da Centro LAT).





Prova di estrazione impiegando l'innovativo tassello

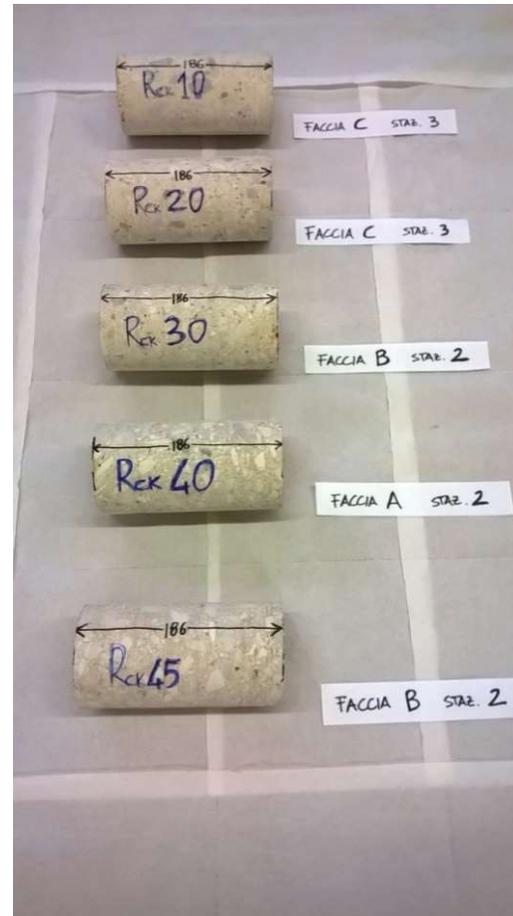


Porzione tronco-conica estratta dopo l'esecuzione della prova e punti di misura ultrasonici

Operazione di carotaggio



Provini cilindrici estratti



Schiacciamento provini cilindrici estratti



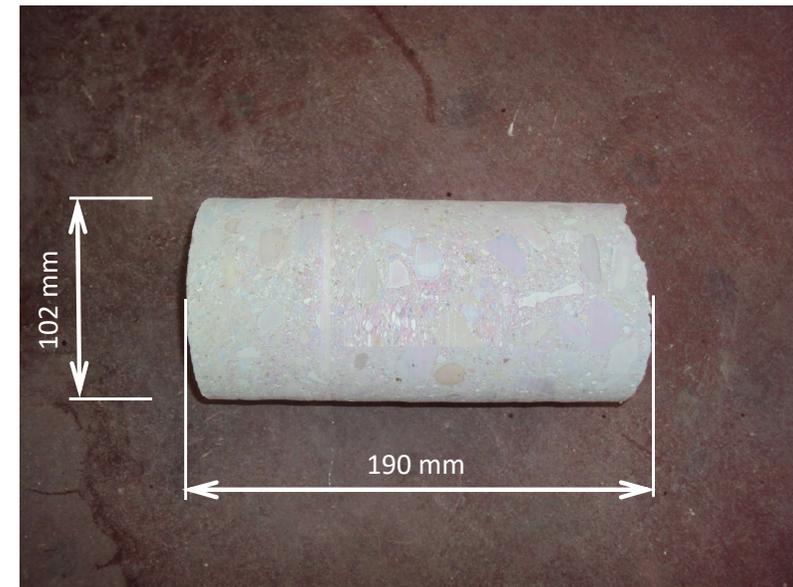
La sperimentazione è poi proseguita testando calcestruzzi di elementi strutturali in costruzioni esistenti edificate tra gli anni '70 ed '80.

Sono stati complessivamente eseguite oltre 1.000 prove di estrazione di cui circa 100 sono state correlate a prove a compressione su campioni cilindrici estratti mediante carotaggio.

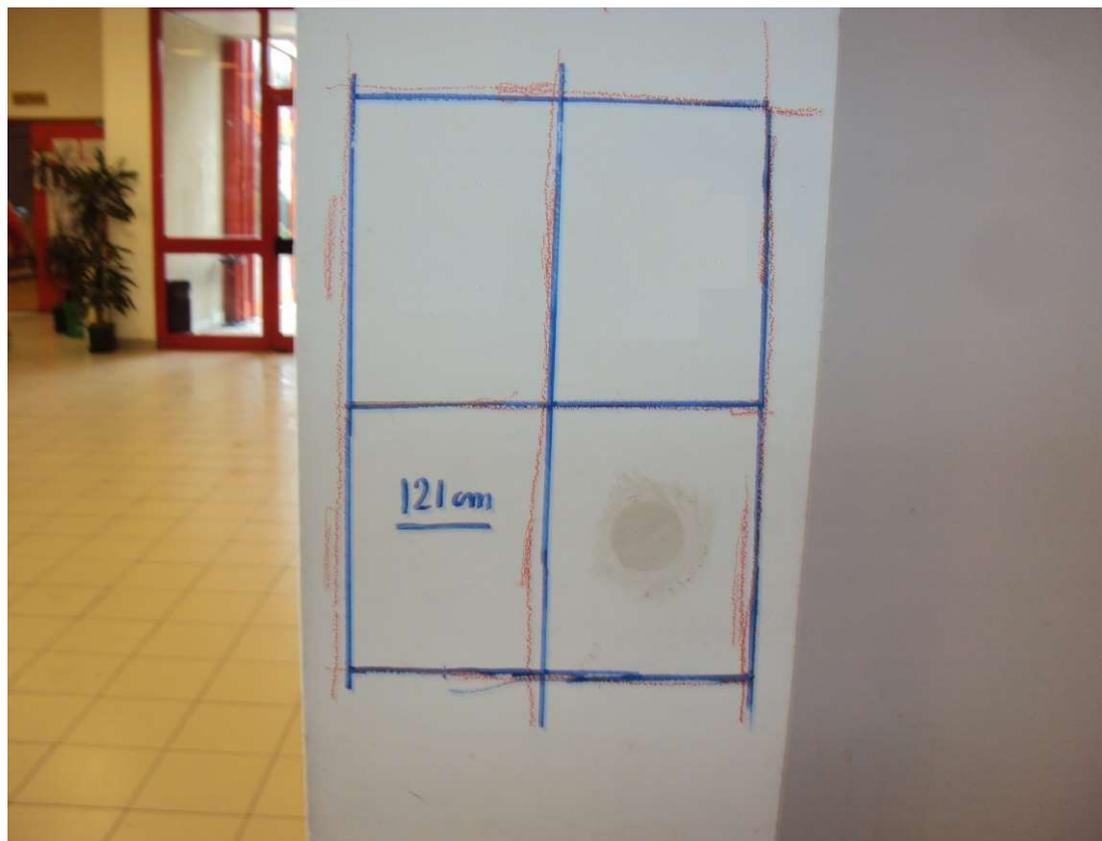


Meccanismi di rottura «radial-simmetrici» perfettamente conformi alle direttive della norma

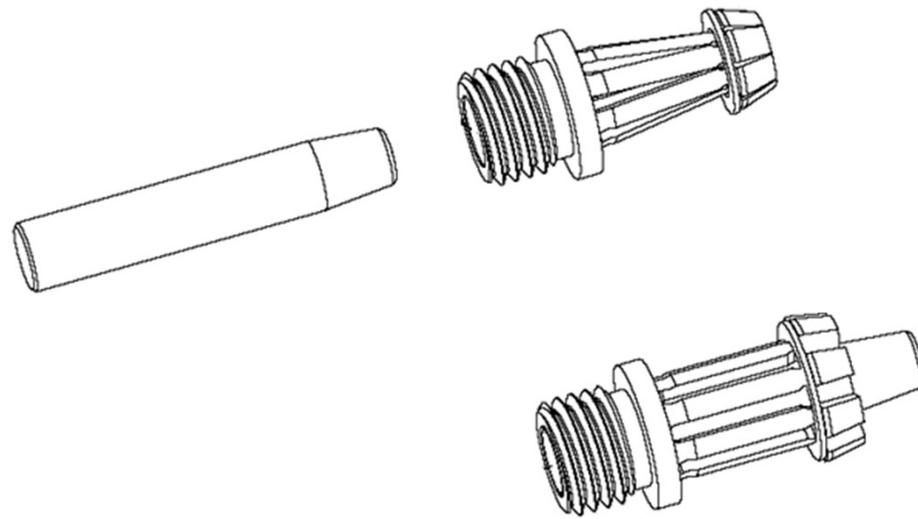
Differenza di invasività tra la prova di estrazione (Pull-Out) ed il carotaggio



Da notare la bassa invasività ed il facile ripristino della superficie da cui è stato estratto il frammento conico



5. Fasi esecutive della prova di estrazione standardizzata con innovativo tassello post-inserito





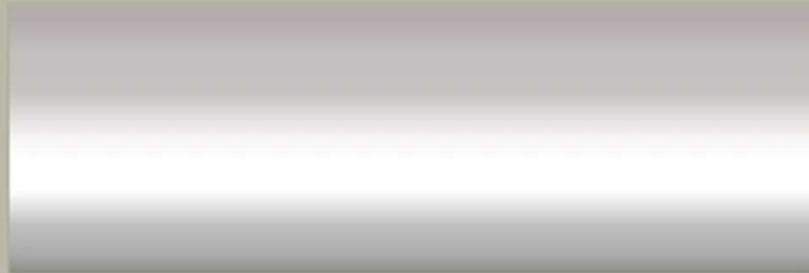
Esecuzione dell'indagine magnetometrica



Individuazione del punto di estrazione

Esecuzione perforazione con punta al widia \varnothing 18 mm con adattatore per trapano a percussione (attacco a baionetta) e "manicotto-guida" per consentire la perforazione perpendicolare alla superficie di prova

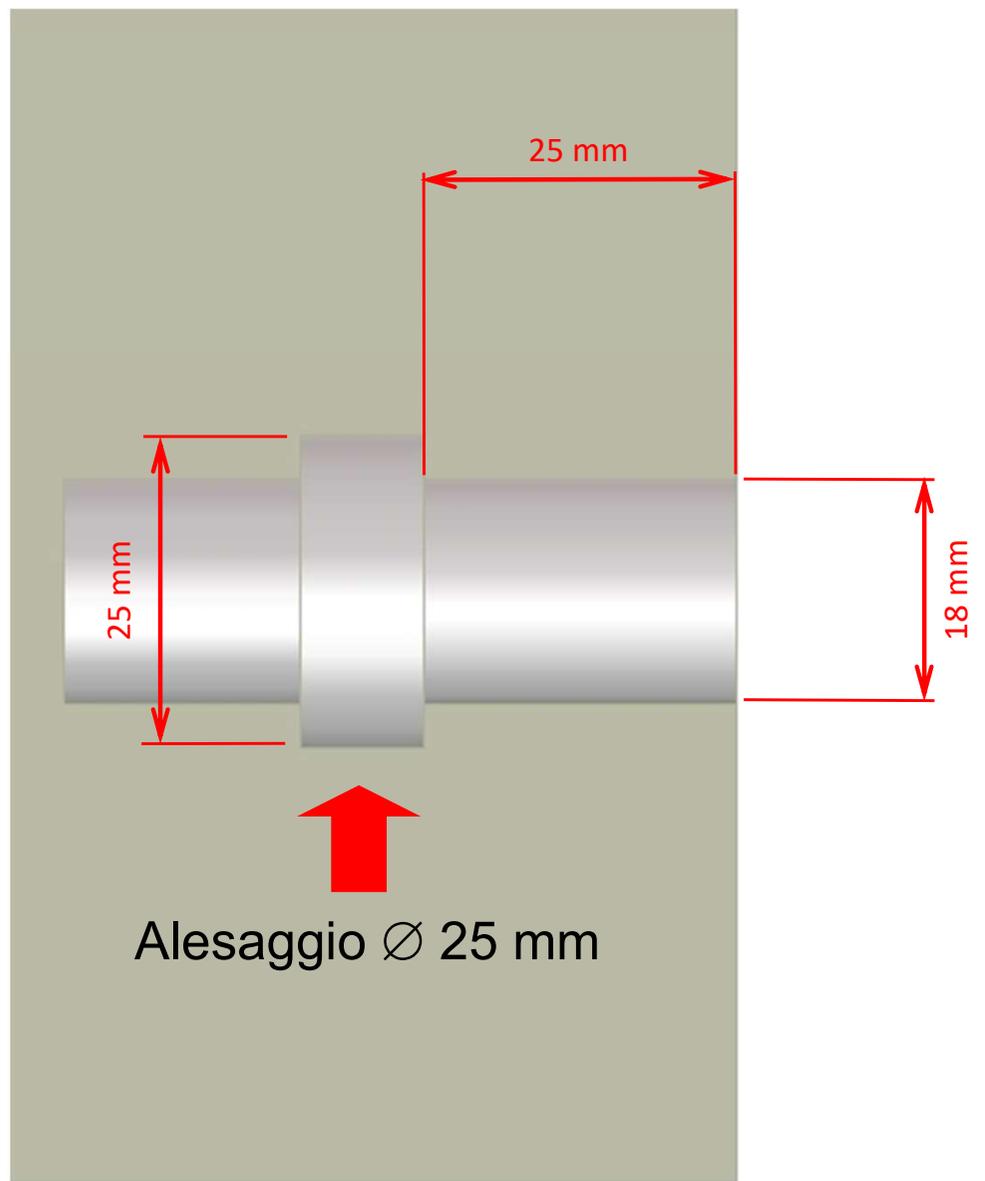
Calcestruzzo

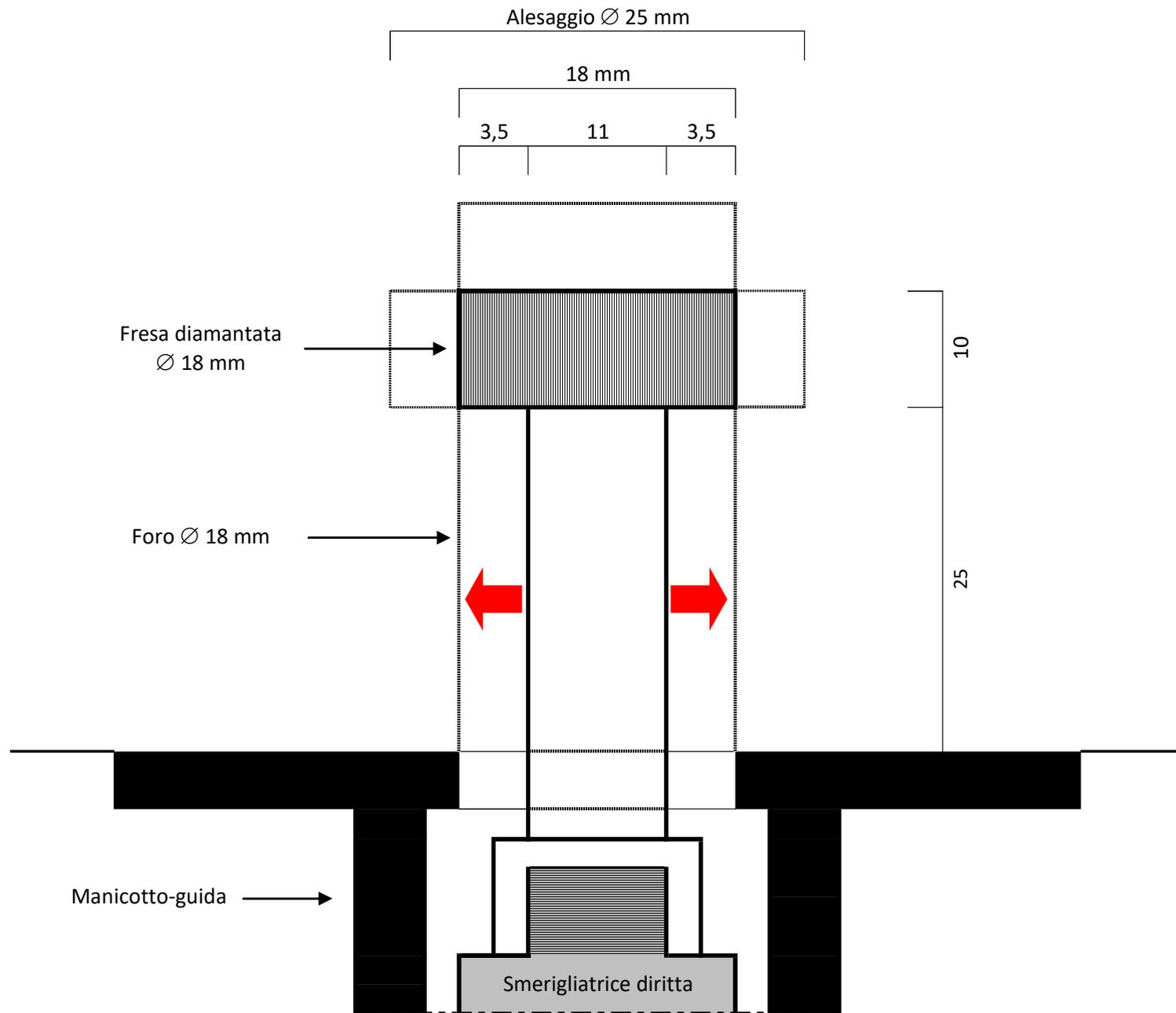


Foro \varnothing 18 mm

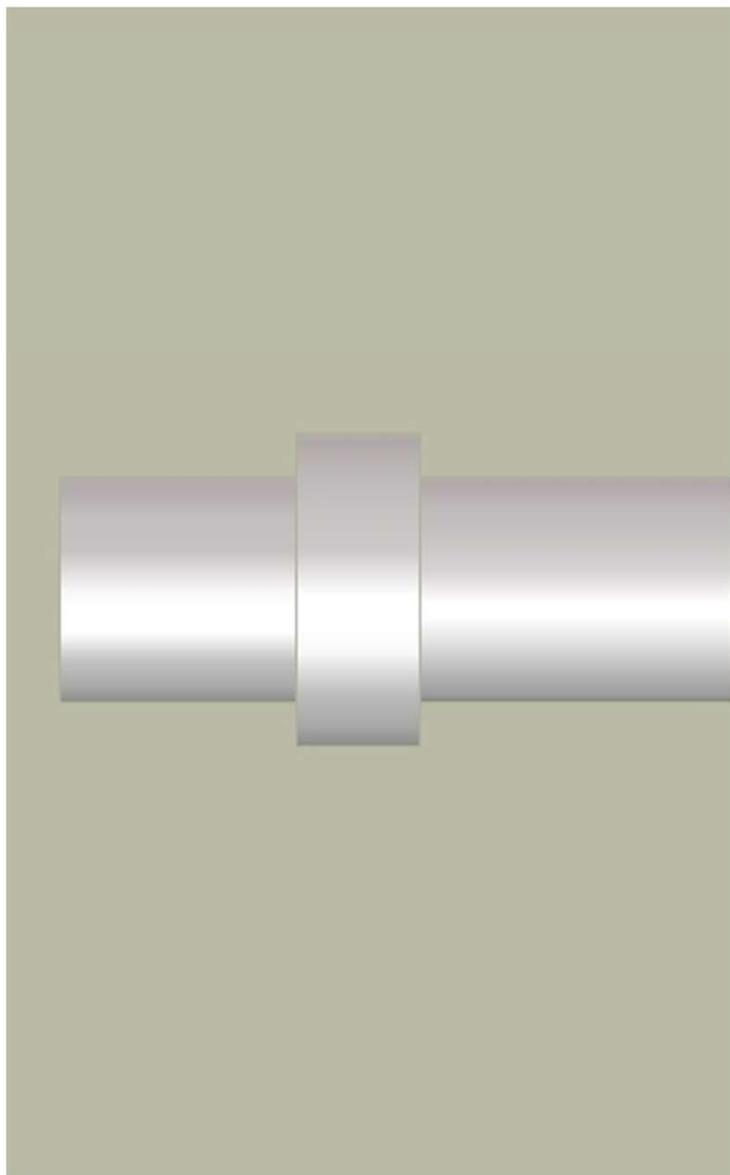


Esecuzione di alesaggio parallelo alla superficie di prova (\varnothing 25 mm a 25 mm di profondità) con smerigliatrice dritta elettrica completa di fresa diamantata \varnothing 18 mm e gambo \varnothing 11 mm, dotata di "manicotto-guida"

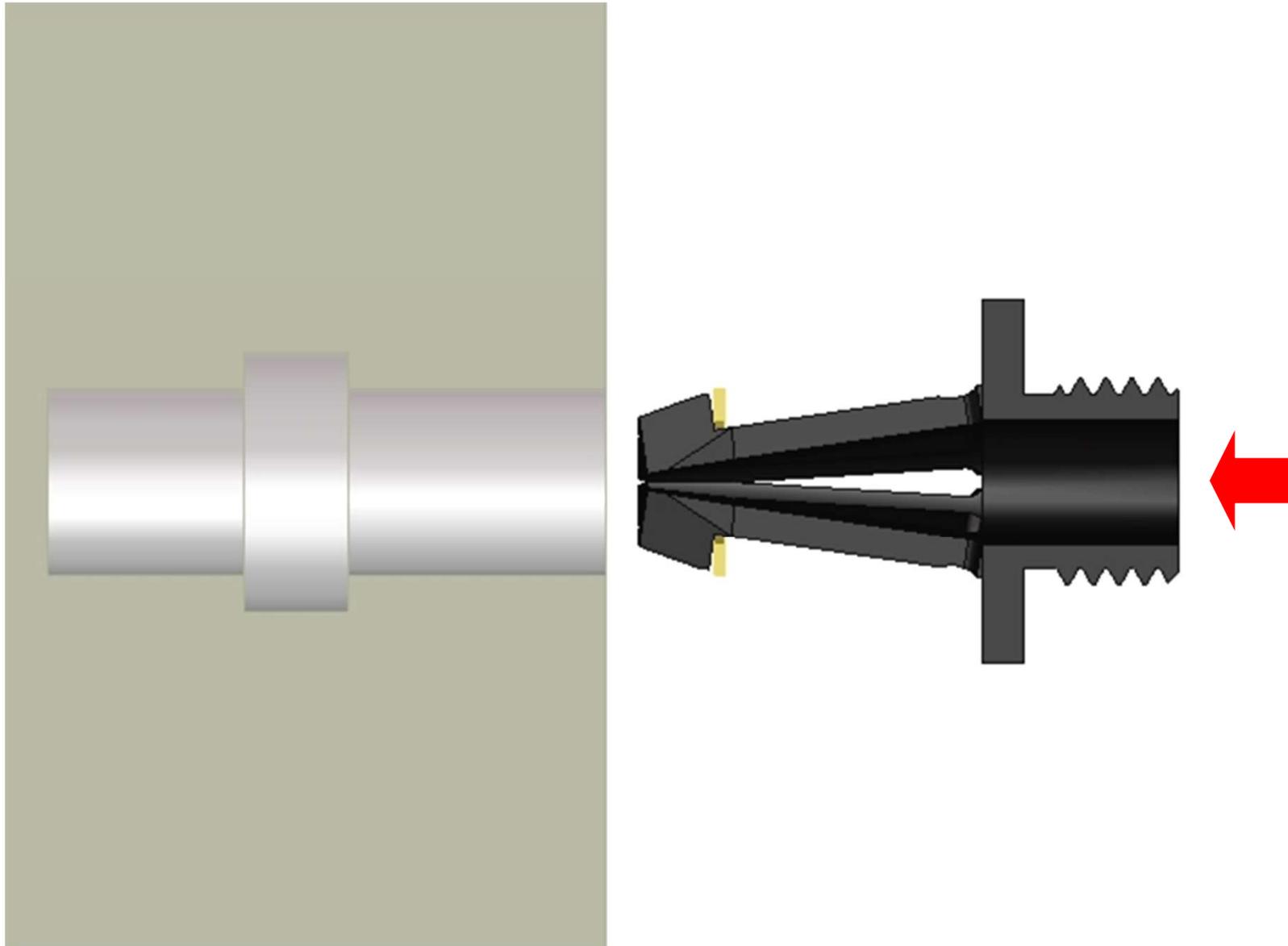




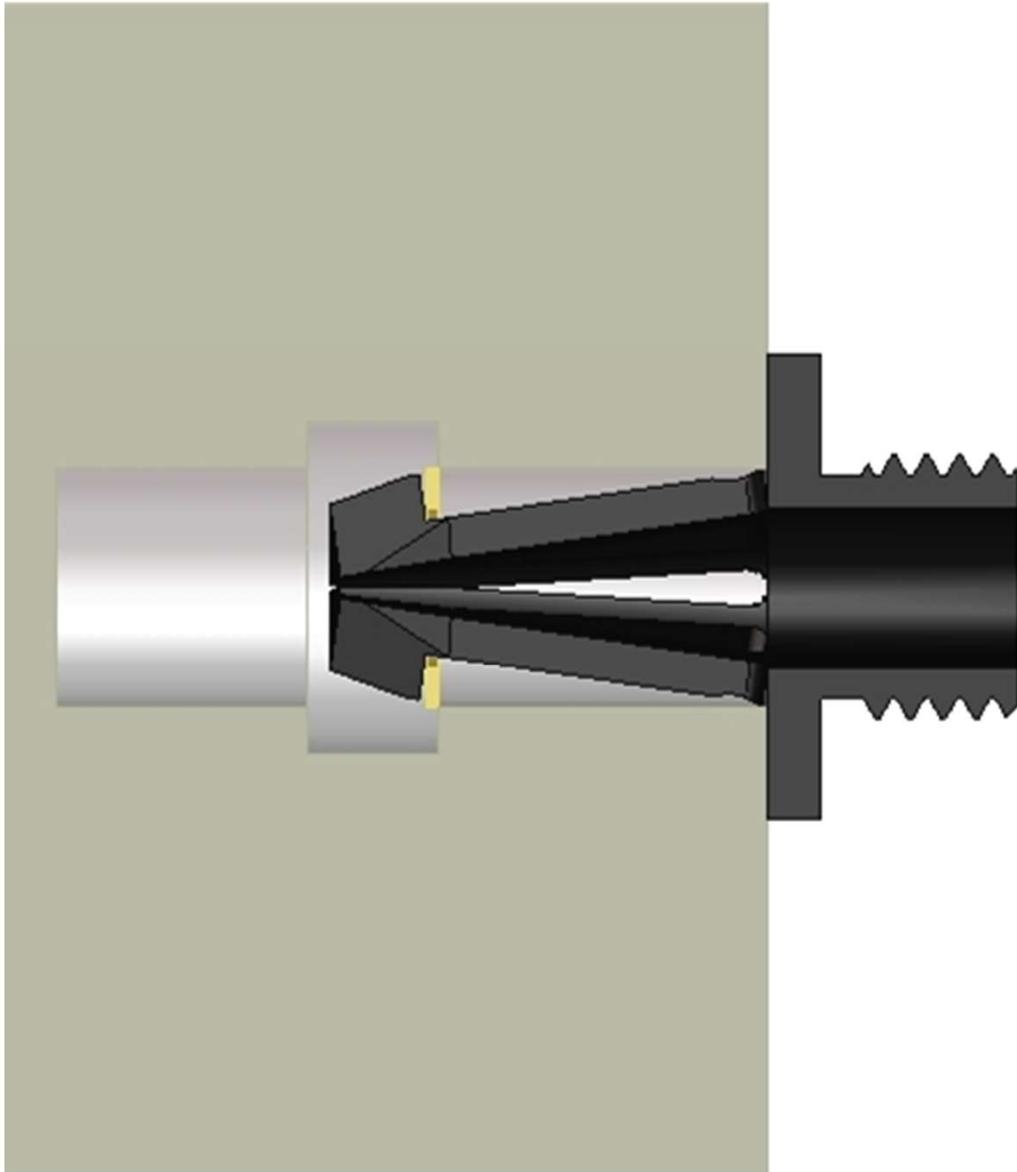
Rimozione, prima dell'inserimento del tassello, dei residui polverosi di calcestruzzo provocati dalla perforazione e dall'alesaggio impiegando una bomboletta d'aria compressa con beccuccio



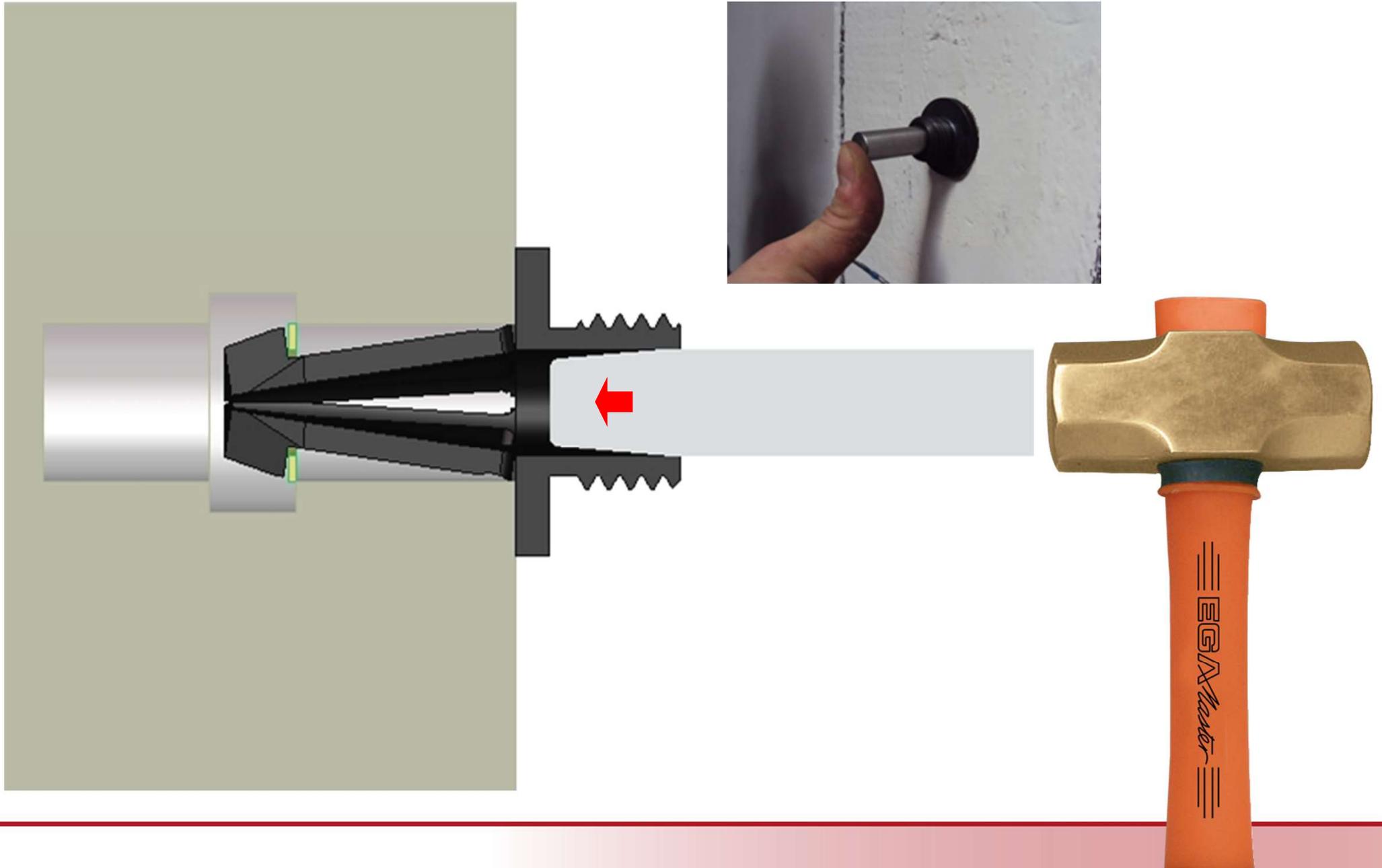
Inserimento del tassello nel foro



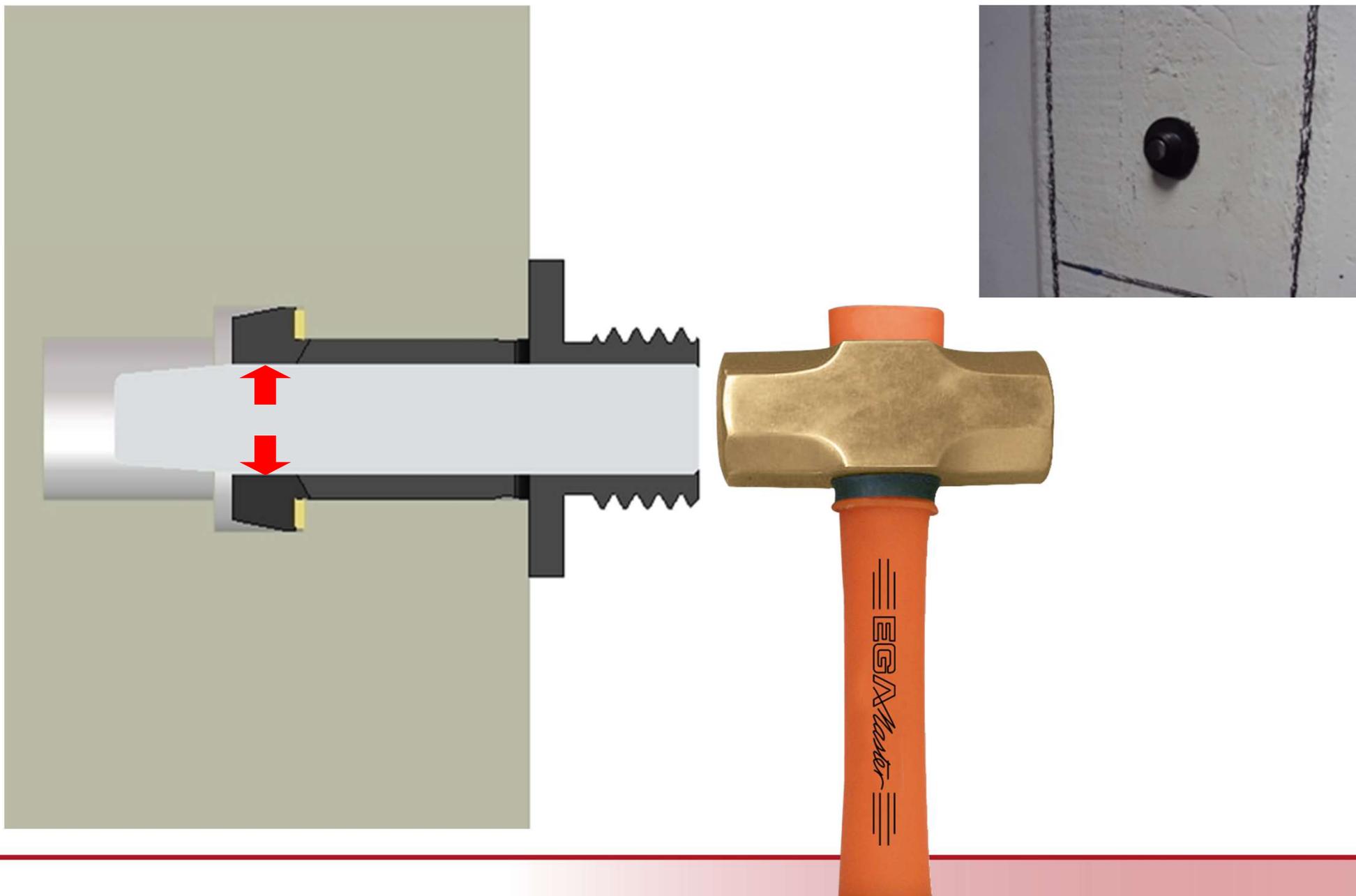
Inserimento del tassello nel foro



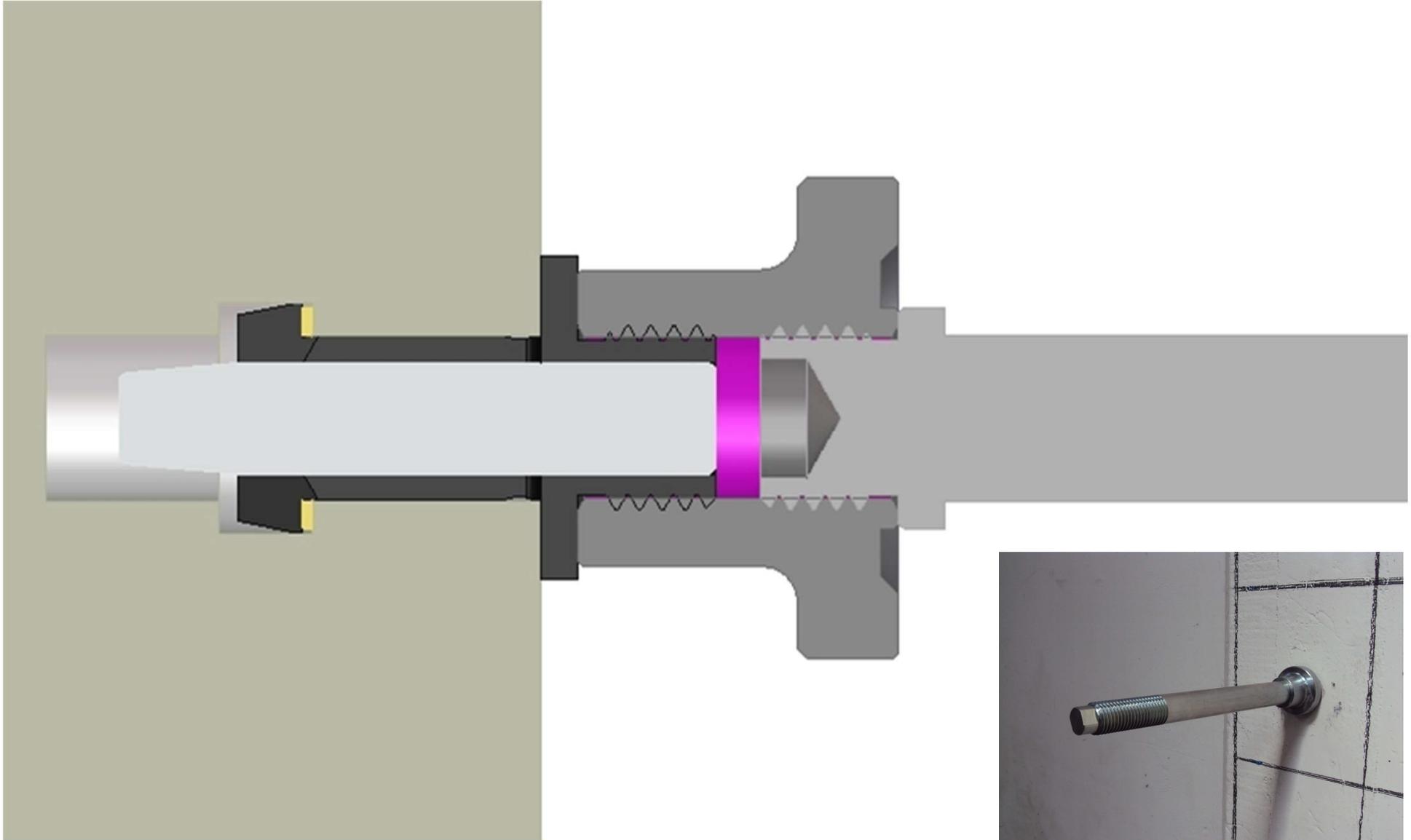
Inserimento meccanico della capsula all'interno del tassello



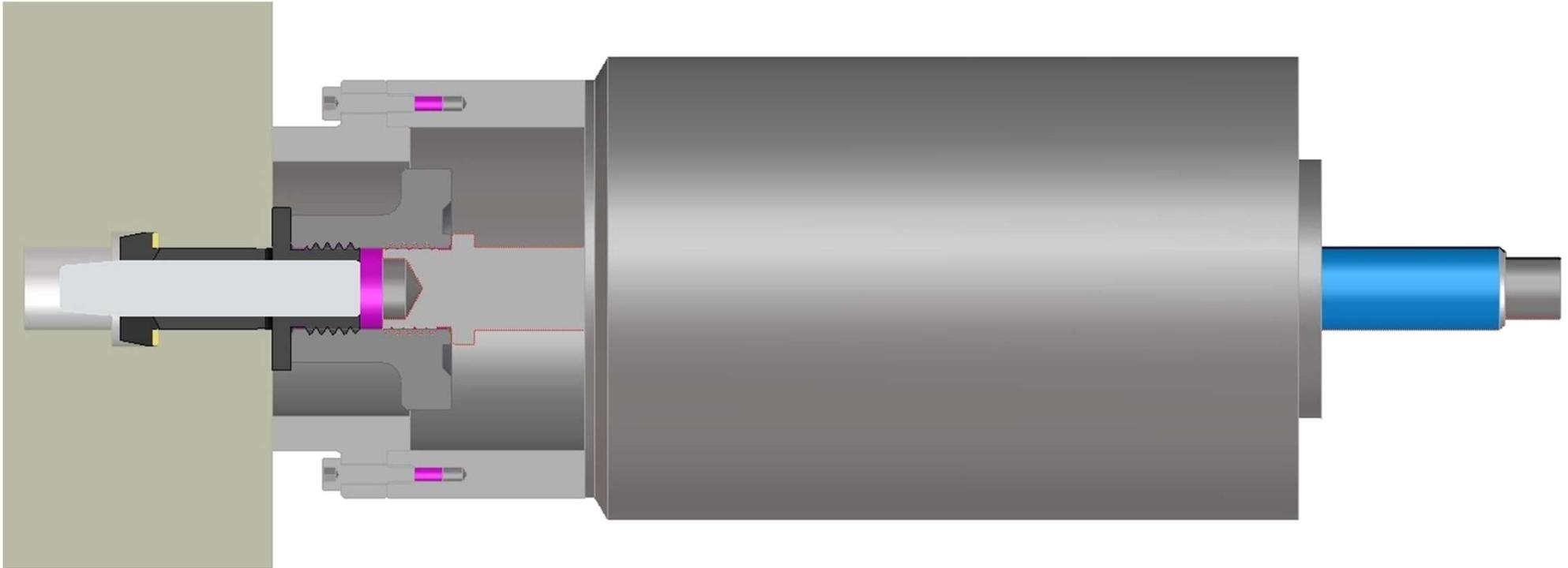
Inserimento meccanico della capsula all'interno del tassello



Avvitamento dello stelo estrattore del martinetto oleodinamico alla parte del tassello fuoriuscente dalla superficie del calcestruzzo (filettatura M20×2,5 mm e lunghezza 15 mm)



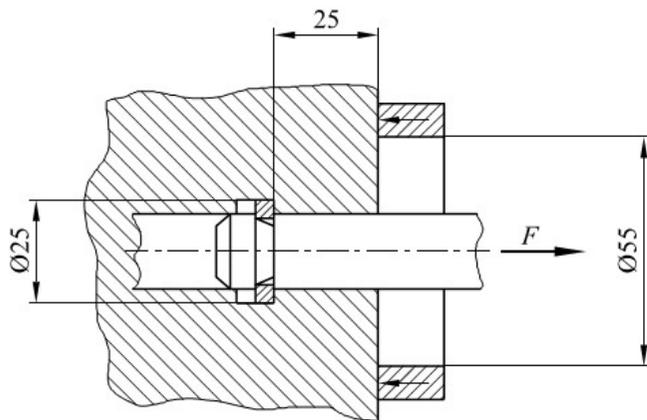
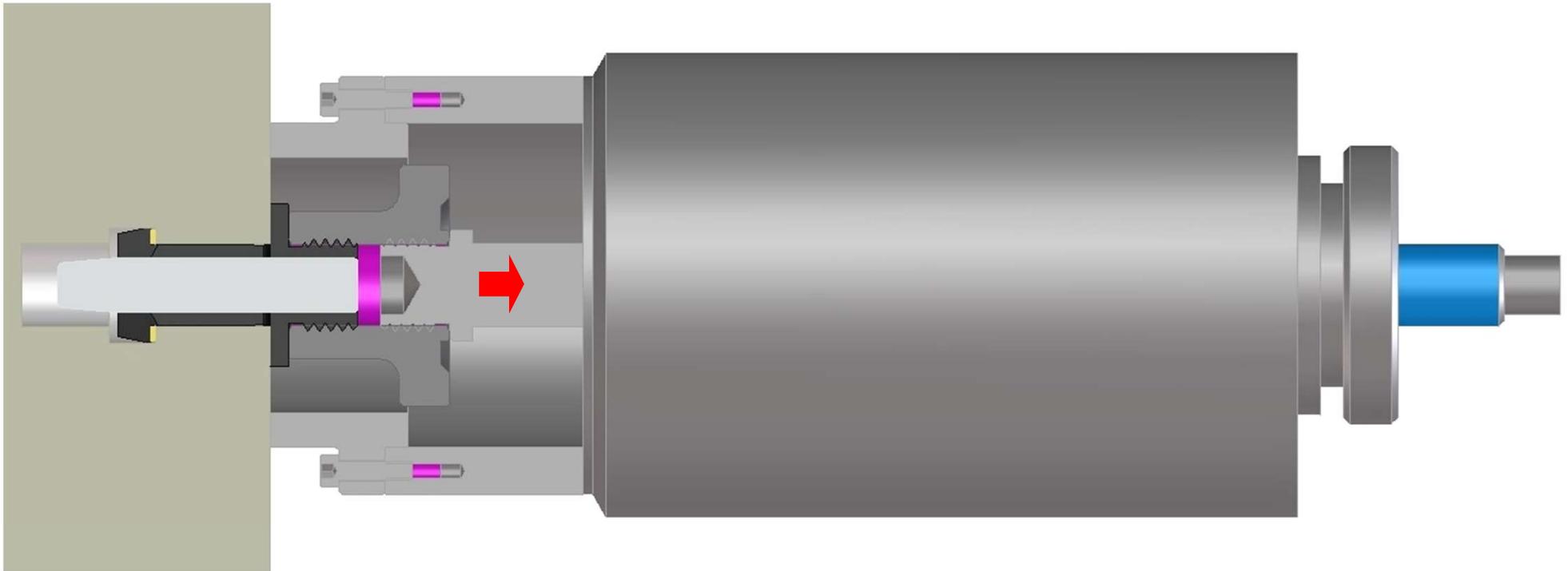
Posizionamento e fissaggio del martinetto oleodinamico cavo con portata 100 kN dotato di anello di contrasto in acciaio con diametro interno 55 mm e diametro esterno 70 mm ed altezza >10 mm e collegamento del tubo idraulico alla pompa oleodinamica



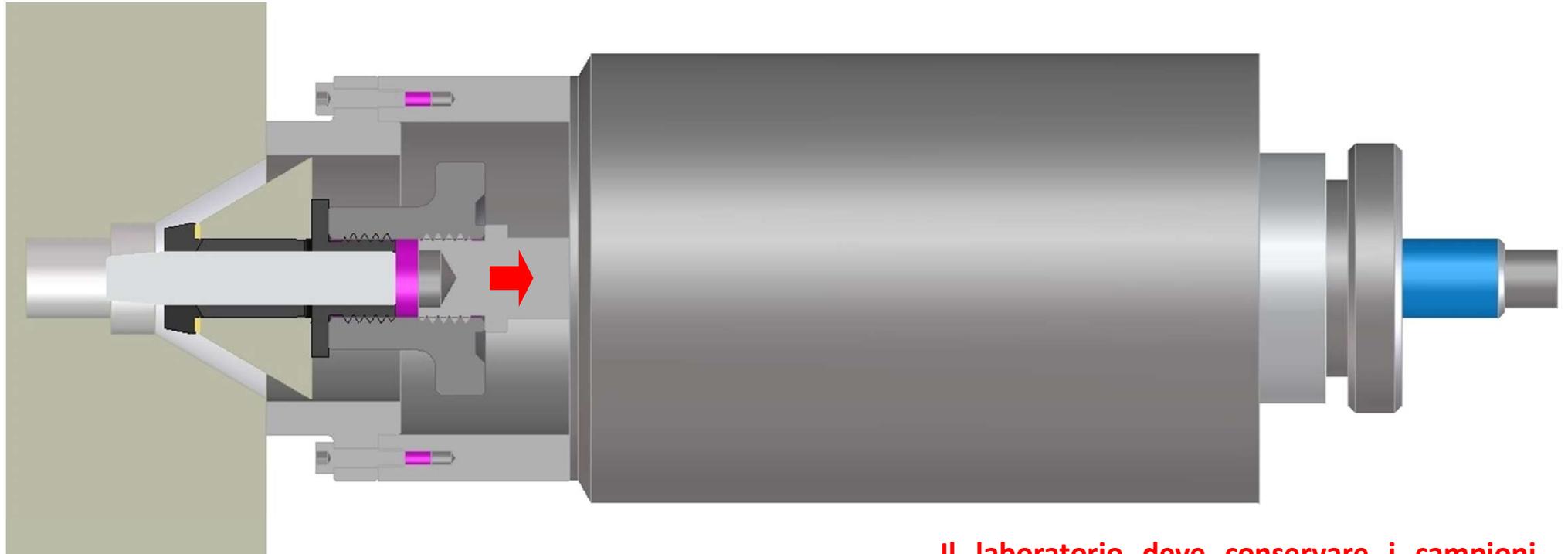
Pompa oleodinamica a leva manuale con manometro digitale collegata al martinetto mediante tubo idraulico (lunghezza 2,5 m) ad alta pressione (700 bar). La pompa è dotata di manometro digitale con fondo scala 250 bar con detentore di picco e certificato di taratura rilasciato da Laboratorio LAT (Laboratorio Accreditato di Taratura).



Esecuzione della prova ed estrazione applicando un gradiente di carico costante di circa 0,5 kN/s senza shock, fino al verificarsi della frattura, registrando la forza massima rilevata



Esecuzione della prova ed estrazione (assenza di tensioni tangenziali sulla superficie laterale dello stelo del tassello, meccanismi di rottura «radial-simmetrici»)



Il laboratorio deve conservare i campioni sottoposti a prova o prelievo (per esempio: tasselli estratti mediante prova di estrazione, campioni sui quali è stata eseguita la misura della carbonatazione, ecc.) nei locali del laboratorio per almeno 30 giorni dopo l'emissione dei certificati di prova in modo da consentirne la rintracciabilità ed identificabilità.

6. Risultati ottenuti

I risultati ottenuti sono stati molto soddisfacenti in quanto:

- la standardizzazione dell'esecuzione della prova di estrazione è stata completamente raggiunta;
- si è riusciti ad ottenere un'ottima correlazione di tipo lineare tra la forza di estrazione e la resistenza cilindrica a compressione;
- un altro risultato di rilievo è stato ottenuto dall'innovativa combinazione della prova ultrasonica e della prova di estrazione (metodo definito SonEx), che garantisce all'operatore informazioni approfondite ed esaurienti sulle condizioni globali del calcestruzzo.

La correlazione tra la forza di estrazione e la resistenza in sito del calcestruzzo dovrebbe essere determinata sperimentalmente, per ciascun caso di studio, tarando il metodo di prova con i risultati ottenuti da prove di compressione eseguite su carote estratte dalle strutture facendo riferimento alla norma UNI EN 12504-1:2009 “Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 1: Carote - Prelievo, esame e prova di compressione” (sostituita il 12 settembre 2019 dalla UNI EN 12504-1:2019).

In laboratorio i provini cilindrici devono essere preparati nel rispetto delle tolleranze di planarità, perpendicolarità e rettilineità prescritte nella norma UNI EN 12390-1:2012 “Prova sul calcestruzzo indurito - Parte 1: Forma, dimensioni ed altri requisiti per provini e per casseforme” e sottoposti a prova di compressione secondo la norma UNI EN 12390-3:2009 “Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 3: Resistenza alla compressione dei provini” (sostituita il 12 settembre 2019 dalla UNI EN 12390-3:2019), **applicando un gradiente di carico costante di circa 0,6 MPa/s.**

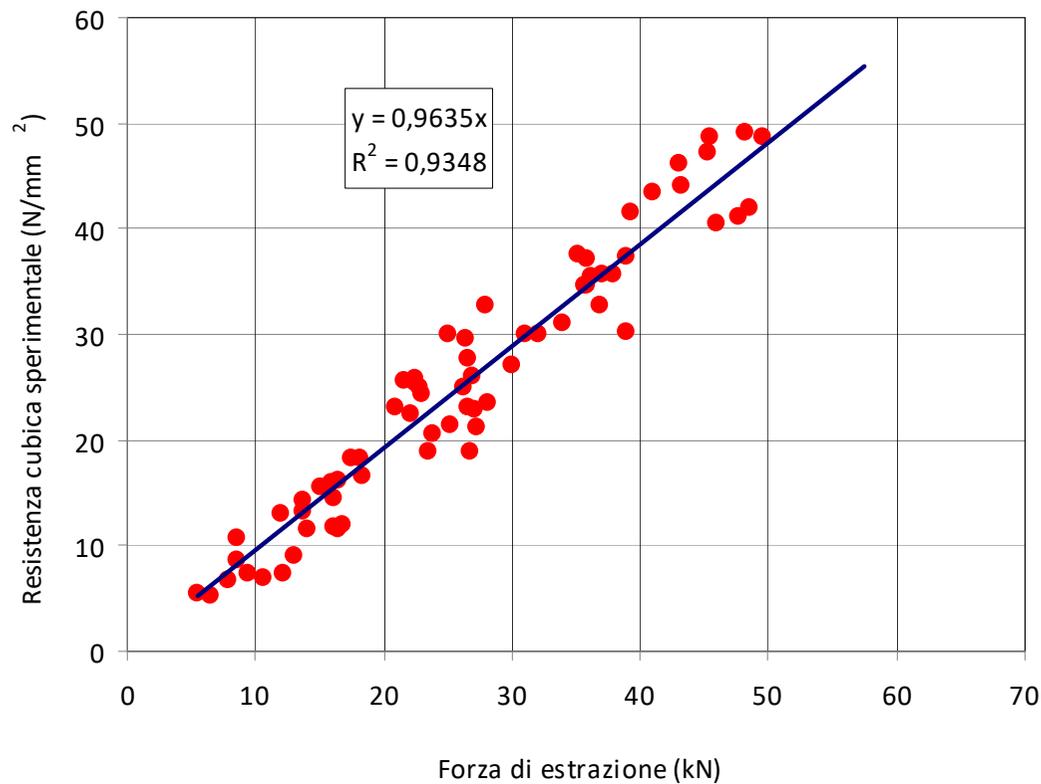
Il mancato rispetto del gradiente di carico può far registrare valori anomali della resistenza alla compressione dei provini di calcestruzzo.

La norma UNI EN 12504-3:2005, definisce, tra l'altro, che “è stato dimostrato che la relazione tra la forza di estrazione e la resistenza a compressione è simile per una vasta gamma di calcestruzzi e che è quindi possibile utilizzare una correlazione generale di sufficiente accuratezza”.

La vasta sperimentazione eseguita su campioni in calcestruzzo e su elementi strutturali di immobili edificati negli anni '70/80, impiegando l'innovativo tassello post-inserito *Thoro* ha permesso di ottenere una relazione tra la forza di estrazione e la resistenza cubica in sito del calcestruzzo pari a:

$$1 \text{ kN} = 0,9635 \text{ N/mm}^2$$

con un coefficiente di determinazione R^2 pari a 0,9348



La relazione è stata determinata correlando prove di estrazione e prove di compressione eseguite su carote aventi diametro 102 mm (**con rapporto H/D=1**) prelevate in punti nei quali erano state precedentemente eseguite le prove di estrazione.

La stima delle resistenze locali del calcestruzzo in opera può essere perfezionata adottando **metodi non distruttivi combinati** che si basano su correlazioni di tipo sperimentale tra la resistenza e parametri non distruttivi.

Nel caso oggetto di studio (edificio strategico edificato negli anni '70) si è determinata la correlazione sperimentale analizzando il legame funzionale che si è ottenuto misurando dapprima la velocità di propagazione di impulsi ultrasonici con metodo di trasmissione diretta e la forza di estrazione dell'innovativo tassello post-inserito e, successivamente, la resistenza mediante prova di compressione su provini cilindrici estratti mediante carotaggio.

Per ciascuno dei campioni si ha quindi un valore della resistenza ed una coppia di parametri non distruttivi. Il metodo combinato è stato denominato **SonEx** (Sonic and Extration).

In tal modo si sono acquisite informazioni non solo sullo strato corticale del calcestruzzo ma anche del nucleo dell'elemento strutturale.

La forma analitica che meglio sembra descrivere il legame funzionale tra i due parametri non distruttivi e la resistenza f_c stimata del calcestruzzo in opera è di tipo esponenziale:

$$f_c = a \times F^b \times V^c$$

dove le costanti **a**, **b** e **c** dipendono da diversi fattori legati alle modalità che caratterizzano la campagna sperimentale, come ad esempio la qualità degli ingredienti che costituiscono il calcestruzzo, il dosaggio degli ingredienti, le modalità di maturazione e le condizioni di stagionatura.

Il calcolo delle costanti è stato ottenuto mediante la funzione “risolutore” implementata nel programma Excel.

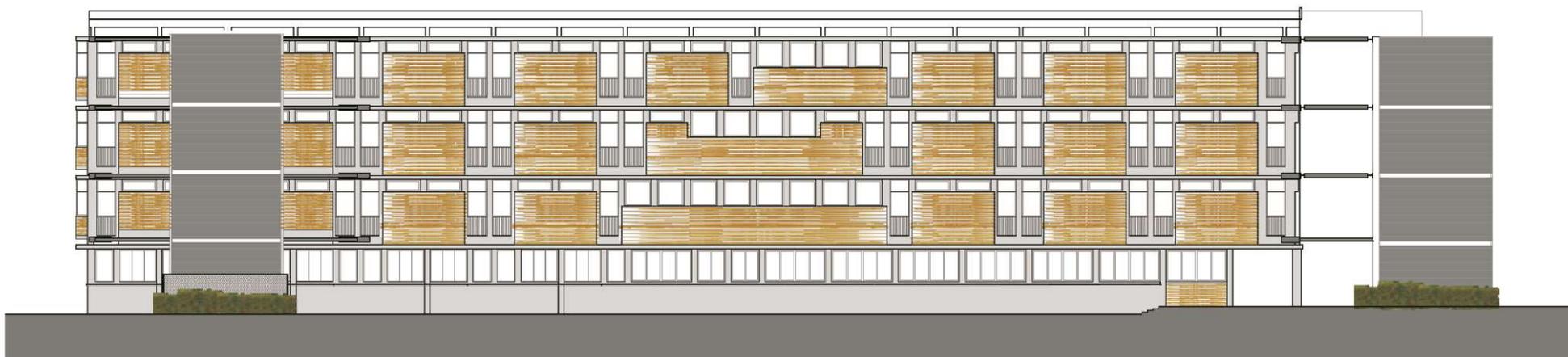
Avendo tarato il metodo attraverso i valori “**reali**” delle resistenze in opera, il metodo stesso può essere applicato a tutti i risultati della campagna di controlli non distruttivi combinati permettendo quindi di estendere la numerosità dei dati disponibili e valutare il valore stimato con maggiore attendibilità.

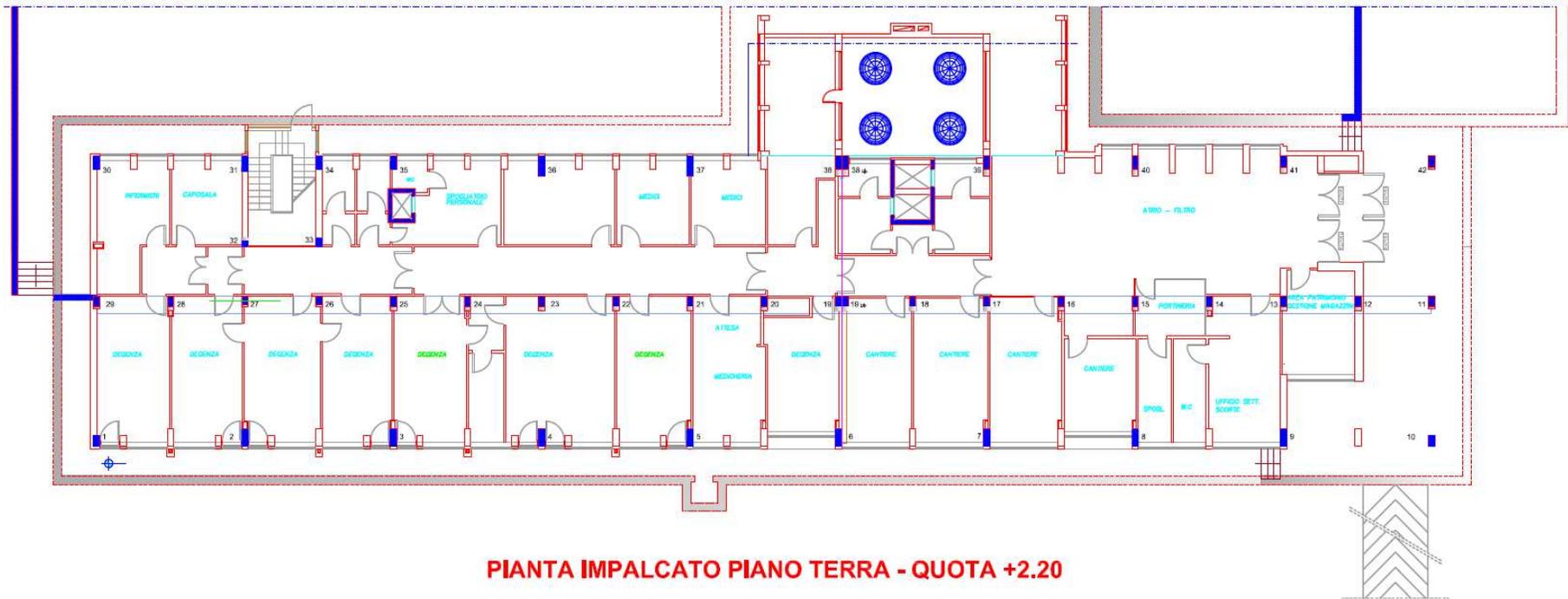
Pilastro n.	F (kN)	V m/s	f_c sperim. (H/D=1) N/mm ²	f_c stimata N/mm ²
1	18	3710		14,6
2	16	3650		12,9
3	28	4120	25,0	24,7
4	28	4190		25,3
5	27	4160		24,3
6	24	3860	18,0	19,6
7	23	3770		18,3
8	27	4140		24,1
9	23	4090	20,5	20,7
10	30	4150	26,0	26,4
11	24	3800		19,2
12	22	3690		17,0
13	21	3650		16,1
14	20	3610		15,2
15	19	3600		14,5
16	18	3690		14,4
17	16	3630		12,8
18	14	3570		11,1
19	13	3460		10,0
20	18	3720		14,6
21	16	3690	14,5	13,1
22	15	3560	13,5	11,7
23	18	3730		14,7
24	20	3630		15,3
25	21	3650		16,1
26	19	3750		15,5
27	16	3650		12,9
28	14	3590		11,2
29	18	3700		14,5
30	23	3750		18,1

F =	Forza di estrazione tassello post-inserito		
V =	Velocità di transito degli impulsi ultrasonori (metodo trasmissione diretta)		
Metodo combinato SonEx:	$f_c \text{ stimata} = a \times F^b \times V^c$		
a =	0,000004		
b =	0,826161		
c =	1,550332		
Coefficiente di correlazione =			0,97
Coefficiente di determinazione =			0,94

ESEMPIO PRATICO DI STIMA DELLA RESISTENZA DEL CALCESTRUZZO IN OPERA MEDIANTE PROVA DI PULL-OUT CON IMPIEGO DI INNOVATIVO TASSELLO POST-INSERTITO AD ESPANSIONE CONTROLLATA

Oggetto dell'indagine: edificio pubblico di interesse strategico (2016)





Circolare esplicativa n. 617 del 2009

Tabella C8A.1.3a – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prove per edifici in c.a.

	Rilievo (dei dettagli costruttivi)(a)	Prove (sui materiali) (b)(c)
	Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro...)	
Verifiche limitate	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio
Verifiche estese	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio
Verifiche esaustive	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio

Tabella C8A.1.3b – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prove per edifici in acciaio

	Rilievo (dei collegamenti)(a)	Prove (sui materiali) (b)
	Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro...)	
Verifiche limitate	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 15% degli elementi	1 provino di acciaio per piano dell'edificio, 1 campione di bullone o chiodo per piano dell'edificio
Verifiche estese	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 35% degli elementi	2 provini di acciaio per piano dell'edificio, 2 campioni di bullone o chiodo per piano dell'edificio
Verifiche esaustive	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 50% degli elementi	3 provini di acciaio per piano dell'edificio, 3 campioni di bullone o chiodo per piano dell'edificio

NOTE ESPLICATIVE ALLA TABELLA C8A.1.3 (a, b) della Circolare esplicativa n. 617 del 2009.

Le percentuali di elementi da verificare ed il numero di provini da estrarre e sottoporre a prove di resistenza riportati nella Tabella C8A.1.3 hanno valore indicativo e vanno adattati ai singoli casi, tenendo conto dei seguenti aspetti:

- Nel controllo del raggiungimento delle percentuali di elementi indagati ai fini del rilievo dei dettagli costruttivi si tiene conto delle eventuali situazioni ripetitive, che consentano di estendere ad una più ampia percentuale i controlli effettuati su alcuni elementi strutturali facenti parte di una serie con evidenti caratteristiche di ripetibilità, per uguale geometria e ruolo nello schema strutturale.
- **Ai fini delle prove sui materiali è consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con un più ampio numero, almeno il triplo, di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive.**

Indagini e prove eseguite

A) Indagini non distruttive consistenti in:

- **rilievo magnetometrico** eseguito su **71** elementi strutturali per la localizzazione delle barre di armatura principali e secondarie (staffe di confinamento);
- **prova di Pull-Out** per la determinazione della forza di estrazione di un inserto post-inserito nel calcestruzzo indurito sui **71** elementi strutturali indagati;
- misura della profondità di **carbonatazione** nel calcestruzzo eseguita sui **18** provini cilindrici estratti;

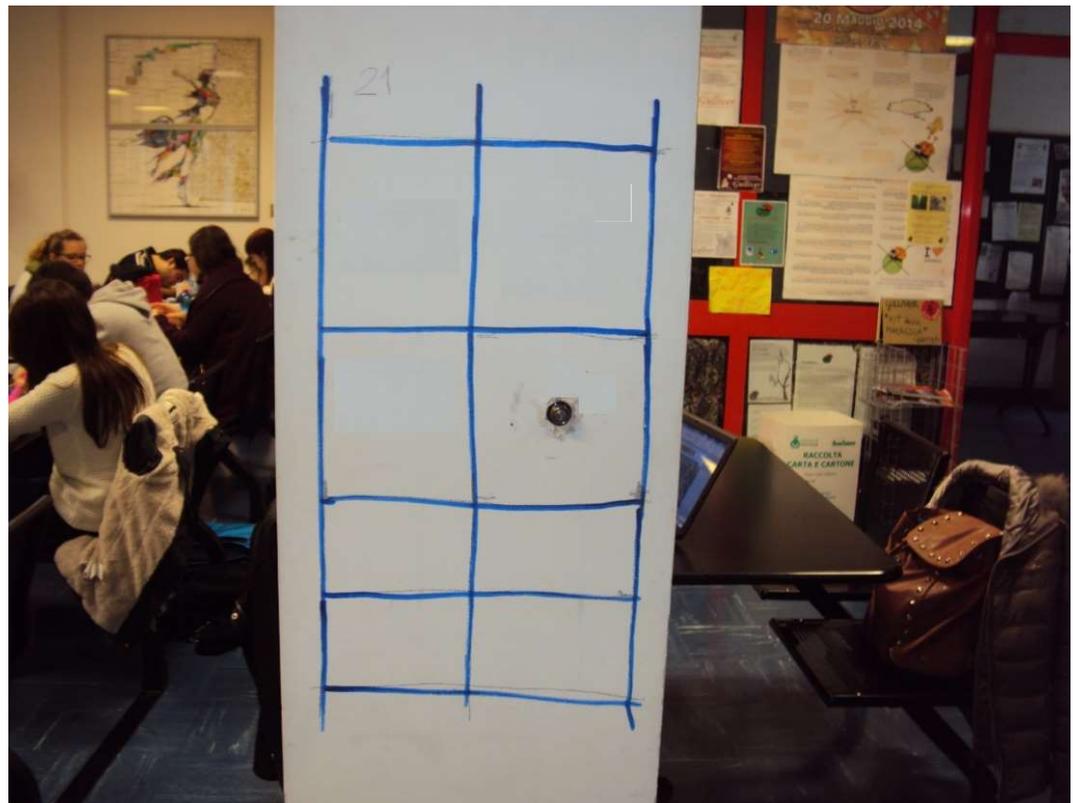
B) Prove a compressione sui **18** provini cilindrici prelevati mediante **carotaggio** da elementi strutturali in calcestruzzo armato.

NOTA

Si è scelto di eseguire un'estesa indagine non distruttiva mediante impiego della prova di **Pull-Out** (al posto del tradizionale metodo combinato *SonReb* - prova sclerometrica + prova ultrasonora) per tre fondamentali motivazioni:

- la tecnica risulta poco invasiva, di facile e rapida esecuzione (sono state eseguite 71 prove di estrazione in due giorni di lavoro);
- la non facile accessibilità delle due facce contrapposte sui cui eseguire la prova sclerometrica e ultrasonora (metodo combinato *SonReb*);
- era stata precedentemente riscontrata la presenza negli elementi strutturali da indagare di notevoli strati di calcestruzzo carbonatati che avrebbero, come ben noto, sovrastimato l'indice di rimbalzo del martello dello sclerometro.

Rilievo magnetometrico



Prova di estrazione



Allo scopo di completare l'indagine non distruttiva (prova di estrazione), per correlare i parametri ottenuti ai valori della resistenza a compressione ricavata sperimentalmente, sono stati prelevati complessivamente n. 18 campioni cilindrici.

I prelievi sono stati eseguiti conformemente alla norma UNI EN 12504-1:2009 "Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 1: Carote - Prelievo, esame e prova di compressione".

Prima di procedere alle operazioni di carotaggio, mediante rilievo magnetometrico, è stata individuata la posizione delle armature principali e secondarie (staffe di confinamento) in modo da escluderle dall'area di prelievo.

Per il prelievo si è fatto uso di una macchina carotatrice prodotta dalla HILTI con carotiere a diamanti impregnati avente diametro interno pari a 93 mm.



Immediatamente dopo le operazioni di prelievo, i campioni sono stati marcati in modo chiaro ed indelebile ed è stato eseguito il test colorimetrico per la determinazione della misura degli strati carbonatati (secondo la norma UNI 9944:1992).

In laboratorio, dopo le operazioni di taglio per adeguare il campione alle caratteristiche dimensionali riportate nella norma UNI EN 12390-1:2012 “Prova sul calcestruzzo indurito - Parte 1: Forma, dimensioni ed altri requisiti per provini e per casseforme”, sono state eseguite le misurazioni del diametro (D) e dell’altezza (H). Tutti i campioni sottoposti a prova avevano un rapporto $H/D=1$.

I provini cilindrici sono stati pesati e sottoposti a prova di compressione secondo la norma UNI EN 12390-3:2009 “Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 3: Resistenza alla compressione dei provini”, utilizzando una pressa prodotta dalla Metro Com da 3000 kN di portata massima.



La stima della resistenza del calcestruzzo in opera (definita come resistenza strutturale) si è basata sulla correlazione di tipo sperimentale tra la resistenza a compressione del calcestruzzo e la forza di estrazione (F) del tassello post-inserito.

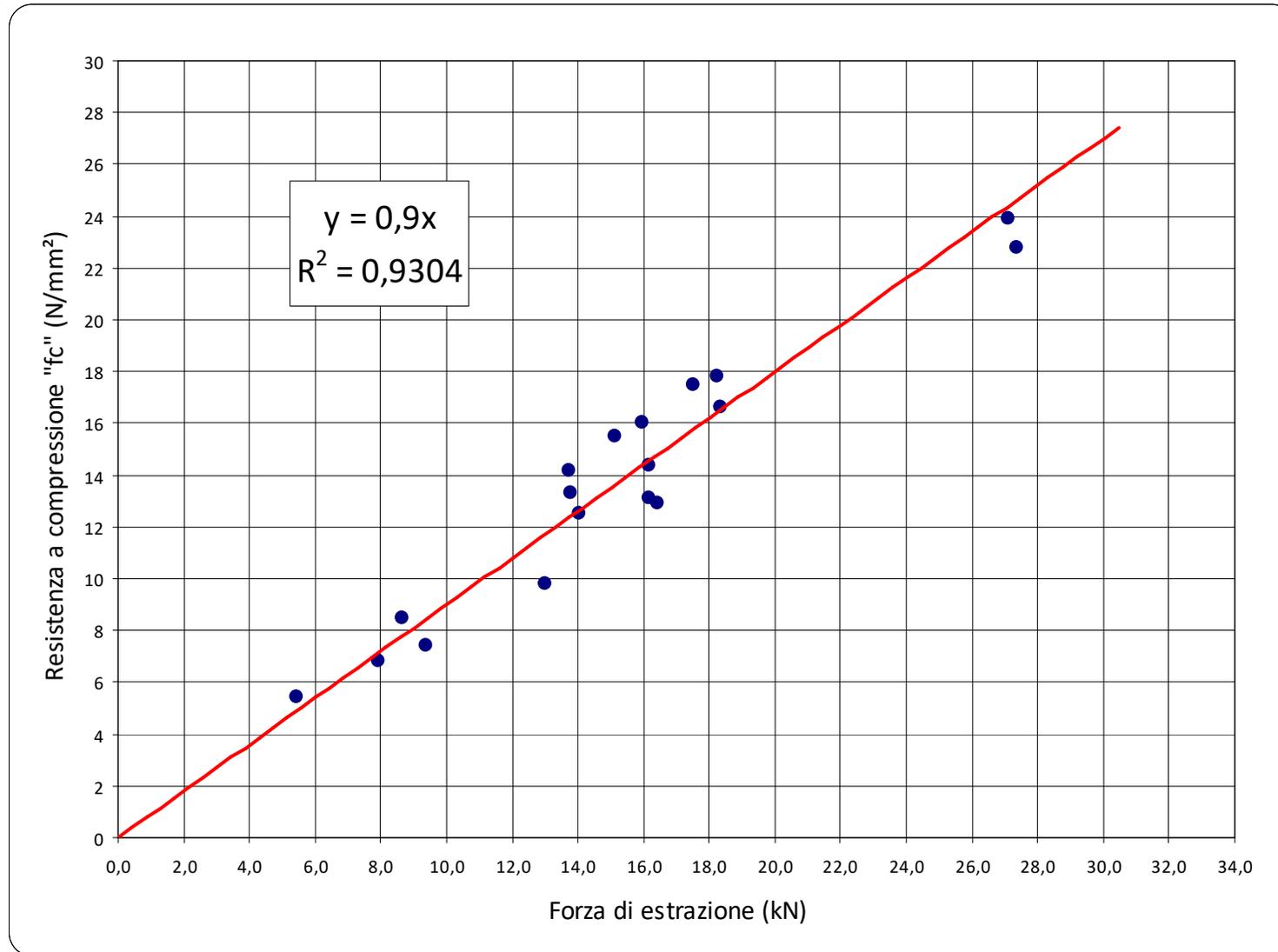
Per correlazione s'intende un legame funzionale o semplicemente grafico che si ottiene come curva d'interpolazione attraverso una campagna di prove eseguite su un numero significativo di campioni o di elementi strutturali di calcestruzzo.

Per alcuni elementi strutturali si ha quindi un valore della resistenza a compressione ($f_{c, \text{carota}}$) ed un valore ottenuto dalla prova di estrazione (F).

Nella Tabella 2 vengono consegnati i risultati della stima delle resistenze cilindriche in opera ($f_{c, \text{stimata}}$) dopo aver determinato con il programma Excel la linea di tendenza, l'equazione ed il valore R^2 (coefficiente di determinazione).

Le resistenze cilindriche in opera stimate ($f_{c, \text{stimata}}$) sono state determinate mediante l'equazione:

$$f_{c, \text{stimata}} \text{ (N/mm}^2\text{)} = 0,9 \times F \text{ (kN)} \quad (R^2 = 0,9304)$$



La relazione è stata determinata correlando prove di estrazione e prove di compressione eseguite su carote (**con rapporto H/D=1**) prelevate in punti nei quali erano state precedentemente eseguite le prove di estrazione.

Piano	Elemento strutturale	H calpestio (cm)	Riferimento Tavola n.	Pressione (bar)	Forza di estrazione (kN)	fc, carota (N/mm ²)	fc, stimata (N/mm ²)	
Seminterrato	Pilastro 3	115	1	67,1	20,4		18,4	
Seminterrato	Pilastro 4	125		100,0	30,5		27,4	
Seminterrato	Pilastro 23	100		68,5	20,9		18,8	
Seminterrato	Pilastro 25	115		68,5	20,9		18,8	
Seminterrato	Pilastro 26	125		71,5	21,8		19,6	
Seminterrato	Pilastro 27	110		53,0	16,1	13,1	14,5	
Seminterrato	Pilastro 28	135		49,0	14,9		13,4	
Seminterrato	Pilastro 29	135		52,7	16,1		14,5	
Seminterrato	Pilastro 33	125		45,2	13,8	13,3	12,4	
Seminterrato	Pilastro 35	105		53,1	16,2		14,6	
Seminterrato	Pilastro 36	110		69,1	21,1		18,9	
Seminterrato	Pilastro 37	110		89,8	27,4	22,8	24,6	
Seminterrato	Pilastro 40	125		89,0	27,1	23,9	24,4	
Seminterrato	Trave 24-25	---		30,8	9,4		8,4	
Seminterrato	Trave 35-36	---		25,4	7,7		7,0	
Terra	Pilastro 1	110		2	52,7	16,1		14,5
Terra	Pilastro 2	108			53,9	16,4	12,9	14,8
Terra	Pilastro 3	125	27,3		8,3		7,5	
Terra	Pilastro 4	118	20,7		6,3		5,7	
Terra	Pilastro 5	105	17,8		5,4	5,4	4,9	
Terra	Pilastro 6	120	25,0		7,6		6,9	
Terra	Pilastro 19	95	37,3		11,4		10,2	
Terra	Pilastro 20	120	39,3		12,0		10,8	
Terra	Pilastro 21	105	28,4		8,7	8,5	7,8	
Terra	Pilastro 22	110	19,3		5,9		5,3	
Terra	Pilastro 23	115	57,5		17,5		15,8	
Terra	Pilastro 24	110	23,2		7,1		6,4	
Terra	Pilastro 25	108	35,6		10,8		9,8	
Terra	Pilastro 26	110	41,8		12,7		11,5	
Terra	Pilastro 27	105	39,1		11,9		10,7	
Terra	Pilastro 28	115	41,8		12,7		11,5	
Terra	Pilastro 30	110	21,5		6,6		5,9	
Terra	Pilastro 32	90	28,3		8,6		7,8	
Terra	Pilastro 33	90	21,6		6,6		5,9	
Terra	Pilastro 35	110	27,7		8,4		7,6	
Terra	Pilastro 36	125	42,7		13,0	9,8	11,7	
Terra	Pilastro 37	97	18,7		5,7		5,1	
Terra	Pilastro 38	93	30,8		9,4	7,4	8,4	
Terra	Trave 4-5	---	45,0	13,7	14,2	12,3		
Terra	Trave 21-22	---	34,5	10,5		9,5		
Terra	Trave 22-23	---	36,3	11,1		10,0		

Primo	Pilastro 9	120	3	53,9	16,4		14,8
Primo	Pilastro 13	105		46,1	14,0	12,5	12,6
Primo	Pilastro 19bis	125		58,4	17,8		16,0
Primo	Pilastro 21	125		45,3	13,8		12,4
Primo	Pilastro 30	120		71,4	21,8		19,6
Primo	Pilastro 31	125		24,6	7,5		6,7
Primo	Pilastro 32	120		65,4	19,9		17,9
Primo	Pilastro 33	125		48,3	14,7		13,2
Primo	Pilastro 34	150		52,4	16,0	16,0	14,4
Primo	Parete	235		59,8	18,2	17,8	16,4
Primo	Trave 13-14	---		66,6	20,3		18,3
Primo	Trave 38bis-39	---		40,5	12,3		11,1
Secondo	Pilastro 6	115		4	76,7	23,4	
Secondo	Pilastro 13	120	51,8		15,8		14,2
Secondo	Pilastro 19	140	57,5		17,5	17,5	15,8
Secondo	Pilastro 19bis	135	40,6		12,4		11,1
Secondo	Trave 12-13	---	60,3		18,4		16,5
Secondo	Trave 18-19	---	60,2		18,3	16,6	16,5
Terzo	Pilastro 11	110	5	51,9	15,8		14,2
Terzo	Pilastro 19	130		37,3	11,4		10,2
Terzo	Pilastro 19bis	130		57,4	17,5		15,7
Terzo	Pilastro 28	150		26,1	8,0	6,8	7,2
Terzo	Pilastro 31	120		34,1	10,4		9,4
Terzo	Pilastro 32	110		80,8	24,6		22,2
Terzo	Pilastro 33	130		48	14,6		13,2
Terzo	Pilastro 34	170		87,3	26,6		23,9
Terzo	Parete	230		49,6	15,1	15,5	13,6
Terzo	Trave 11-12	---		61,9	18,9		17,0
Terzo	Trave 28-29	---		53	16,1	14,4	14,5
Terzo	Trave 38bis-39	---	42,1	12,8		11,5	

Bibliografia

Leggi, Norme e Raccomandazioni:

- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018);
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- *Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera*, Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale, Settembre 2017.

Libri:

- S. Bufarini - V. D’Aria - R. Giacchetti, *Il Controllo strutturale degli edifici in cemento armato e muratura II ed.*, EPC Libri 2010;
- S. Bufarini - V. D’Aria - S. Mineo - D. Squillacioti, *Monitoraggio delle strutture*, EPC Libri 2010;
- A. Zizzi - S. Mineo - S. Bufarini - V. D’Aria, *Controlli e verifiche delle strutture di calcestruzzo in fase di esecuzione*, EPC Editore;
- S. Bufarini - V. D’Aria - D. Squillacioti, *Meccanica delle murature: dalla definizione della qualità muraria alle indagini sperimentali mediante la tecnica dei martinetti piatti*, EPC Editore.
- S. Bufarini - V. D’Aria - D. Squillacioti, *COLLAUDO STATICO: prove di carico su solai ed impalcati*, EPC Editore.
- Bufarini, S. Lombardo, V. D. Venturi, *PROVE NON DISTRUTTIVE SU NUOVE STRUTTURE E COSTRUZIONI ESISTENTI - Guida pratica e Capitolato Speciale d'Appalto*, EPC Editore.

**GRAZIE PER LA
VOSTRA ATTENZIONE!**

