



Laboratorio Autorizzato

PROVE SUI MATERIALI DA COSTRUZIONE
Istituto Superiore "S. Calvino - G.B. Amico"



Istituto Superiore "S. Calvino - G.B. Amico"

Via Salemi 49 - 91100 - Trapani
Tel: 0923.21016 - tpis028009@pec.istruzione.it



POMERIGGI DI STUDIO AL LABORATORIO 1° Incontro

16 marzo 2016

Stima della resistenza del calcestruzzo in opera mediante la prova di estrazione (Pull Out)

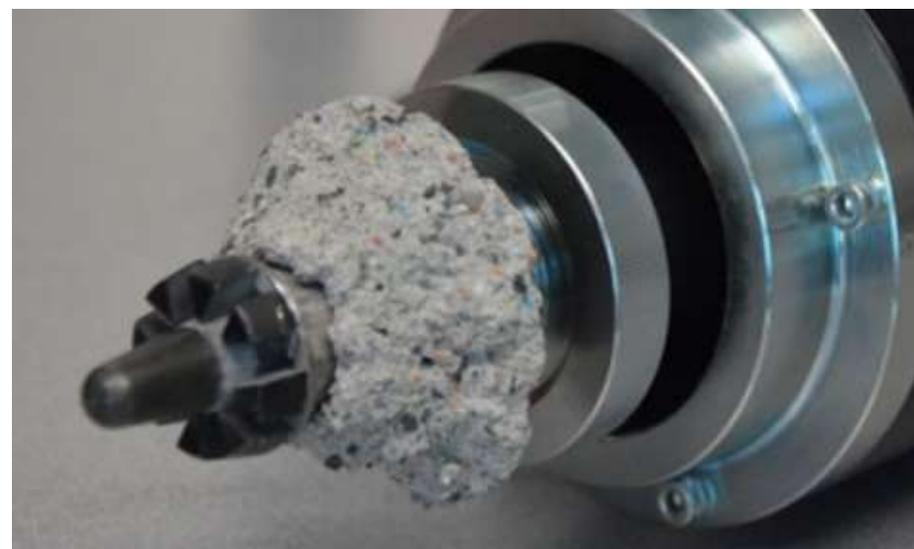
con impiego di innovativo tassello post-inserito conforme alla
norma UNI EN 12504-3

Relatore: Ing. Santo Mineo

Amministratore unico CIMENTO S.r.l. – Laboratorio di diagnostica strutturale
Vicedirettore associazione MASTER – Materials And Structures TESting and Research



Prova PULL-OUT - Noma UNI EN 12504-3



CONTROLLO DELLA RESISTENZA DEL CALCESTRUZZO IN OPERA

Nelle **NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI**, al capitolo 11 “*Materiali e prodotti per uso strutturale*” paragrafo 11.2.6 “**Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera**”, si indica che per la modalità di determinazione della resistenza definita “strutturale” si potrà fare 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” (Prova PULL-OUT);**
- UNI EN 12504-4 “Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici”,



nonché alle:

- **Linee guida** per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive, pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (febbraio 2008).



Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Servizio Tecnico Centrale



La prova PULL-OUT

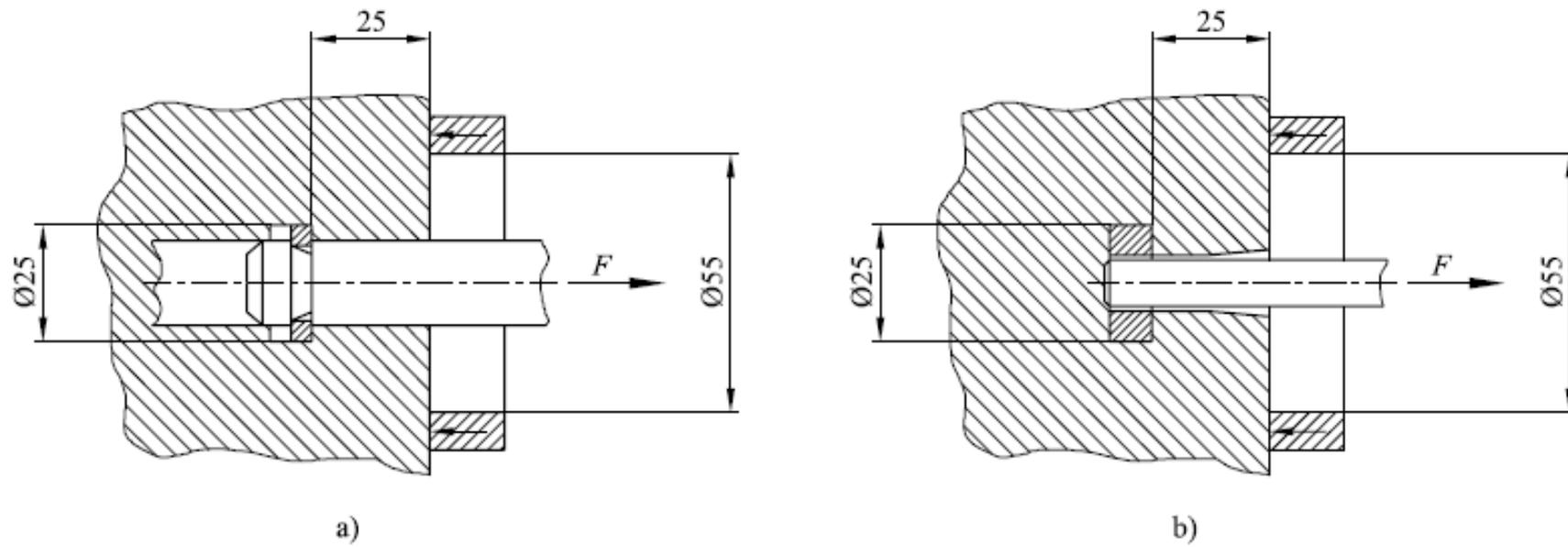
La prova di Pull-Out (conosciuta in Unione Sovietica già nel 1935) è un metodo non distruttivo per il controllo delle qualità meccaniche del calcestruzzo.

La prova viene eseguita inserendo nel calcestruzzo (al momento del getto o in un secondo momento) un apposito inserto (chiamato 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
- uno più grande (testa o disco) che funge da ancoraggio.



La prova consiste nel misurare la forza F necessaria ad estrarre il tassello (inserto) dal calcestruzzo indurito.

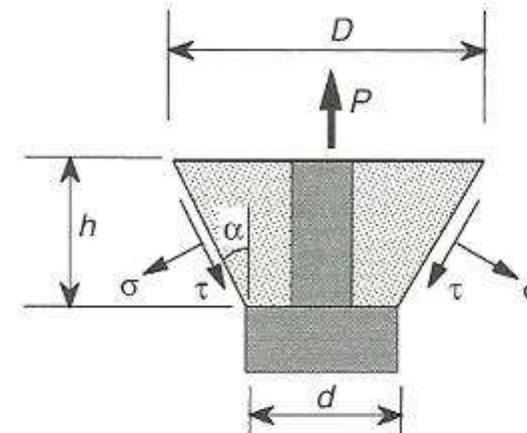
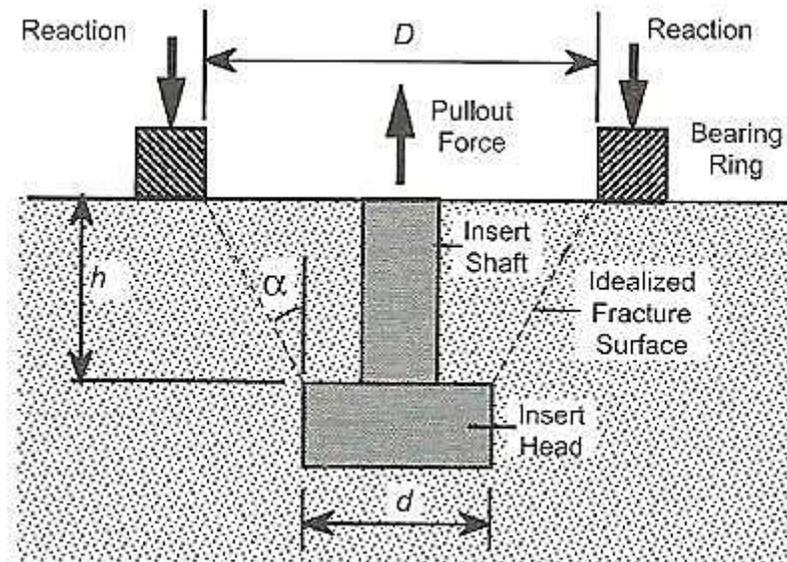


- a) sistema a inserto post-inserito nel calcestruzzo indurito
- b) sistema a inserto preinglobato nel getto



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.

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



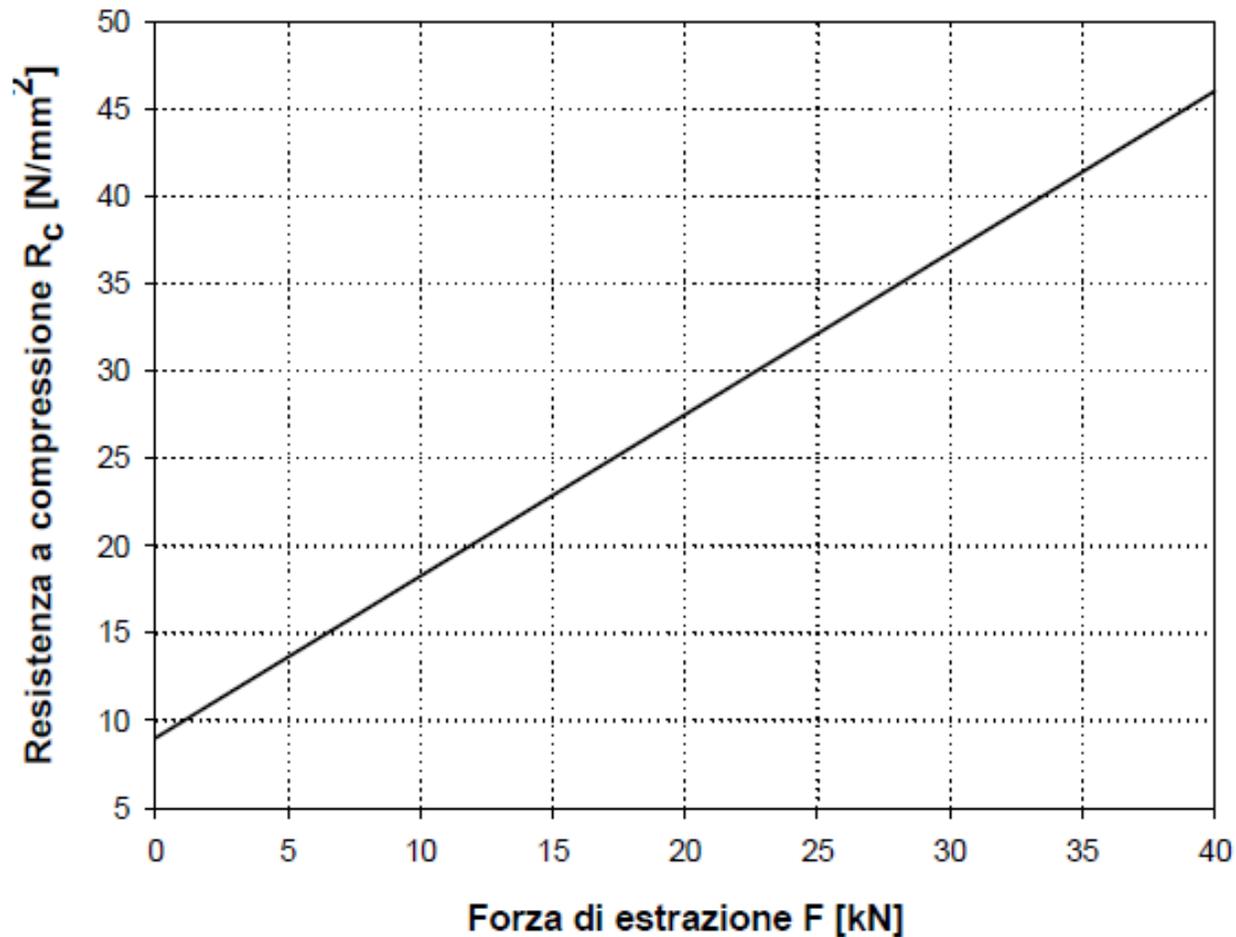
La forza necessaria ad estrarre il tassello consente, **attraverso opportune curve di correlazione**, di stimare la resistenza meccanica a compressione del calcestruzzo in sito.

La correlazione tra la **forza d'estrazione F**, ricavata dalla pressione misurata al martinetto, e la resistenza cubica **R_c** è definito dalla formula:

$$R_c = A + B \cdot F$$

in cui i coefficienti **A** e **B** sono opportunamente calibrati mediante prove distruttive a compressione su carote.





Andamento “**esemplificativo**” della correlazione tra forza di estrazione **F**
e resistenza a compressione **R_c**.

(Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale CC.SS.LL.PP.)

I principali **vantaggi** che il Pull-Out presenta derivano dalle modalità esecutive 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: soltanto pochi centimetri estensione e di profondità.

La misurazione può essere utilizzata, oltre che per stimare la resistenza in sito, nel corso delle lavorazioni per stabilire quando procedere al post tensionamento, quando rimuovere forme e puntelli, oppure per effettuare prove comparative.

Tutto ciò rende tale metodologia un ottimo supporto e complemento alle prove distruttive per la determinazione della resistenza a compressione del calcestruzzo in situ, quali l'estrazione di carote di calcestruzzo indurito e successiva prova a compressione.



In Italia e in Europa tale metodologia di prova è normata dalla
UNI EN 12504-3:2005

NORMA
EUROPEA

Prove sul calcestruzzo nelle strutture
Parte 3: Determinazione della forza di estrazione

UNI EN 12504-3

LUGLIO 2005

Testing concrete in structures
Part 3: Determination of pull-out force

Versione bilingue
dell'ottobre 2007

La norma specifica un metodo che permette di determinare la forza di estrazione del calcestruzzo indurito per mezzo di un inserto preinglobato nel calcestruzzo costituito da un disco e da uno stelo o di un dispositivo simile inserito successivamente per foratura all'interno del calcestruzzo indurito.



UNI EN 12504-3:2005 – Determinazione della forza di estrazione

SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE

Il presente documento specifica un metodo per la determinazione della forza di estrazione del calcestruzzo indurito per mezzo di un inserto preinglobato nel getto costituito da un disco e uno stelo, oppure di un dispositivo simile inserito successivamente per foratura all'interno del calcestruzzo indurito.

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.

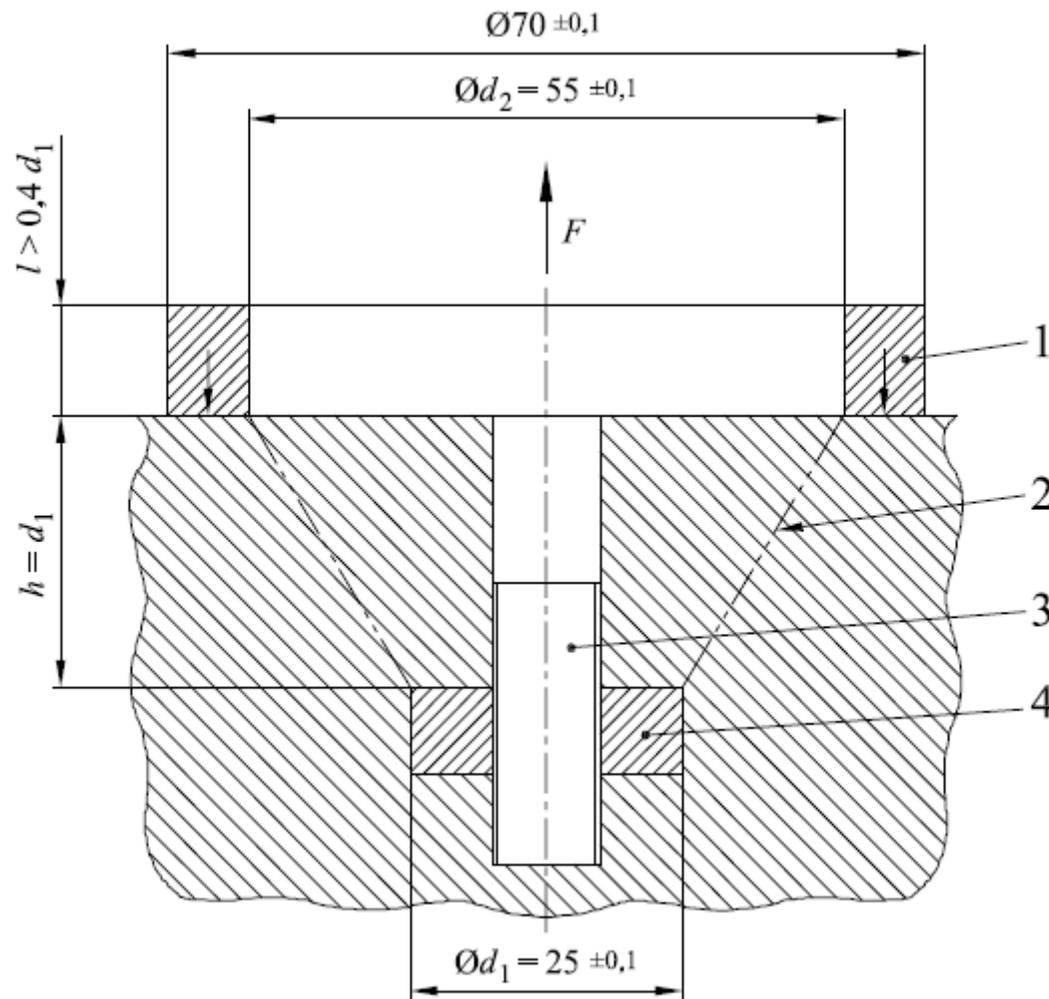
PRINCIPIO

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.



UNI EN 12504-3:2005 – Determinazione della forza di estrazione

Dimensioni normalizzate degli inserti e del contrasto



UNI EN 12504-3:2005 – Determinazione della forza di estrazione

SUPERFICIE DI PROVA

Posizionamento dei provini

I centri delle posizioni di prova devono essere distanziati tra di loro di almeno 200 mm.

I centri devono 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.

Numero delle prove

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

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

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.



UNI EN 12504-3:2005 – Determinazione della forza di estrazione

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 della prova;
- g) tipo di apparecchiatura (preinglobata o post-inserita);
- 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 della prova che la prova è stata effettuata in conformità al presente documento, eccetto per quanto riferito al punto j).



UNI EN 12504-3:2005 – Determinazione della forza di estrazione

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 EN 12504-1.

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

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.



La prova così come descritta dalla norma UNI EN 12504-3:2005 è il sunto di due metodologie di prova, consolidate negli anni:

- la prova **LOK-Test**, relativa ad inserti pre-inglobati;
- la prova **CAPO-Test** (Cut and Pull-Out Test), relative ad inserti post-inseriti.

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 parte corticale di un elemento in calcestruzzo armato è la zona che garantisce la durabilità dell'opera: deve ritardare la carbonatazione del cemento idratato per effetto dell'anidride carbonica, deve proteggere le barre di armatura dagli ioni cloruro (sali disgelanti o aerosol marino), resistere ai cicli di gelo-disgelo, etc.

La profondità di indagine è stata fissata a 25 mm, per evitare il più possibile che nella zona di rottura siano presenti barre di armatura, che potrebbero falsare i risultati di prova.

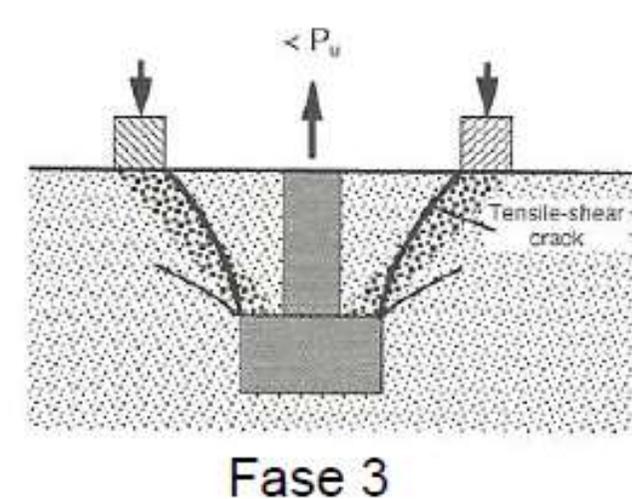
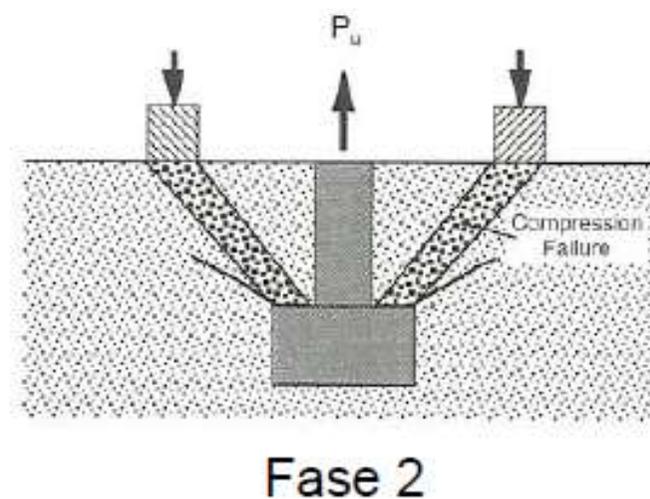
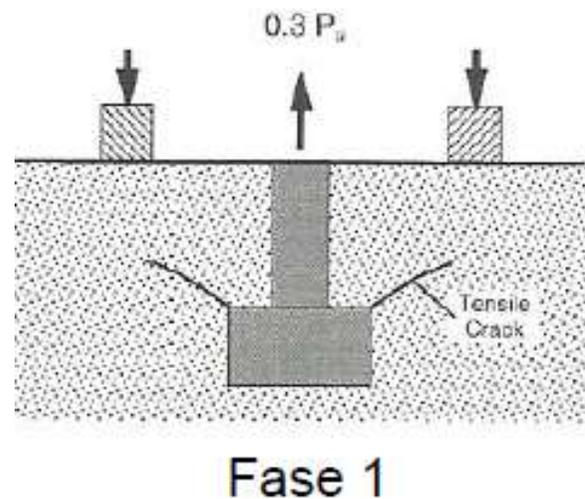
La sperimentazione condotta in Danimarca ha consentito di fissare il diametro interno del disco dell'anello di contrasto a 55 mm, in modo che la retta di correlazione abbia pendenza di 45 gradi.

Infatti, con tale diametro ad **una forza di estrazione di 1 kN corrisponde approssimativamente una resistenza a compressione uguale a 1 MPa.**

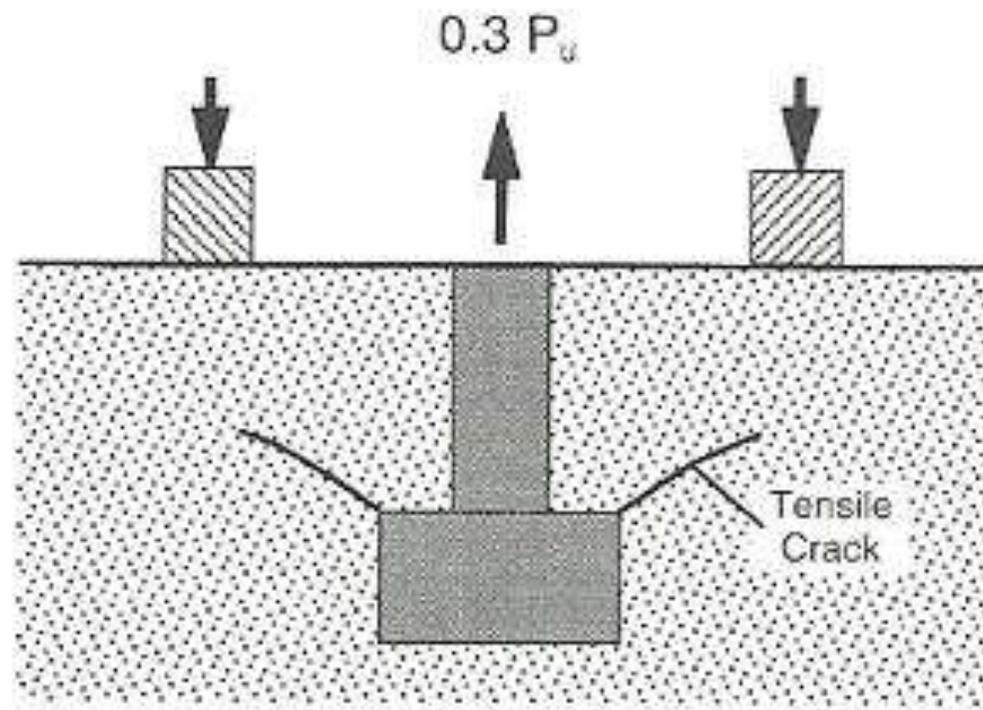


I risultati di molti anni di ricerca dimostrano la **stabilità della correlazione fra la forza di estrazione e la resistenza del calcestruzzo**, che non risulta essere influenzata da **variazioni del tipo di cemento**, dall'**età**, dalla **presenza di vuoti**, dal **tipo e misura degli aggregati che abbiano un diametro massimo di 40 mm.**

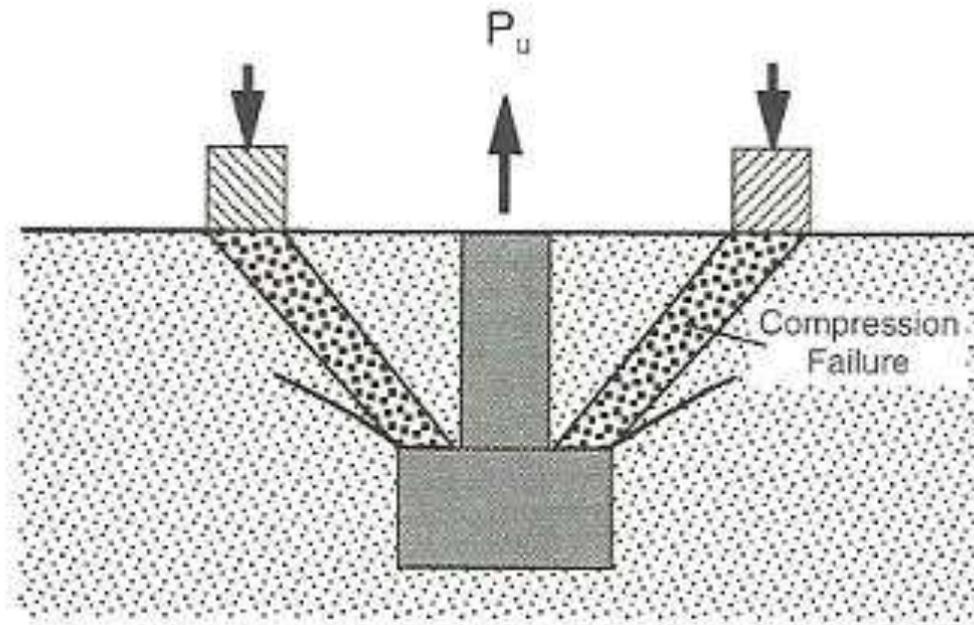
La rottura del calcestruzzo durante una prova di Pull-Out avviene con un **processo costituito da tre fasi distinte**, ognuna delle quali è caratterizzata da un proprio meccanismo di rottura.



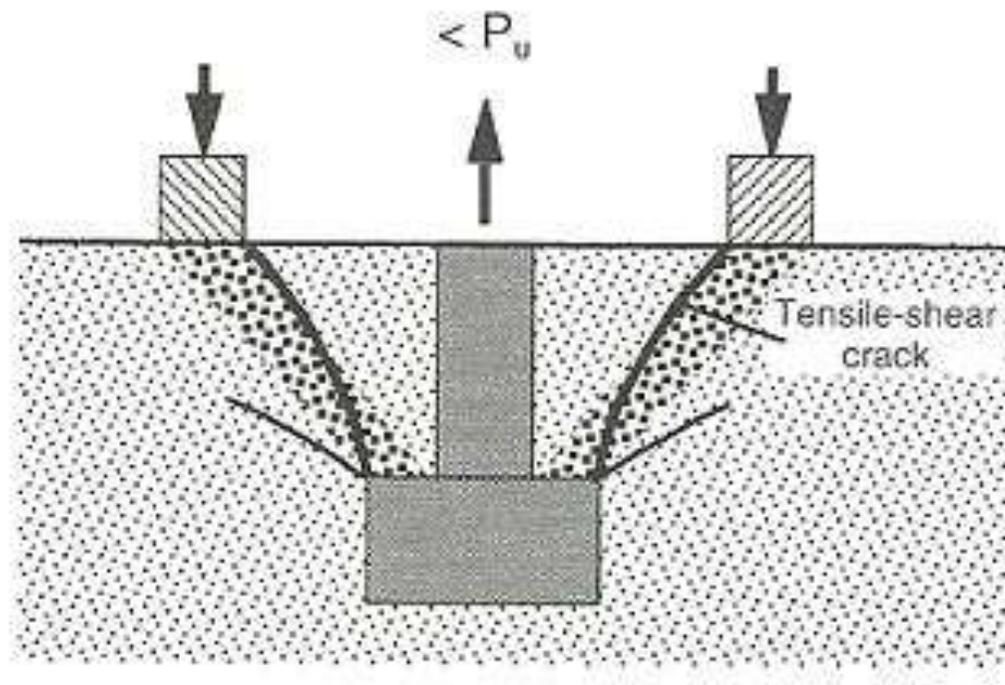
Nella **prima fase**, che corrisponde ad un valore del carico pari al **30% della forza finale di estrazione**, si generano le prime fessure dovute a rotture per trazione in corrispondenza del bordo esterno della parte superiore del disco dell'inserto. Le fessure si espandono dal disco nel calcestruzzo per una lunghezza di 15-20 mm, individuando un cono con un angolo di 100-135 gradi.



Nella **seconda fase** si creano tante microfessure (microcracking) che partono dalla superficie superiore del disco inglobato ed arrivano fino alla superficie del calcestruzzo in corrispondenza dell'area di contatto dell'anello di contrasto (isostatiche di compressione che raggiungono la tensione di rottura del calcestruzzo).



La **terza ed ultima fase** è quella di rottura: si genera una fessura che gira tutta attorno al disco interno dell'inserto, parte dal suo bordo esterno ed arriva in superficie in corrispondenza del bordo interno dell'anello di contrasto.



L'attuale quadro normativo

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 (Deutsches Institut für Normung).

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".



L'attuale quadro normativo

La UNI EN 12504-3:2005 (richiamata nelle Norme Tecniche per le Costruzioni al §11.2.6 “**Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera**”) 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.

In Danimarca ed in Svezia la prova di Pull-Out viene utilizzata come alternativa al carotaggio.

Esecuzione della prova PULL-OUT con l'inserto post-inserito "Thoro"



L'inserto post-inserito, o tassello, "Thoro" nasce in seno ad una ricerca scientifica dal tema "**Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera mediante procedura innovativa per l'esecuzione standardizzata della prova di estrazione (pull-out)**", condotta presso l'Università Politecnica delle Marche dal gruppo di lavoro:

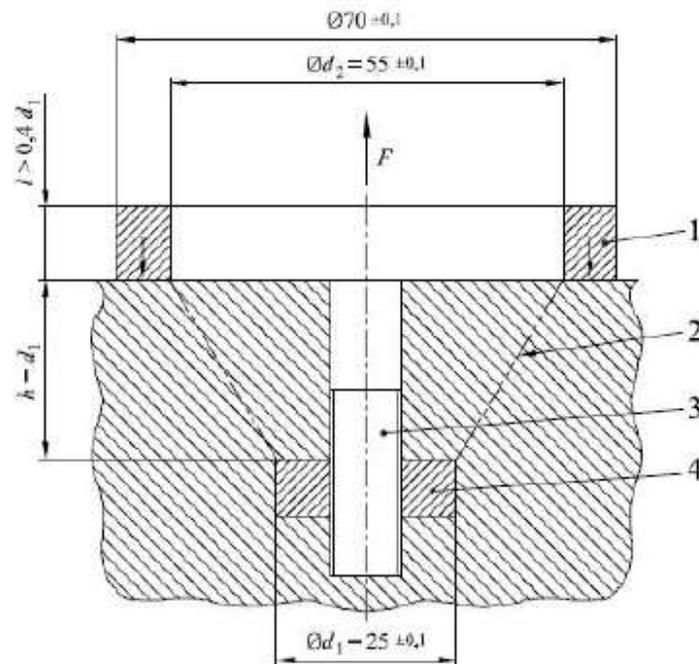
Prof. Ing. Fabrizio Gara, Dr. Stefano Bufarini,

Dr. Vincenzo D'Aria, Ing. Marco Foglia

Lo scopo della ricerca è stato quello di rendere conforme alla norma e standardizzare una metodologia d'indagine non distruttiva per la determinazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo in sito: Prova di estrazione (Pull-Out).



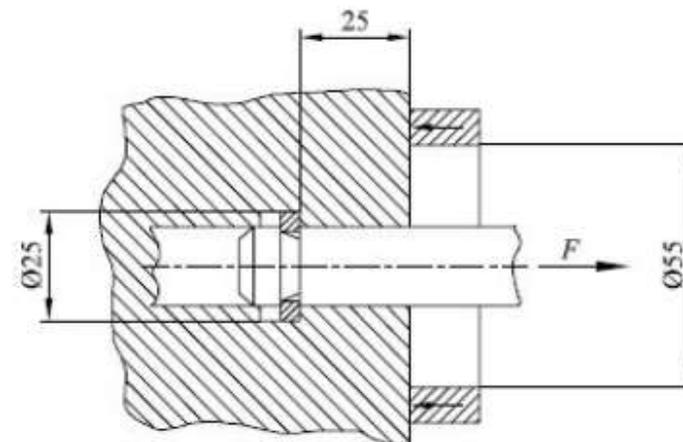
La ricerca ha interessato lo studio del sistema con dispositivo a disco e stelo, post-inserito nel calcestruzzo indurito, col fine di progettare e realizzare un inserto con dimensioni normalizzate con la UNI EN 12504-3.



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

Schema della prova di estrazione



Sistema di inserto a disco e stelo post-inserito

Problematiche della prova con i tasselli attualmente in commercio

Il Pull-Out è stato fino ad oggi poco utilizzato, nonostante la bassa invasività, a causa di problematiche riguardanti l'apparecchiatura .

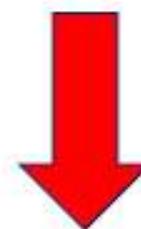
In particolare, la tipologia di inserti post-inseriti sin ora prodotti e commercializzati non rispondono alle caratteristiche richieste dalla norma, determinando:

- una espansione non controllata;
- la presenza di tensioni laterali;
- meccanismi di rottura differenti ed in alcuni casi anomali;
- una elevata variabilità dei risultati;
- una scarsa attendibilità della prova.





Tasselli attualmente utilizzati



Meccanismi di rottura differenti ed anomali

Fasi della ricerca

Fase A)

Progettazione e prototipazione di un innovativo tassello post-inserito ad espansione controllata, in grado di rispettare le caratteristiche geometrico-dimensionali riportate nella norma vigente UNI EN 12504-3:2005.

Fase B)

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



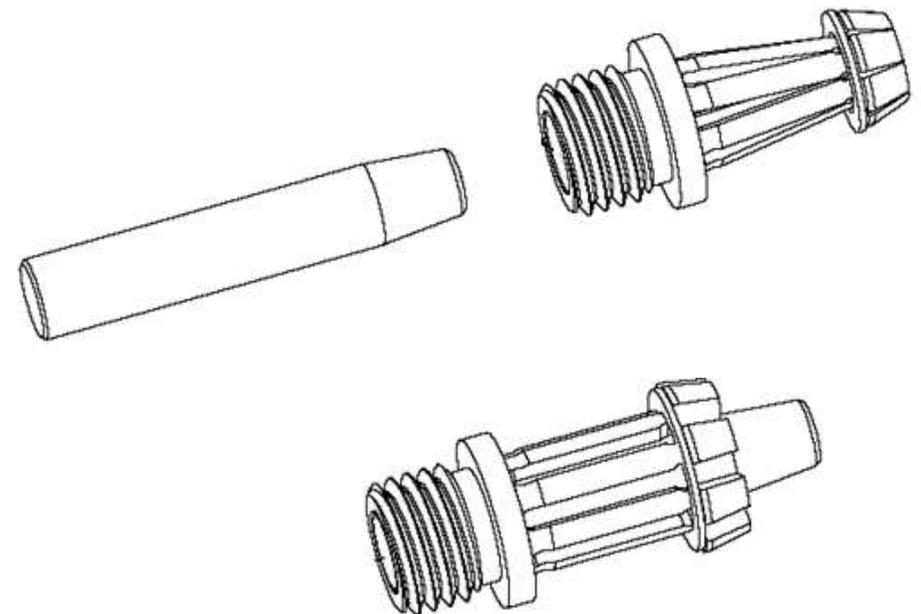
Descrizione del tassello

Il tassello (inserto) *Thoro* è costituito da un elemento di acciaio internamente cavo formato dai seguenti componenti:

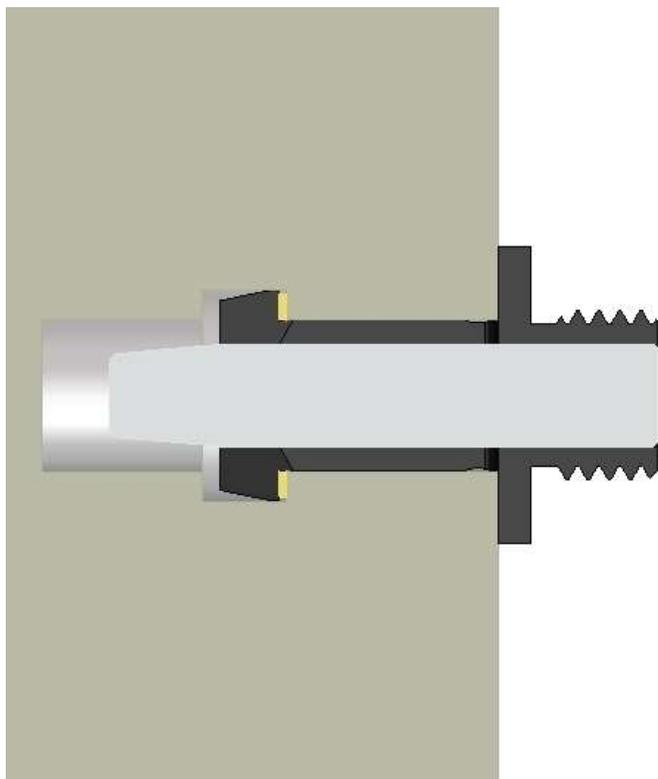
- base dotata di filettatura esterna;
- allargamento esterno che funge da fermo corsa nella fase di inserimento del tassello nel calcestruzzo;
- una parte terminale internamente cava, collegata all'allargamento esterno e destinata ad essere inserita nel calcestruzzo; detta parte presenta intagli longitudinali che definiscono nervature terminanti con allargamenti esterni convergenti nella sommità, ottenuti mediante aumento della sezione delle nervature e formanti una porzione troncoconica nella testa del tassello;



- rondella aperta di acciaio, disposta subito prima della porzione troncoconica per ripartire uniformemente il carico;
- capsula 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 entro il tassello.



Sperimentazione in laboratorio

La preparazione del lavoro sperimentale su calcestruzzi di nuova generazione ha avuto inizio con il getto di cinque pilastrini in c.a. (dimensione 30x30x100 cm), ciascuno confezionato con una resistenza caratteristica a compressione differente.

Armature metalliche dei pilastrini



Fasi di getto dei pilastrini



Configurazione finale dei pilastrini



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).

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



Indagini e prove eseguite

Ultimata la fase di preparazione, si è proceduto ad effettuare le seguenti prove ed indagini in laboratorio sui provini cubici e sui pilastrini confezionati:

- 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 pilastrini confezionati per l'identificazione delle armature all'interno dei getti di calcestruzzo;
- 1600 battute sclerometriche per la determinazione della durezza superficiale e la stima della resistenza in sito del calcestruzzo;



- 80 punti di misura per determinare la velocità di propagazione di impulsi ad onde vibrazionali ad alta frequenza (ultrasuoni) e stimare la resistenza in sito del calcestruzzo;
- prova di pull-out, eseguita su 60 punti di misura utilizzando l'innovativo tassello post-inserito, per determinare la forza di estrazione del calcestruzzo e stimarne la resistenza in sito;
- carotaggio dei 5 pilastri e successivo schiacciamento dei provini cilindrici estratti per determinare la resistenza cilindrica a compressione del calcestruzzo.



Indagini magnetometrica e sclerometrica



Indagine ultrasonica



Operazione di carotaggio



Provini cilindrici estratti



Schiacciamento provini cilindrici estratti



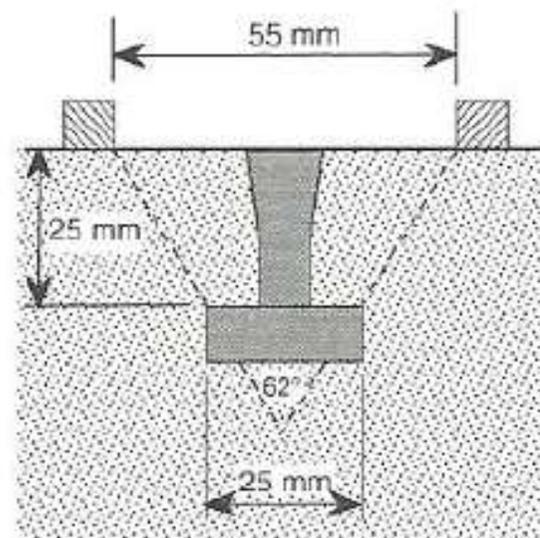
Fase di estrazione



Foro rimanente sul pilastro



Frammenti conici estratti

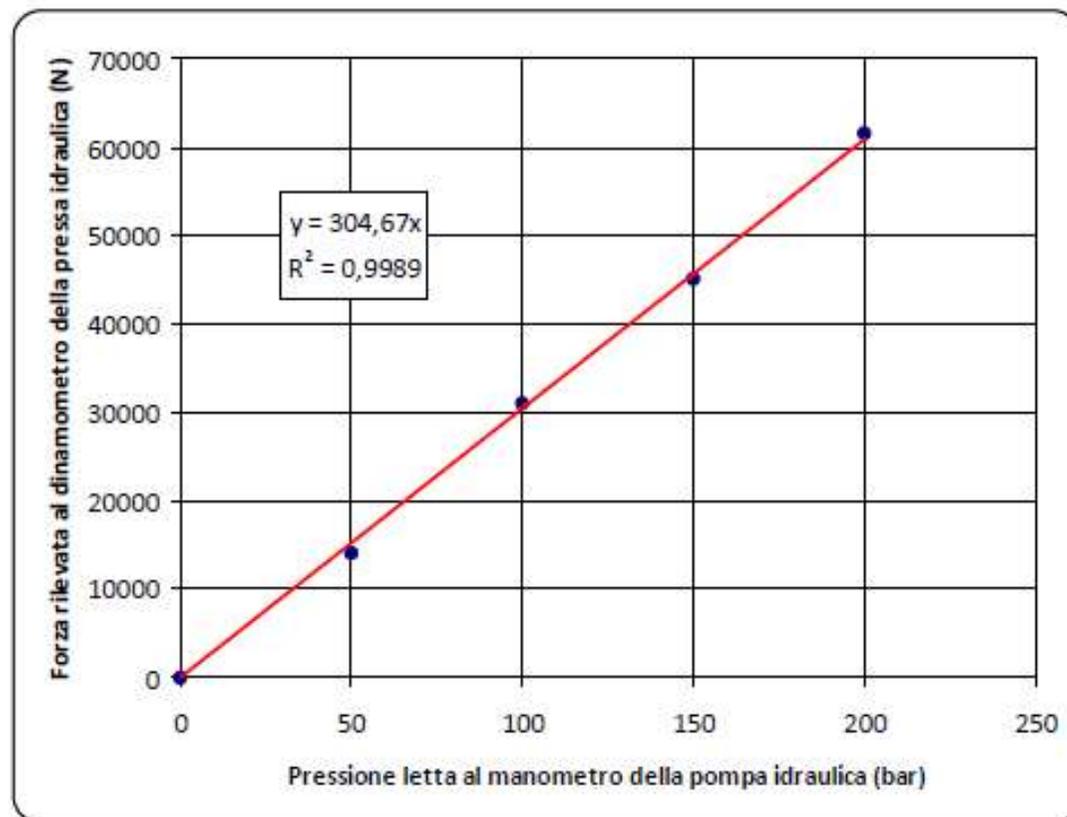


Frammenti conici estratti



Meccanismi di rottura perfettamente conformi alle direttive della norma

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).



Risultati ottenuti

- la standardizzazione dell'esecuzione della prova di estrazione (Pull-Out) 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.

In conclusione si può affermare che la ricerca ha avuto un esito particolarmente positivo e può essere definita un'ottima base di partenza per una decisiva e fondamentale innovazione nel campo del controllo della resistenza del calcestruzzo in opera, attraverso la prova di estrazione completamente standardizzata.



Prova di estrazione (Pull-Out) con tassello *Thoro*

Modalità esecutive

1. Perforazione del calcestruzzo con punta elicoidale al widia, con guida a baionetta, azionata da trapano a percussione.
2. Successivo allargamento del foro ad una prefissata profondità dalla superficie tramite alesaggio con fresa con testa diamantata munita di distanziatore.
3. Rimozione della polvere dal foro a mezzo di aria in pressione.
4. Inserimento del tassello.



5. Espansione geometrica controllata dell'inserto (tassello) e della rondella, mediante battitura meccanica della capsula, che si collocheranno nella sede della perforazione precedentemente realizzata mediante alesaggio.
6. Avvitamento dello stelo estrattore del martinetto oleodinamico all'inserto
7. Pressurizzazione del martinetto sino ad estrazione dell'inserto.
8. Registrazione della pressione massima raggiunta dal martinetto e conversione in forza applicata.



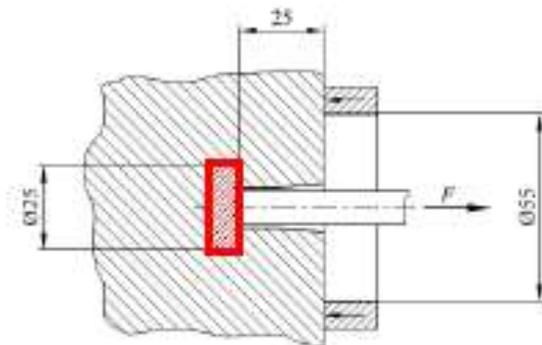


Guida a baionetta per trapano percussore per realizzare perforazioni perpendicolari alla superficie di prova



Fresa diritta per esecuzione alesaggio con disco diamantato della sede della testa del tassello

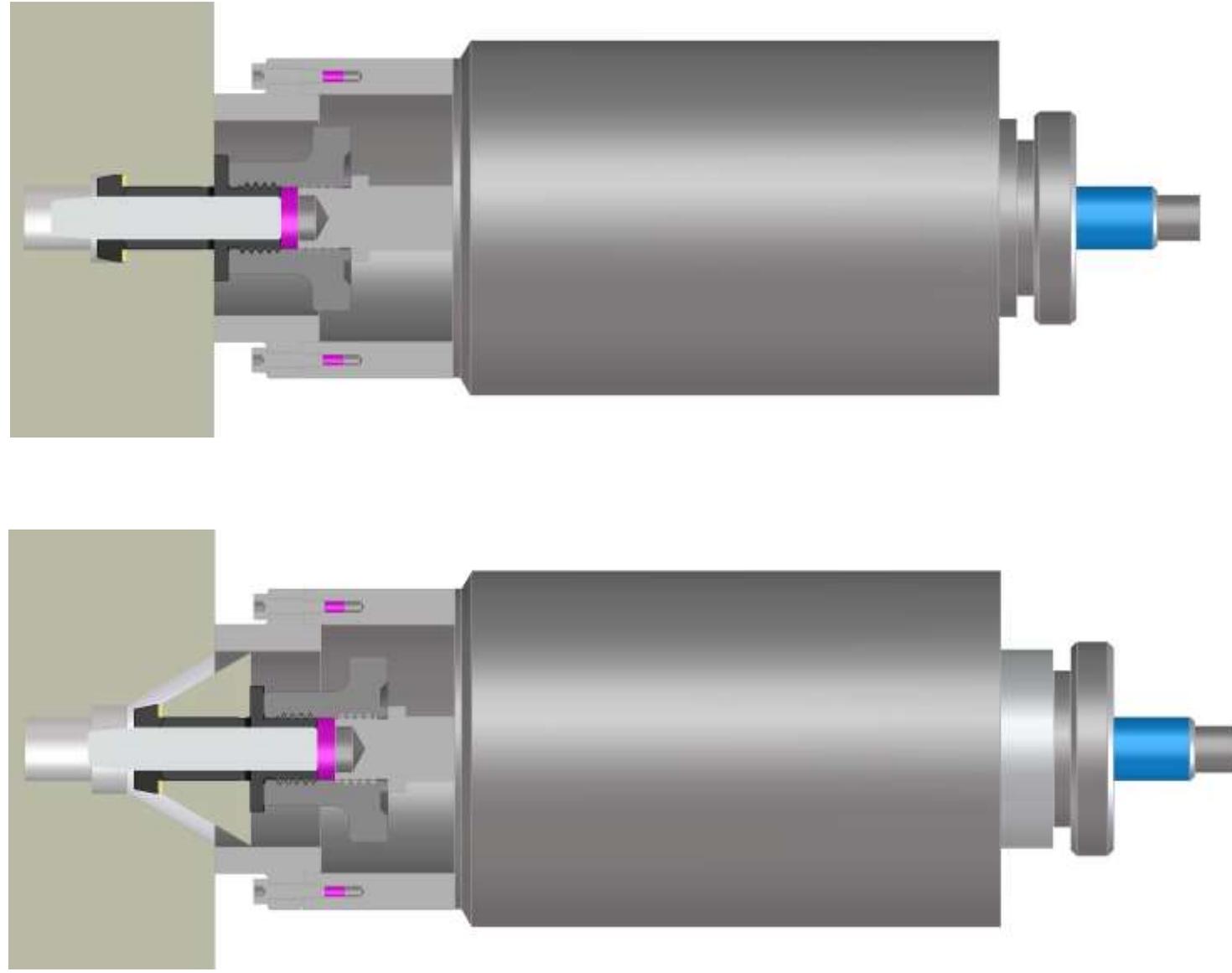












Relazione tra la forza di estrazione e la resistenza in sito del calcestruzzo

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 (rif. UNI EN 12504-1:2009 “Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 1: Carote - Prelievo, esame e prova di compressione”).

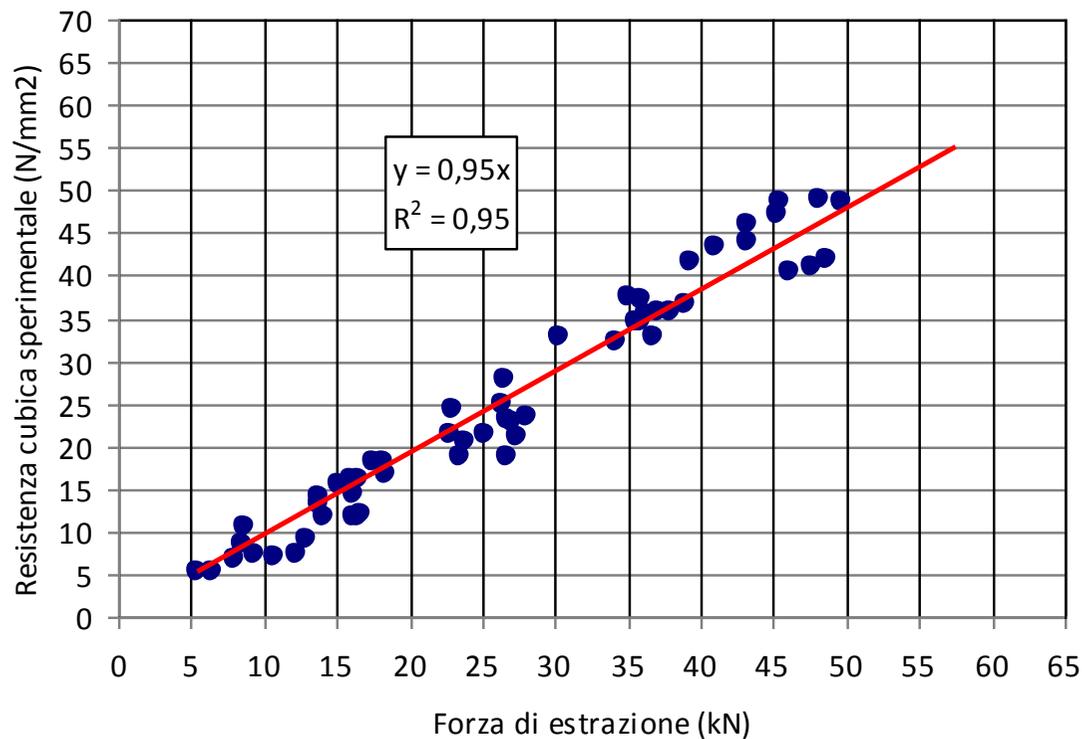
La norma UNI EN 12504-3:2005, definisce, tra l'altro, che *“è stato dimostrato che la relazione tra la forza di estrazione e la resistenza a compressione è simile per una vasta gamma di calcestruzzi e che è quindi possibile utilizzare una correlazione generale di sufficiente accuratezza”*.

Una vasta sperimentazione eseguita su campioni in calcestruzzo e su elementi strutturali di immobili realizzati negli anni '70/80, impiegando il 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:

$$1 \text{ kN} = 0,95 \text{ N/mm}^2$$

con un coefficiente di determinazione R^2 pari a 0,95





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.

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

Bibliografia

Leggi, Norme e Raccomandazioni

- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008).
- Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 contenente le *“Istruzioni per l’applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008”*.
- *Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive*, Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale, febbraio 2008.
- Norma UNI EN 12504-3:2005 - *“Prove sul calcestruzzo nelle strutture – Determinazione della forza di estrazione”*.

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. Squillaciotti, *Monitoraggio delle strutture*, EPC Libri 2010.
- 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. Squillaciotti, *COLLAUDO STATICO: prove di carico su solai ed impalcati*, EPC Editore.

