

UNA NUOVA PROVA DI PULL OUT. PARTE I: LIMITI DEI SISTEMI ATTUALI

F. Bovio, G. Bovio

BOVIAR s.r.l. – Milano

A. Brencich¹, G. Cassini², G. Riotto², D. Pera³

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale - DICCA, Univ. di Genova.

¹ Direttore Tecnico dei Laboratori DICCA

² Laboratori DICCA, Ingegnere, Ph.D.

³ Laboratori DICCA, Ingegnere

Tematiche: controlli e caratterizzazione meccanica e monitoraggio dell'ingegneria civile, tecniche innovative nel controllo NDT in campo civile, tecnologie e strumentazione.

Sommario

Tipicamente, la prova di pull-out è riconosciuta come una delle tecniche più affidabili per la stima della resistenza del calcestruzzo in opera, sia in costruzioni nuove che esistenti. Lo Stato Limite Ultimo indotto dall'estrazione dell'inserito dal calcestruzzo è una misura diretta della resistenza del materiale che può essere correlato, anche teoricamente con la resistenza a compressione.

Le ricerche svolte su questo tema hanno portato alla definizione di alcune procedure standardizzate in genere differenziate da paese a paese. Allo stato attuale in Italia viene utilizzata una tecnologia a tasselli post-inseriti che manifesta limiti ed incertezze: non applicabile per stati tensionali di trazione, diverse campagne d'indagine svolte dai Laboratori DICCA su strutture esistenti hanno dimostrato un'affidabilità alquanto discutibile della curva di calibratura usata in generale sia per la sensibilità della prova a specifiche condizioni operative che per la mancata differenziazione della calibratura per stati tensionali differenziati.

In questo lavoro vengono presentati e discussi i dati delle campagne sperimentali svolte dai laboratori DICCA che pongono alcuni dubbi sull'affidabilità dell'attuale procedura di pull out. Individuando i fattori di vulnerabilità dell'attuale tecnologia.

Introduzione

La prova di *pull-out* consiste nella misura della forza necessaria ad estrarre un inserto metallico, con estremità allargata, ancorato nel calcestruzzo. La forza di estrazione viene applicata all'inserto da un martino idraulico cavo appoggiato sulla struttura, e su questa contrastato mediante un anello metallico integrato nel corpo del martino, figura 1. A questo modo l'inserto estrae un cono di calcestruzzo le cui dimensioni dipendono dalla geometria del sistema di prova.

L'estrazione dell'inserto determina, sulla superficie di rottura, uno Stato Limite Ultimo per taglio-trazione: la forza di estrazione misurata costituisce, quindi, una misura diretta della resistenza del materiale che può essere correlata, mediante specifiche curve di taratura, alla resistenza a compressione del materiale [1, 2], figura 2. Anche se l'idea

originale risale agli anni '30 [3, 4], il pull-out moderno deriva dalla ricerca sviluppata in Danimarca negli anni '60 e '70 (*Lok-test*, termine danese per *punch-out test*) [5] e da quella sviluppata successivamente negli USA [1, 6 e 7].

Il meccanismo di collasso è rappresentato in figura 1: all'inizio del processo di carico si attiva una fessura per trazione a partire dall'espansione del tassello (figura 1.a) la cui propagazione, alla crescita del carico, viene arrestata dalla formazione di un puntone compresso di calcestruzzo di forma tronco-conica (figura 1.b). La condizione limite di collasso viene raggiunta in corrispondenza del carico massimo con uno stato tensionale misto, sulla superficie di collasso, di taglio-trazione (figura 1.c) a cui è dovuta la concavità della superficie di frattura [5].

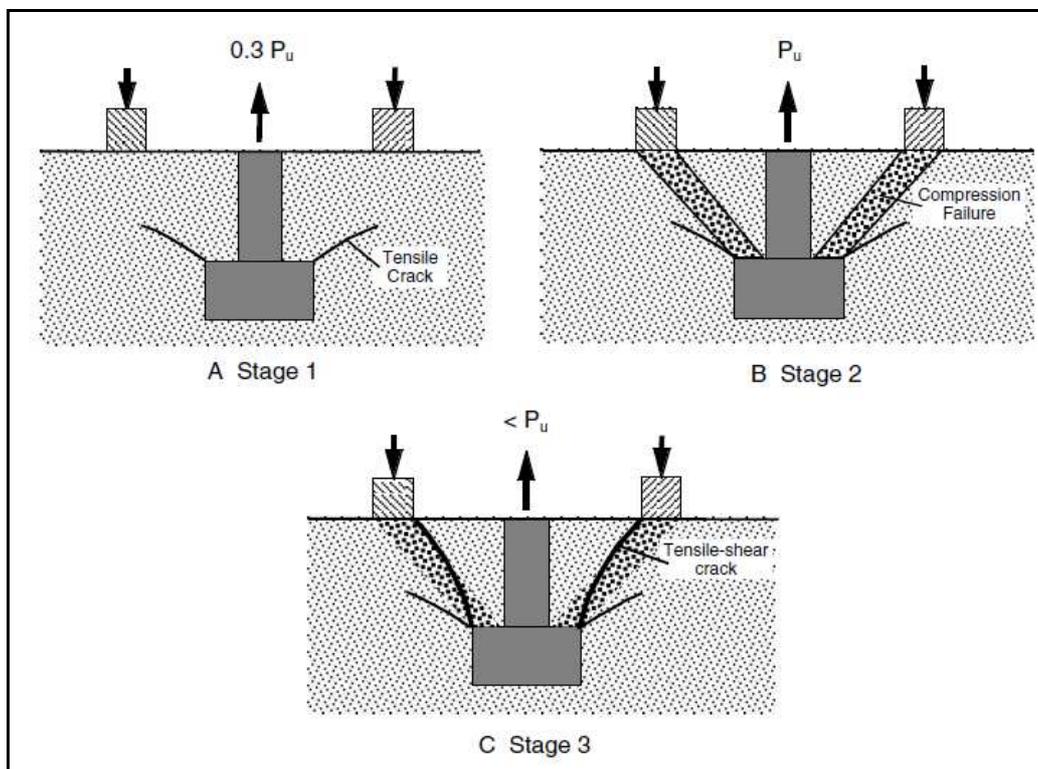


Figura 1: Meccanismo di collasso della prova di *pull-out* [1]

La buona precisione ottenibile nella stima della resistenza del calcestruzzo con questa tecnologia richiede non solo il posizionamento dell'inserito prima del getto, ma anche una particolare cura nella costipazione del calcestruzzo per non alterare la posizione dell'inserito e per non introdurre alcuna disomogeneità nelle sue vicinanze, circostanze che entrambe potrebbero falsare i risultati o ridurre la precisione.

Tra le caratteristiche di questa prova, è necessario osservare che:

- la curve di correlazione forza di estrazione-resistenza del calcestruzzo di figura 2 vengono ricavate da prove su campioni standard di calcestruzzo su cui non viene applicato alcun altro carico se non l'azione del martino idraulico e, al più, dei sistemi di confinamento per evitare rotture per trazione trasversale indotta, figura 3; a questo

modo, le curve di calibrazione del *Lok-test* vengono ricavate da campioni sottoposti ad uno stato tensionale esterno nullo;

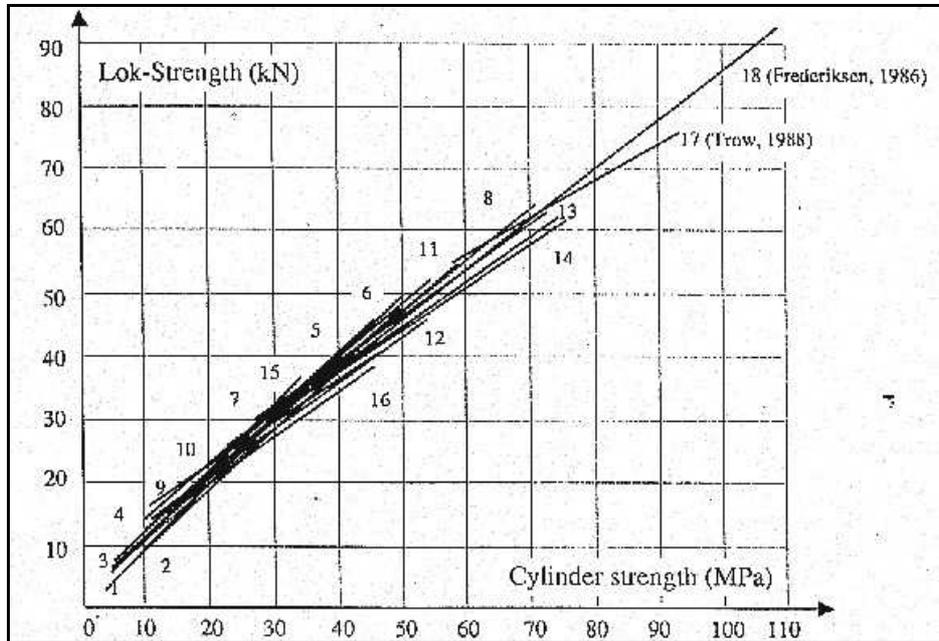


Figura 2: Curve di calibrazione del *Lok-test* [12]

- il *Lok-test* è inapplicabile a strutture esistenti, che costituiscono la maggior parte dei campi di applicazione attuali in Italia.

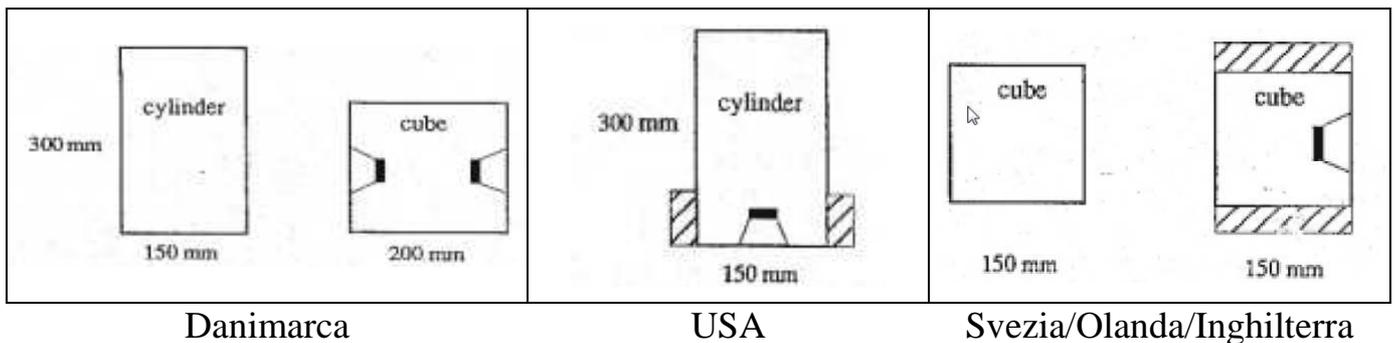


Figura 3: Configurazioni di taratura del *Lok-test* per dedurre le curve di calibrazione [12]

Pull-Out su strutture esistenti

Per le strutture esistenti sono state sviluppate due diverse tecnologie, accomunate dalla disposizione di tasselli inseriti a posteriori (post-inseriti) che tendono a riprodurre condizioni geometriche analoghe a quelle dei tasselli pre-inseriti: i) foro con fresatura di sottosquadro, accoppiato ad un disco espandente, noto come *CAPO-test* [Cut-And-Pull-Out test, 8-11], figura 4; ii) foro tronco-conico accoppiato ad un tassello ad espansione, figura 6.

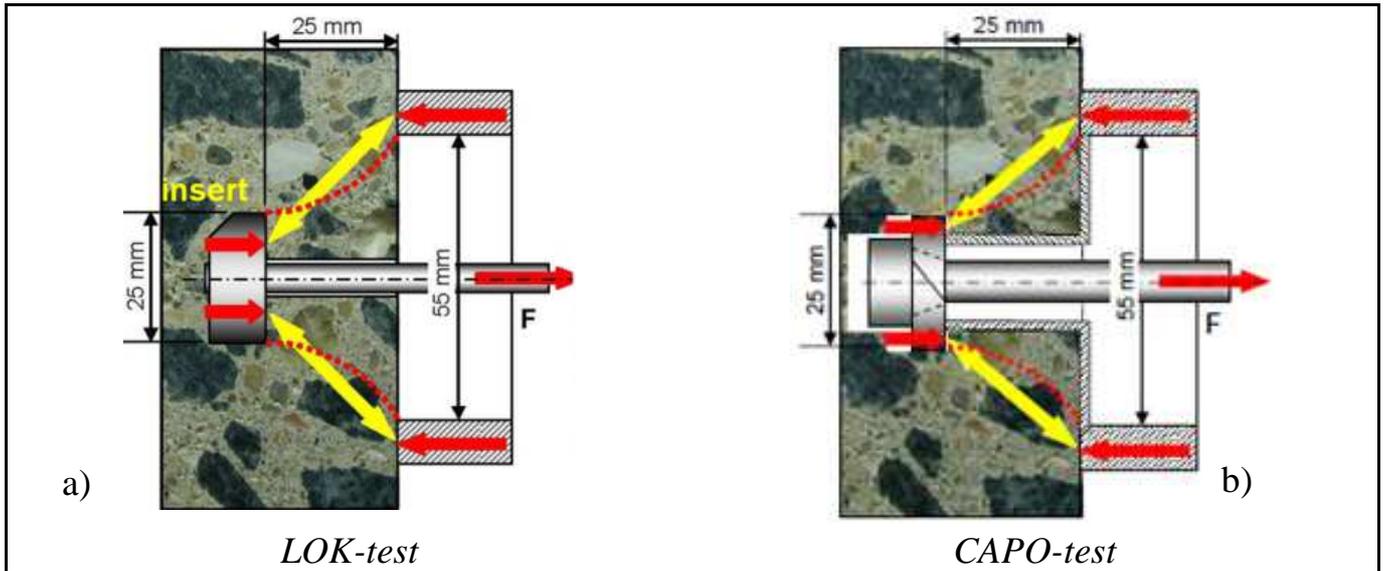


Figura 4: Confronto tra la geometria di *LOK-* e *CAPO-test*

In generale, i risultati sperimentali sviluppati ad oggi hanno dimostrato una minore precisione degli inserti post-inseriti rispetto ai tasselli pre-inseriti [1]. La sperimentazione degli anni '70 ed '80 ha dimostrato che la correlazione forza di estrazione-resistenza del calcestruzzo per il *CAPO-test* è analoga a quella del *Lok-test*, figura 5. Si osserva come, oltre a proporre un'unica curva di taratura indipendente dallo stato tensionale, le curve di taratura di *Lok-* e *CAPO-test* sono lineari non passanti per l'origine. Questa circostanza appare anomala in quanto un materiale con resistenza a compressione nulla, ad esempio una sabbia perfettamente asciutta, dovrebbe presentare una resistenza all'estrazione del tassello anch'essa nulla.

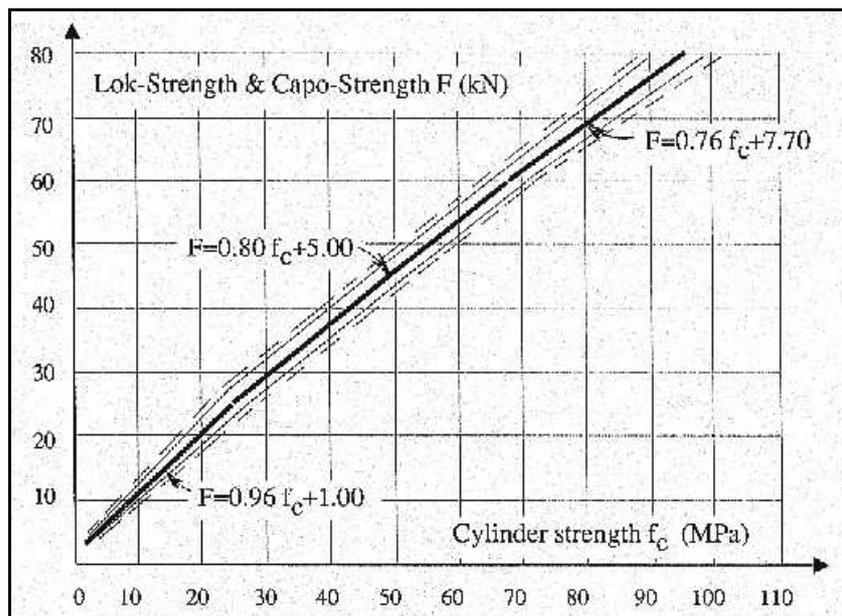


Figura 5: Curve di calibrazione di *Lok-test* e *CAPO-test*[12]

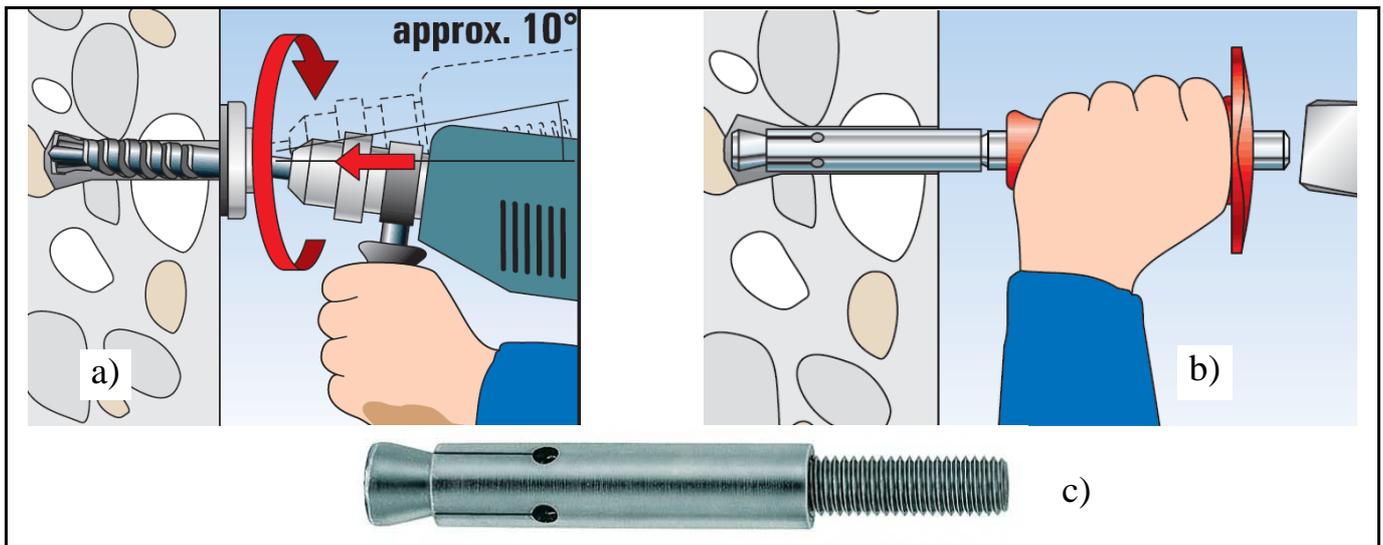


Figura 6: Procedura di post-inserimento del tassello con sottosquadro e tassello espandente

La tecnologia ampiamente usata in Italia, figura 6, costituisce una semplificazione del *CAPO-test* e risulta conforme agli standard UNI EN 10157_1992. Una volta eseguita la perforazione cilindrica, con punta di 14mm di diametro fino alla profondità di 45mm, con una speciale punta basculante viene eseguito un sottosquadro, figura 6.a, per realizzare un foro tronco-conico con diametro alla base di circa 17-18mm. Il tassello viene allargato mediante percussione, figura 5.b., in modo da ancorare il tassello alla struttura; la geometria del tassello consente di realizzare un'espansione massima di 18mm, di poco maggiore rispetto al diametro di base del sottosquadro. Le curve di correlazione attualmente impiegate sono riprodotte in figura 7. Entrambe semirette, la curva di maggiore spessore è quella più frequentemente utilizzata in quanto fornita dai produttori della strumentazione e derivata dallo stesso produttore del tassello ad espansione, mentre la curva tratteggiata risulta da letteratura tecnica reperibile sul web [13]. Entrambe le curve non presentano supporti scientifici pubblicati in sede internazionale.

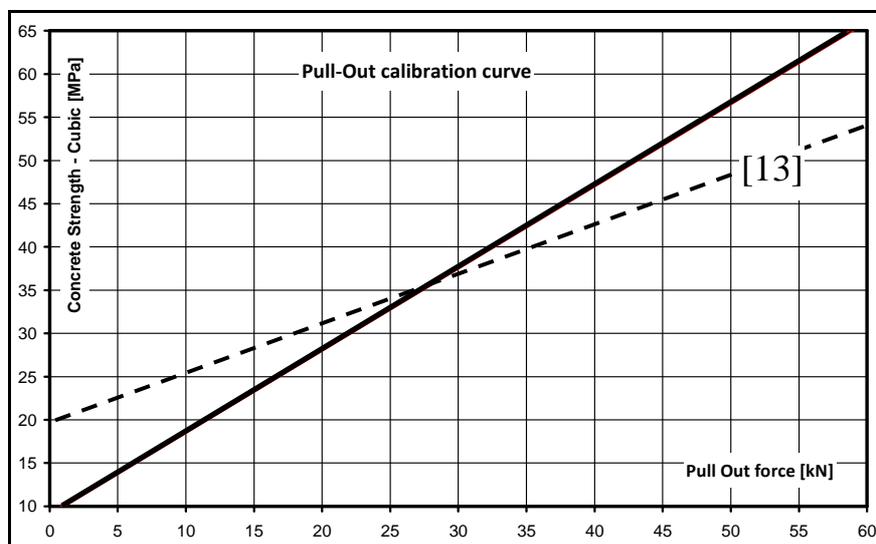


Figura 7: Curve di correlazione per il tassello espandente con sottosquadro.

Prestazioni e limiti dell'attuale procedura di pull-out

L'attività sul campo dei Laboratori del DICCA della Scuola Politecnica dell'Università di Genova ha consentito di eseguire ampie e sistematiche campagne sperimentali per la determinazione della resistenza del calcestruzzo in opera. Oltre all'impiego di diverse tecniche, è stato eseguito un confronto diretto tra le stime fornite dalle prove di pull-out tradizionale e la misura diretta su carote. Nel seguito vengono riassunti i dati delle tre campagne più rappresentative, due eseguite su calcestruzzi giovani ed una su calcestruzzi di oltre 50 anni, in cui lo spessore delle strutture o altre circostanze specifiche hanno consentito di eseguire la prova di pull-out nella stessa posizione in cui è stata prelevata la carota.

Campagna n. 1: strutture di copertura di un fiume, spessore delle strutture carotate non inferiore a 50cm. 23 carotaggi e 62 pull-out in corrispondenza dei 23 carotaggi su strutture di fondazione e su pareti di taglio. $\phi_{\text{carote}}=94\text{mm}$; rapporto $(h/\phi)_{\text{carote}}=2.00$.

Resistenza stimata da pull-out: da 50 a 60 MPa

Resistenza misurata su carota: da 35a 50 MPa

La figura 8 riporta il confronto tra la retta di taratura fornita dal produttore dei tasselli (figura 7), la resistenza delle carote e la retta di taratura deducibile con i dati diretti delle carote. Si osserva come la sovrastima della resistenza possa arrivare al 50% del valore rilevato su carota sia per le fondazioni che per le strutture in elevazione, ovvero per strutture tutte con modesto stato tensionale di compressione. Per le strutture verticali, la distribuzione dei punti sperimentali (carote) risulta alquanto diversa da quella prevista da una retta crescente, figura 8.b.

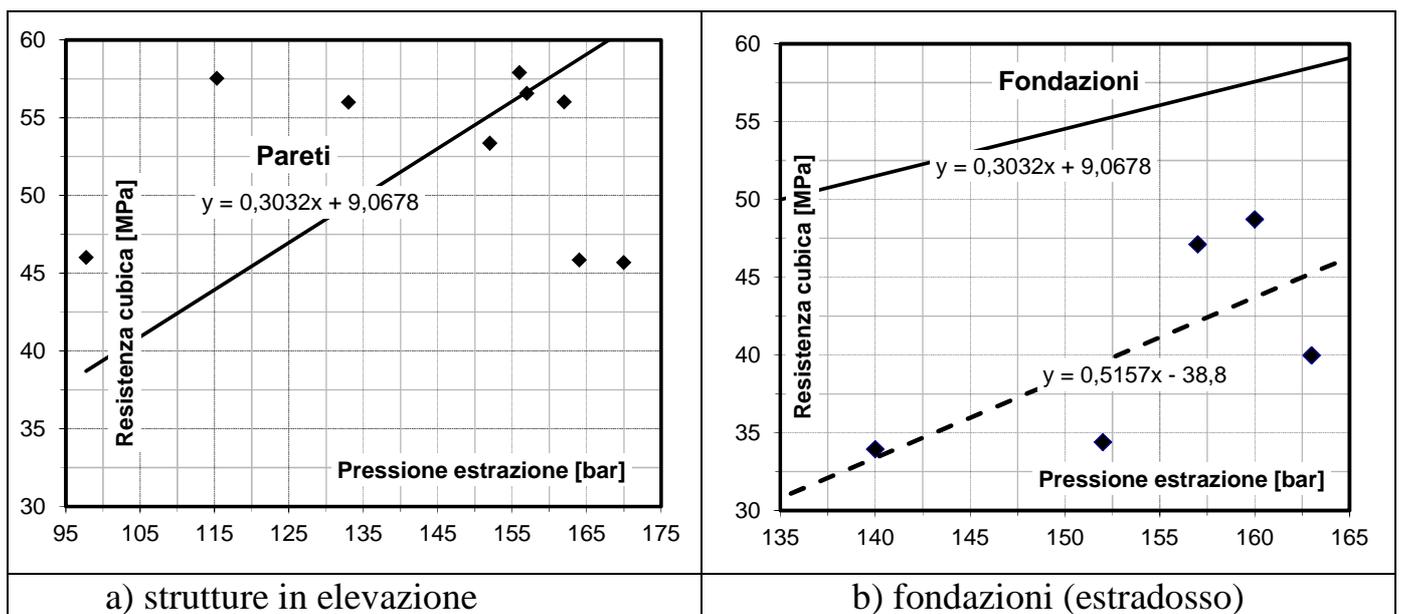


Figura 8: Curva di correlazione del produttore e dati sperimentali. Campagna n. 1.

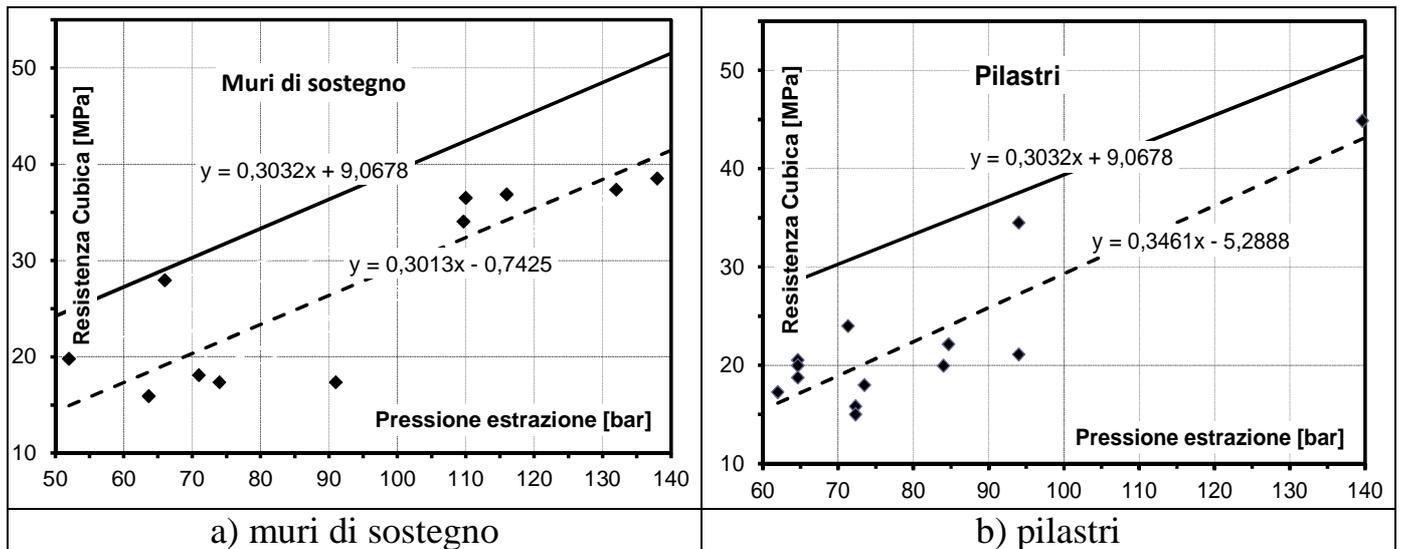


Figura 9: Curva di correlazione del produttore e dati sperimentali. Campagna n. 2.

Campagna n. 2: muri di sostegno e pilastri di edifici di civile abitazione (a due piani).

Resistenza misurata su carote e su cubi ricavati dal taglio di monconi dei pilastri. 2 prove su cubo, 8 prove su carota, 50 pull-out. $\phi_{\text{carote}} = 80$ e 100mm ; rapporto $(h/\phi)_{\text{carote}} = 2,00$.

Resistenza stimata da pull-out: da 25 a 55 MPa

Resistenza misurata su carota: da 15 a 45 MPa

La figura 9 riporta il confronto tra la retta di taratura fornita dal produttore dei tasselli (figura 7), la resistenza delle carote e la retta di taratura deducibile con i dati diretti delle carote. Si osserva come la sovrastima della resistenza possa superare il 50% del valore rilevato su carota. Tutte le strutture provate erano caratterizzate da stati tensionali modesti, con basso gradiente per i pilastri e con elevato gradiente per i muri di sostegno.

Campagna n. 3: pilastri di edificio di civile abitazione pluripiano dei tardi anni '30.

Resistenza misurata su carote. 14 prove su carota, 35 pull-out. $\phi_{\text{carote}} = 100\text{mm}$; rapporto $(h/\phi)_{\text{carote}} = 2,00$.

Resistenza stimata da pull-out: da 18 a 37 MPa

Resistenza misurata su carota: da 5 a 23 MPa

La figura 10 riporta il confronto tra la retta di taratura, la resistenza delle carote e la retta di taratura deducibile con i dati diretti delle carote. Si osserva come la sovrastima della resistenza possa dare un quadro della situazione del tutto non corrispondente alla situazione reale.

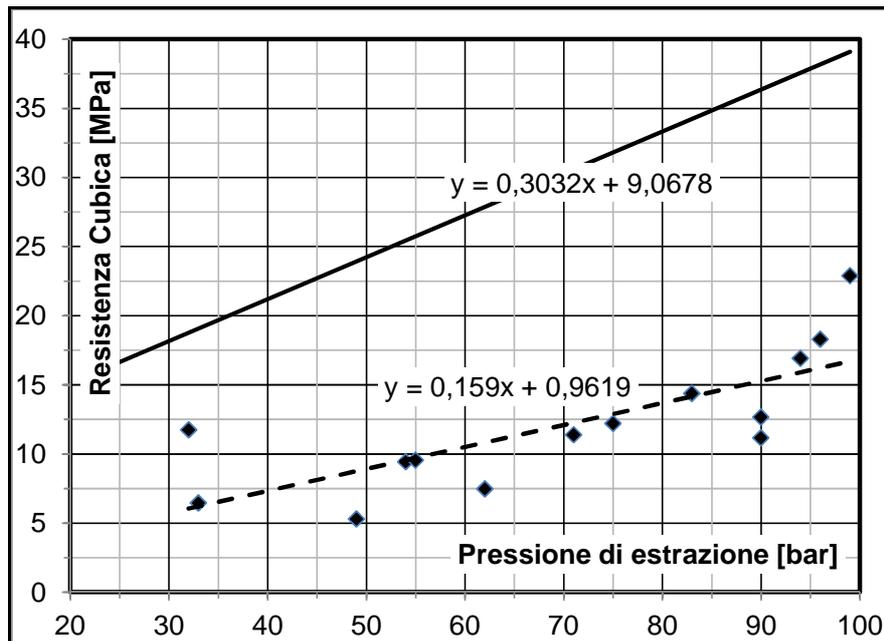


Figura 10: Curva di correlazione del produttore e dati sperimentali. Campagna n. 3.



Figura 11: Deformazione dei tasselli e forma del cono.

La figura 11.a rappresenta la tipica deformazione dei tasselli al termine della campagna 1, in cui i calcestruzzi hanno manifestato resistenze molto elevate, anche di 60MPa. Si osserva che il gambo del tassello penetra all'interno della parte espandente fino ad assumere una conformazione a bulbo. Tale eccessiva penetrazione del gambo produce in genere la disgregazione del cono di calcestruzzo estratto e, altre volte, la frantumazione della parte apicale del cono, figura 11.b. In entrambe i casi si tratta di meccanismi di rottura diversi da quelli previsti dalle condizioni di taratura ed incontrollabili.

I limiti operativi della procedura di pull-out fino ad oggi impiegata possono essere riassunti schematicamente:

-la curva di taratura: i) è di origine incerta senza riferimenti scientifici internazionali; ii) è lineare, mentre sarebbe ragionevole aspettarsi una curva parabolica a concavità verso

l'alto in quanto la resistenza a trazione del calcestruzzo aumenta con l'aumentare della resistenza a compressione; iii) non tiene conto dell'effetto dei diversi stati tensionali, diversi sia per forma che per intensità;

-il tassello, avendo una capacità massima di espansione circa pari alla massima dimensione del sottosquadro: i) può essere soggetto a deformazioni eccessive e anomale per resistenze elevate; ii) non è in grado di ancorarsi in calcestruzzi sottoposti ad uno stato tensionale di trazione (intradosso delle travi, in campata) e spesso è soggetto a sfilamento senza estrazione del cono; iii) essendo espanso mediante percussione, subisce un'espansione non facilmente controllabile;

-il sottosquadro viene eseguito con una procedura manuale che può determinare imperfezioni (asimmetrie) che inducono l'estrazione di coni asimmetrici.

Questi limiti rendono la prova di pull-out correntemente eseguita in Italia affetta da molti fattori difficilmente controllabili che possono introdurre nella prova incertezze ed errori tali anche da rendere i risultati inattendibili. Il limite maggiore deriva dalla curva di taratura, di origine incerta, che determina, usualmente, una sovrastima rilevante dell'effettiva resistenza del calcestruzzo.

Ringraziamenti

Questa ricerca deriva dall'accordo di partnership industriale tra BOVIAR ed il Sistema dei Laboratori del DICCA, che ne sostengono per intero il costo.

Riferimenti bibliografici

- [1] Malhotra, V.M., Carino, N.J., Handbook on NonDestructive Testing of Concrete, 2nd ed, CRC Press, Boca Raton, 2004.
- [2] Krenchel, H., Bickley, J.A., Pullout testing of concrete: historical background and scientific level today, *Nord. Betong*, **6**, pp. 155, 1987,
- [3] Skramtajew, B.G., Determining concrete strength for control of concrete in structures, *J. Am. Concr.Inst.*, **34**, p. 285, 1938.
- [4] Tremper, B., The measurement of concrete strength by embedded pull-out bars, *Proc. Am. Soc. Testing Mater.*, **44**, 880, 1944.
- [5] Kierkegaard-Hansen, P., Lok-strength, *Nord. Betong*, **3**, 19, 1975.
- [6] Richards, O., Pullout strength of concrete, *Reproducibility and Accuracy of Mechanical Tests*, ASTM SP 626, 1977, 32.
- [7] Yener, M. and Chen, W. F., On in-place strength of concrete and pullout tests, *ASTM J. Cem. Concr. Aggregates*, Winter, **90**, 1984.
- [8] Chabowski, A.J. and Bryden-Smith, D.W., A simple pull-out test to assess the strength of in-situ concrete, *Precast Concr.*, **8**(5), 1977.
- [9] Chabowski, A.J. and Bryden-Smith, D.W., Assessing the strength of concrete of in-situ Portland cement concrete by internal fracture tests, *Mag. Concr. Res.*, **32**(112), 1980.
- [10] Mailhot, G., Bisailon, G., Carette, G.G. and Malhotra, V.M., In-place concrete strength: new pull out methods, *ACI J.*, **76**(12), 1979.



AIPnD

Associazione Italiana Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica

CONFERENZA NAZIONALE
SULLE PROVE NON DISTRUTTIVE
MONITORAGGIO DIAGNOSTICA

- [11] Domone, P.L. and Castro, P.F., An expanding sleeve test for in-situ concrete and mortar strength evaluation, *Proc. Str. Faults and Repairs* 87, Eng. Tech. Press, Edimburgh, 1987.
- [12] Petersen, C.G., LOK-test and CAPO-test development and their applications, *Proc. Inst. Civ. Eng. I*, **76**, 1984.
- [13] <http://www.cme-ndt.it/files/Pull-Out.pdf>