

UNA NUOVA PROVA DI PULL OUT. PARTE II: CALIBRAZIONE DI LABORATORIO

F. Bovio, G. Bovio
BOVIAR s.r.l. – Milano

A. Brencich¹, G. Cassini², G. Riotta², D. Pera²

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale - DICCA, Univ. of Genoa, Italy

¹ Direttore Tecnico dei Laboratori DICCA

² Laboratori DICCA, Ingegnere, Ph.D.

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

Sommario:

Questo lavoro discute della calibrazione del nuovo tassello post-installato B15G, sviluppato congiuntamente dai Laboratori DICCA e da BOVIAR s.r.l., che permette di operare con elevata affidabilità anche in campi tensionali di trazione e su calcestruzzi ad alta resistenza.

Il nuovo sistema di pull out a tasselli post-inseriti è caratterizzato da: i) un'ottimizzazione della geometria del tassello e della procedura di inserimento, volta a ridurre le incertezze legate alla fase applicativa della prova; ii) materiali di alto livello qualitativo che consentono di eseguire la prova con la medesima strumentazione su calcestruzzi da 5 a 90 MPa. L'ottimizzazione tecnologica ha consentito di aumentare l'affidabilità della prova, di ridurre i tempi di esecuzione e di semplificare la strumentazione, abbassandone i costi.

La calibrazione della nuova tecnologia B15G è stata eseguita su 6 classi di calcestruzzo, caratterizzate con provini sia cubici che cilindrici, e mediante carotaggi di campioni specificamente costruiti. Per ogni classe sono stati realizzati campioni di diverse forme e dimensioni che hanno permesso di eseguire la prova su 5 distinti stati tensionali (compressione media e bassa, tensione nulla, compressione e trazione non omogenei).

Le curve di correlazione tra forza di estrazione e resistenza a compressione del materiale così ottenute: i) sono marcatamente non lineari; ii) dipendono significativamente dallo stato tensionale; iii) presentano una dispersione statistica non superiore al 15% dei valori medi anche per trazione non uniforme (intradosso di elementi inflessi).

Introduzione

La prova di pull-out consente sia di limitare il danno alla struttura, il che lo rende facilmente applicabile anche ad edifici in uso, sia d'indurre uno stato limite ultimo nel materiale per taglio-trazione, circostanza da cui deriva la notevole affidabilità e precisione della prova.

Nella prima parte di questo lavoro si sono discusse alcune lacune dell'attuale tecnologia di pull-out, tra cui principalmente:

- una curva di calibrazione indipendente dallo stato tensionale nel calcestruzzo;
- l'impossibilità di essere applicata a calcestruzzi in trazione (intradosso delle travi);
- un'origine scientificamente non chiara.

Negli U.S.A. ed in genere nel mondo anglosassone e nord-europeo, la prova di pull-out viene eseguita con l'impiego di inserti pre-inseriti, quindi per la verifica della qualità del calcestruzzo di strutture nuove, mentre gli inserti post-inseriti sono rimasti alla fase di ricerca [1].

In Italia ha trovato ampio uso [2 e 3] una tecnologia basata su un tassello post-inserito di produzione industriale concepito per ancoraggi pesanti [4]. Nonostante l'uso molto ampio che in Italia si è fatto di questa procedura nell'ultimo ventennio, mancano studi sistematici sulla sua affidabilità e sulla precisione dell'unica curva di correlazione resa disponibile dal produttore del tassello. La prima parte di questo lavoro ha riportato i risultati di alcune campagne sperimentali condotte dal Sistema dei Laboratori del DICCA dell'Università di Genova che hanno dimostrato come in molti casi la curva di calibrazione disponibile sovrastimi la resistenza del calcestruzzo così come derivata da carote estratte dalle strutture. Tale sovrastima può essere dell'ordine del 50% per calcestruzzi recenti e può salire al 300% per calcestruzzi degli anni '30. L'impossibilità di eseguire la prova all'intradosso delle travi, spesso una delle poche parti accessibili di una struttura in c.a., per il prematuro sfilamento del tassello unitamente agli aspetti ed ai limiti già discussi hanno condotto BOVIAR s.r.l. e il Sistema dei Laboratori del DICCA allo sviluppo di un nuovo tassello

Il tassello B15G (Boviar $\phi=15$ mm Università di Genova)

Il tassello B15G è stato sviluppato con l'obiettivo di soddisfare alcuni requisiti:

- applicabilità su calcestruzzi soggetti a stati tensionali di trazione, comprese le strutture fortemente fessurate per trazione;
- calibrazione che tenga conto dello stato tensionale dell'elemento strutturale;
- campo di applicazione (e di calibrazione) da 5 a 80 MPa;
- riduzione degli aspetti tecnologici difficilmente controllabili (esecuzione del sottosquadro e percussione del tassello);
- struttura modulare in modo da consentire il riutilizzo di alcune delle componenti del tassello;
- riduzione dei tempi di esecuzione della prova;
- utilizzo della strumentazione attualmente in uso, possibilmente con una sua semplificazione.

La geometria del tassello B15G è rappresentata in figura 1 e soddisfa gli standard delle normative nazionali ed internazionali per tasselli post-inseriti: ASTM-C900-06, BS-1881-207:1992, UNI EN 10157_1992 and of UNI EN 12554_03_2005 [5-8]. Il diametro del foro (diametro esterno del tassello) è di 15mm (14mm per l'attuale tecnologia) e viene eseguito ortogonalmente alla superficie (con apposito castello di guida) fino alla

profondità di 50-55mm. L'espansione del tassello avviene mediante avvitarlo di un dado con una coppia di 30 Nm (con chiave dinamometrica) che corrisponde mediamente a 1-2 giri del dado (meno per calcestruzzi ad alta resistenza e fino a 2 giri o più per calcestruzzi a bassa resistenza), figura 2. L'espansione massima del tassello, a cono di espansione completamente inserito all'interno della clip esterna, è di 19mm, 4mm in più rispetto al diametro del foro: tale circostanza rende il tassello idoneo all'uso anche nel calcestruzzo fessurato.

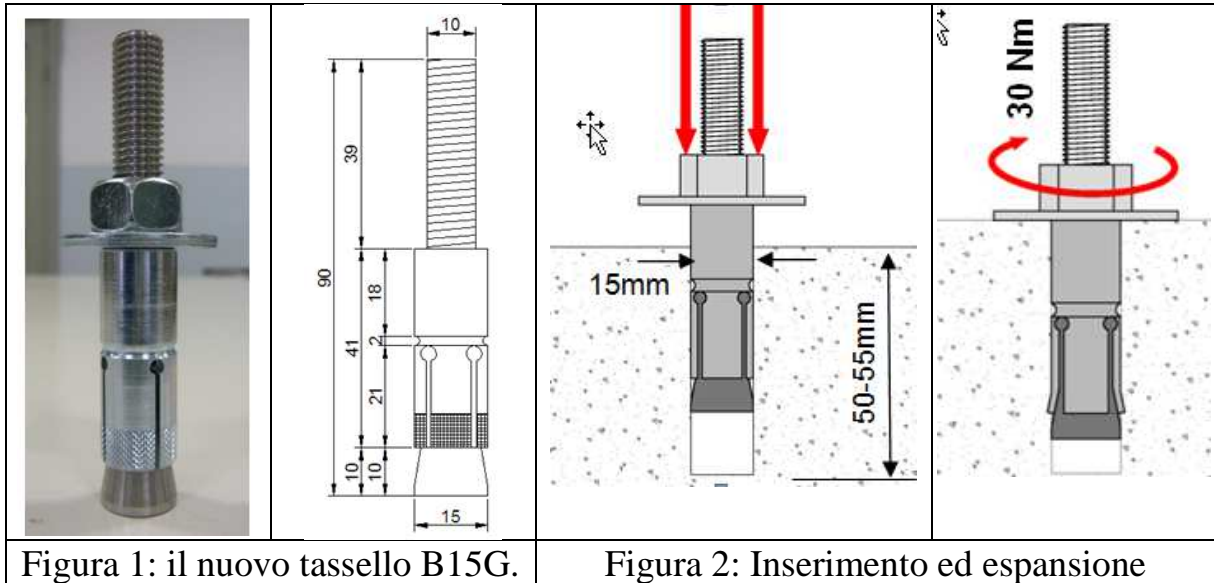


Figura 1: il nuovo tassello B15G.

Figura 2: Inserimento ed espansione

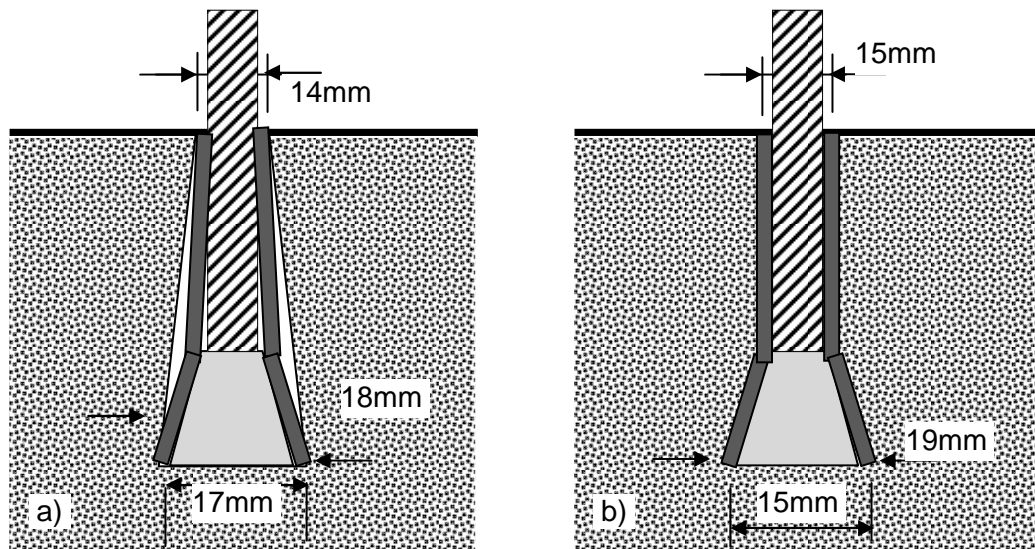


Figura 3: Meccanismi di ancoraggio: a) del tassello attuale; b) del nuovo tassello B15G

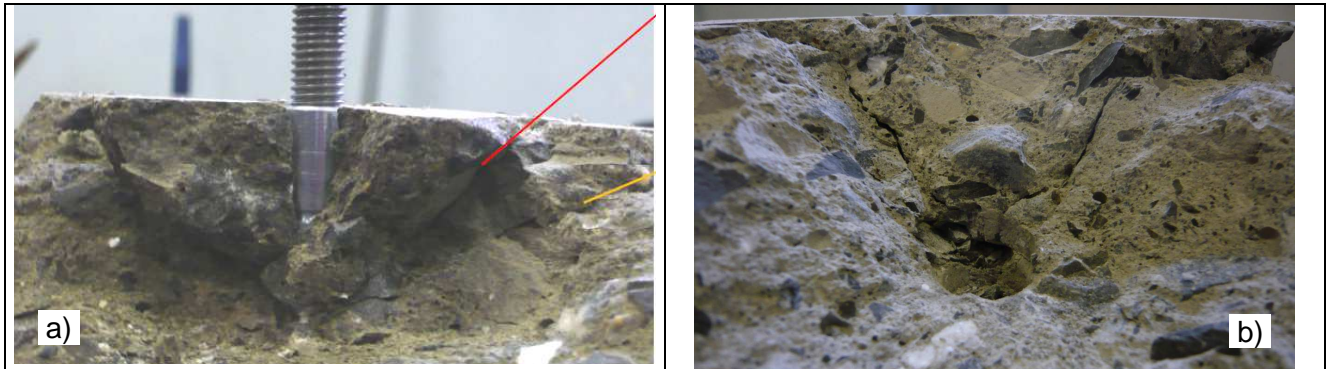


Figura 4: Cono di estrazione indotto dall'ancoraggio del tassello B15G

La figura 3 rappresenta un confronto tra la capacità di espansione del tassello attualmente in uso e del nuovo tassello B15G. Definita la capacità di espansione come rapporto tra l'aumento del diametro $\zeta = (\phi^{\max}_{\text{tassello}} - \phi^{\max}_{\text{foro}}) / \phi^{\max}_{\text{foro}} * 100$, la figura 3 evidenzia come il tassello oggi impiegato abbia una capacità di espansione pari al 6%, mentre per il tassello B15G sia pari al 27%, che rende il nuovo tassello idoneo a compensare anche le fessure del calcestruzzo sottoposto a stati tensionali di forte trazione. E' opportuno osservare come il sottosquadro eseguito con punta basculante riduca la superficie laterali di contatto calcestruzzo-tassello mentre la foratura verticale richiesta per il tassello B15G consenta di eliminare ogni gioco tra il tassello ed il foro.

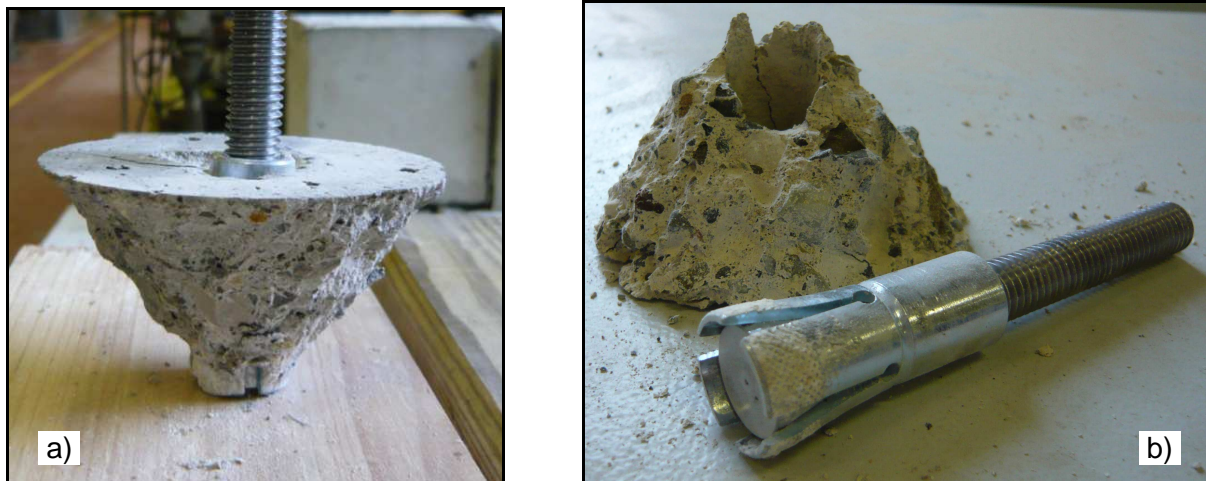


Figura 5: Coni estratti dal tassello B15G.

La figura 4.a mostra l'attivazione della fessura per trazione a partire dalla zona di ancoraggio, riga gialla, e la fessura per taglio-trazione, riga rossa, che definisce il cono più stretto di estrazione, come si realizza anche per i tasselli pre-inseriti [1, e parte 1 di questo lavoro]. La figura 4.b rappresenta il tassello alla sua massima espansione; si osserva come la clip esterna sia stata deformata in modo irrecuperabile mentre il gambo espandente centrale sia rimasto intatto e possa essere reimpiegato per ulteriori prove.

Schema di calibrazione del tassello B15G

La campagna di calibrazione del tassello ha impiegato 5 diverse classi di calcestruzzo, tutte con granulometria compatibile alla curva di Bolomey, tabella 1, e cinque diversi stati tensionali: compressione uniforme di 5MPa e 10MPa, stato tensionale nullo, compressione e trazione con forte gradiente (estradosso e intradosso di lastre inflesse), tabella 2 e figure 6-9. Per ogni condizione di calibrazione di tabella 2 sono state eseguite 12 prove di pull-out per ciascuna classe di calcestruzzo, per un totale nominale di 240 prove, aumentate ad oltre 400 tenendo conto anche delle prove che, per motivi contingenti, sono state ripetute.

Principali dati dei campioni

- prismi per prove di compressione: 25x25x55cm
- piastre per prove in stato tensionale nullo: 40x80x120cm
- lastre inflesse: 120x600x15cm, $M_{sollecitante} = 0.90M_{resistente}$; in asse l'intradosso risulta palesemente fessurato. Asse neutro a 3cm dall'estradosso.

Altri dettagli:

- poiché l'espansione dei tasselli induce uno stato trasversale di trazione, i prismi compressi devono essere confinati, riproducendo l'effetto delle staffe, figura 6.
- la compressione uniforme di 5 e 10 MPa è rappresentativa delle usuali condizioni di progetto dei pilastri.

Principali dati delle prove di *pull-out*:

- durata: 55 sec in media;
- coppia di serraggio: 30Nm => 1.15-2 giri del dado;
- loading rate: da 4 a 40 kN/sec in funzione della resistenza del calcestruzzo
- spostamento del martino al carico di picco: 12mm in media
- classe dei sistemi di misura: 0.1.

Tabella 1: Classi di calcestruzzo impiegate nella campagna di calibrazione

Classe	C10/R15	C25/R30	C30/R37	C40/R48	C55/R66	C70/R84
R_c - cubica [MPa]	17.8	41.9	19.5	50.1	72.4	97.1
R_c - std. Dev. [MPa]	0.3	1.5	1.0	3.0	7.3	3.5
R_c - CoV %	1.6	3.5	5.1	6.3	10.1	3.6
Densità [kN/m³]	2133	2175	2124	2180	2255	2382
f_c - cilindrica [MPa]	13.9	30.7	15.7	38.2	53.7	71.3
f_c -std. Dev. [MPa]	1.3	1.9	1.30	2.4	5.13	6.8
f_c - CoV %	8.7	5.6	8.3	6.0	9.6	9.5
Densità [kN/m³]	2150	2179	2107	2171	2262	2380
f_c/R_c	0.78	0.73	0.81	0.74	0.74	0.73

Tabella 2: I 5 stati tensionali della campagna di calibrazione

	Campo tensionale	
1	TRAZIONE gradiente	
2	COMPRESSIONE gradiente	
3	Stato tensionale NULLO	
4	COMPRESSIONE di 5MPa omogenea	
5	COMPRESSIONE di 10MPa omogenea	



Figura 6: Sistema di prova per campioni soggetti a compressione uniforme.

Calibrazione della procedura e discussione

Le figure da 10 a 14 riportano i dati della campagna di calibrazione. In ogni figura dai dati sperimentali, di cui vengono riportati sia i dati sperimentali che i valori medi, viene ricavata la curva d'interpolazione che minimizza l'errore sperimentale. Le curve di minore

spessore al di sopra e al di sotto della curva in grassetto denotano gli scostamenti del +15% e del -15% rispetto alla curva di calibrazione dei valori medi.

Emergono alcune circostanze:

- la dispersione dei dati sperimentali è collocata nell'intervallo -8% / +8% rispetto al valore medio con pochi dati maggiormente discosti;
- tutte le curve d'interpolazione sono costituite da funzioni esponenziali e non lineari, come invece riportato frequentemente; tale circostanza si spiega tenendo conto che il rapporto tra la resistenza a trazione del calcestruzzo e quella a compressione aumenta con la resistenza a compressione del calcestruzzo e ricordando che le condizioni limite di collasso sulla superficie del cono estratto sono caratterizzate da uno stato tensionale di taglio/trazione;



Figura 7: prova su calcestruzzo a stato tensionale nullo.



Figura 8: lastre inflesse di c.a. per stati tensionali a forte gradiente.



Figure 9: Pull-out in zona tesa (intradosso delle lastre di figura 8)

- anche in stati di trazione intensi, all'intradosso di lastre inflesse fessurate, il tassello B15G ha sempre estratto il cono di calcestruzzo senza che si verificasse mai alcuno sfilamento del tassello.

Conclusioni

Il nuovo tassello B15G presenta cospicui miglioramenti:

- consente prove anche in presenza di stati tensionali di trazione;
- la dispersione dei risultati è molto contenuta, probabilmente in quanto diverse operazioni manuali (esecuzione del sottosquadro, percussione del tassello) sono state sostituite da operazioni guidate: espansione del tassello tramite chiave dinamometrica; perforazione ortogonale alla superficie guidata da apposita slitta;
- le curve di calibrazione differiscono in misura tutt'altro che marginale in funzione dello stato tensionale, figura 14: una pressione di estrazione di 100bar può condurre a stime della resistenza rispettivamente di 20 o 30MPa a seconda che l'elemento strutturale sia compresso o in trazione; analogamente una pressione di estrazione di 150bar condurrebbe a stime di 35 o 57MPa;

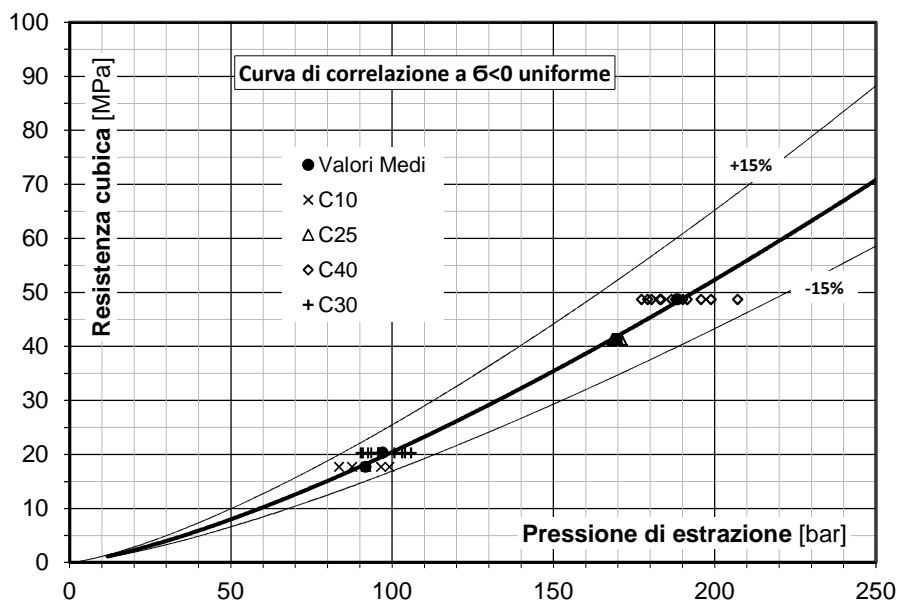


Figura 10: Curva di calibrazione per stati di compressione uniforme (5 e 10 MPa).

- il gambo espandente necessita sostituzione dopo 5-10 prove su calcestruzzi fino a 55MPa e dopo 3-5 prove se impiegato su calcestruzzi ad alta resistenza;
- il tassello B15G è in grado di eseguire la prova di estrazione per calcestruzzi fino ad una resistenza cubica di 95MPa.

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.

Calcestruzzi Farina di Desio (MB) ha contribuito fattivamente alla ricerca, senza alcuna controparte economica, realizzando i campioni. Si tratta di un atteggiamento raro che merita di essere ricordato.

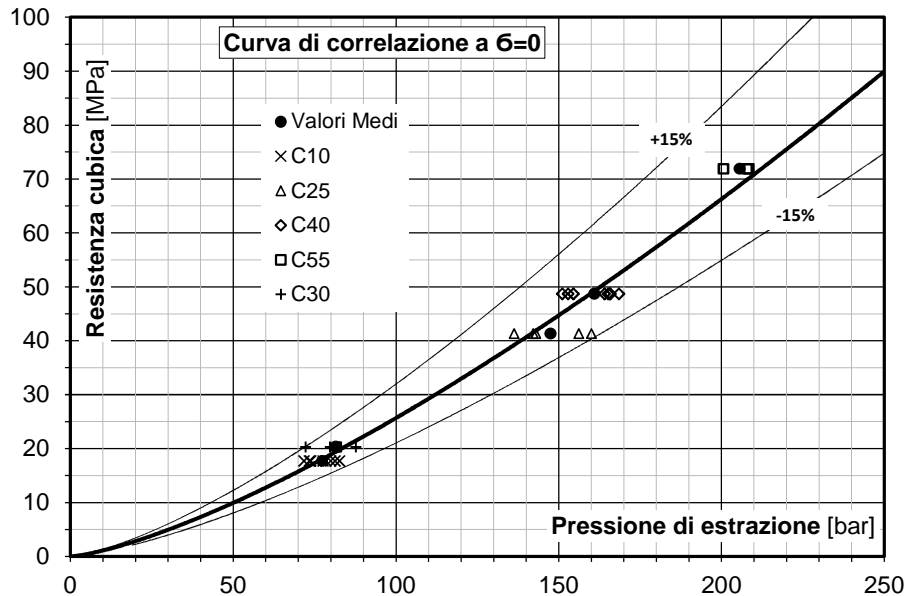


Figura 11: Curva di calibrazione per stati di tensione nulli.

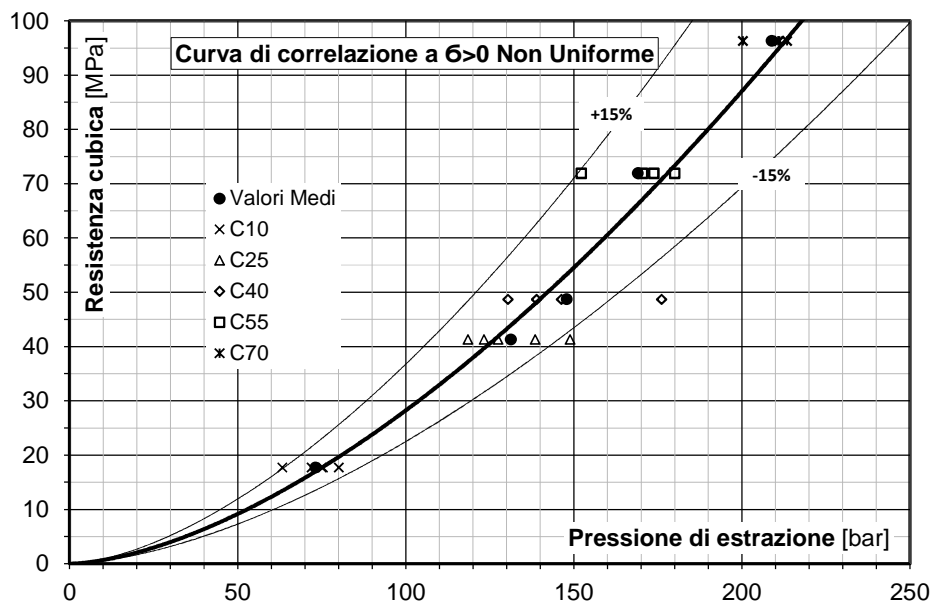


Figura 12: Curva di calibrazione per stati di trazione non uniforme.

References

- [1] Malhotra, V.M., Carino, N.J., Handbook on NonDestructive Testing of Concrete, 2nd ed, CRC Press, Boca Raton, 2004.
- [2] Meneghetti F., Meneghetti T., Metodi di controllo non distruttivo per la valutazione della resistenza meccanica a compressione sul conglomerato cementizio con particolare riferimento al metodo di prova pull-out, Atti del Congresso CTE 1984, Firenze.
- [3] Meneghetti F., Meneghetti T., Valutazione della resistenza cubica a compressione in situ del conglomerato cementizio tramite l'impiego di nuove tecnologie. Aspetti sperimentali e applicativi, Atti di 3rd Eur. Conf. on Non Destructive Testing. Firenze, 1984.

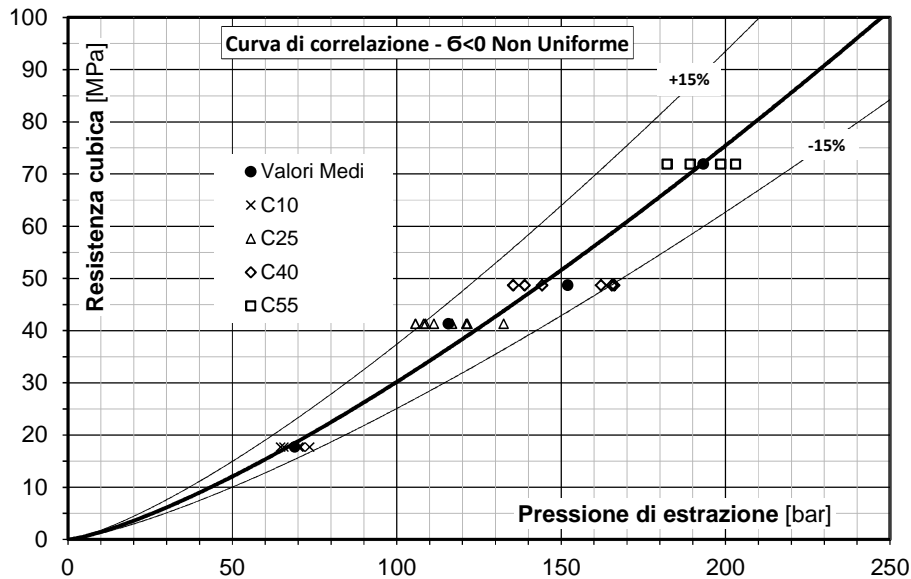


Figura 13: Curva di calibrazione per stati di compressione non uniforme.

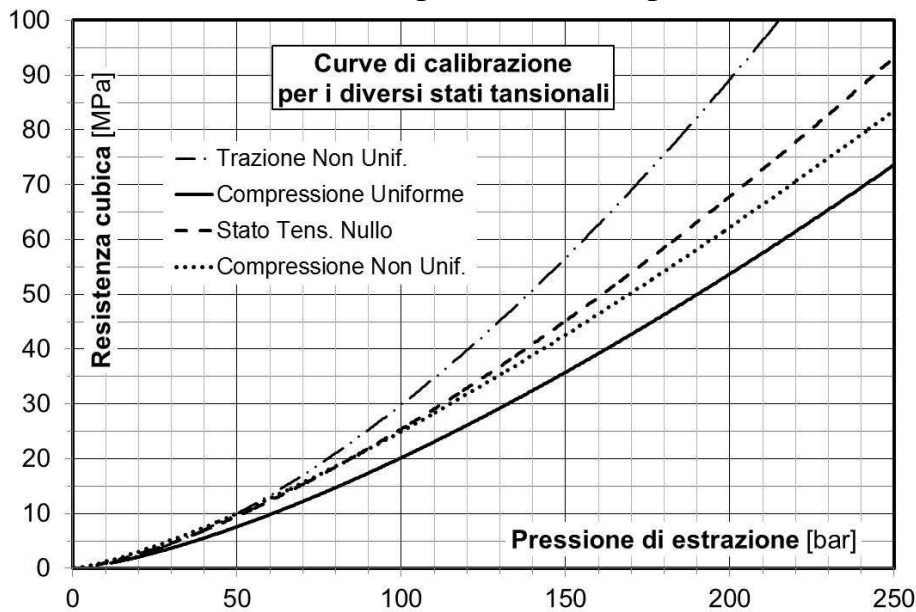


Figura 14: Confronto tra le diverse curve di calibrazione.

- [4] Fischer fixing systems, Technical Handbook - Europe
- [5] ASTM C900-06, Standard test method for Pullout Strength of Hardened Concrete
- [6] BS-1881-207:1992, Testing concrete – Part 207: Recommendations for the assessment for concrete strength by near-to-surface tests
- [7] UNI EN 10157_1992, Hardened concrete: determination of the pull out force by means of post-installed forced split-sleeve inserts (in Italian)
- [8] UNI EN 12554_03_2005, Tests n concrete in structures. Part 3: determination of the pull out force (in Italian).