

Prove complementari a supporto della direzioni lavori: da Boviar le soluzioni

Da sempre leader nella strumentazione legata alla diagnostica sui materiali, Boviar propone strumentazione in ausilio all'attività di controllo che deve essere svolta dal direttore lavori ma non solo. Il recente decreto Salva Casa, convertito nella legge 105/2024, pone sia il direttore lavori (controllore dell'opera in corso di realizzazione) sia il tecnico asseveratore, chiamato per l'accertamento di conformità, ad acquisire valori attendibili circa le resistenze dei materiali, in questo caso del calcestruzzo che, suo malgrado è ormai da considerarsi un materiale costruttivo storico.

L'attività di controllo sulle proprietà dei materiali, in particolare del calcestruzzo avviene nella pratica professionale per molteplici motivazioni tra cui:

- 1) Analisi storico critica di un fabbricato o infrastruttura esistente.
- 2) Diagnostica dello stato di salute di un elemento strutturale.
- 3) Qualificazione del calcestruzzo in opera.
- 4) Controllo del calcestruzzo gettato in opera.

Boviar fornisce e noleggia strumentazione e sistemi di misura per la diagnostica ed il monitoraggio nei campi dell'ingegneria civile, ambientale e geotecnica. L'esigenza a cui risponde è la verifica dell'affidabilità e della sicurezza delle opere civili, industriali e monumentali attraverso la diagnostica ed il monitoraggio del costruito, il controllo e la verifica delle opere di fondazione.

Un punto di forza storico e consolidato su un materiale, quale il calcestruzzo, che necessita di una identificazione nell'ottica sia di una nuova sia di esistente, dove oggi il legislatore pone un punto fermo sulla responsabilità del tecnico che provvede a redigere un accertamento di conformità per un'opera parzialmente difforme o che ha subito variazioni essenziali rispetto all'intervento coerente al titolo abilitativo rilasciato.

Il direttore lavori ed il controllo di accettazione (§11.1 Ntc18)

Il controllo di accettazione rappresenta una qualificazione ed un controllo da parte del direttore lavori durante l'esecuzione dell'opera, come descritto al § 11.1 delle Ntc18: *«Sarà inoltre onere del Direttore dei Lavori, nell'ambito dell'accettazione dei materiali prima della loro installazione, verificare che tali prodotti corrispondano a quanto indicato nella documentazione di identificazione e qualificazione, nonché accertare l'idoneità all'uso specifico del prodotto mediante verifica delle prestazioni dichiarate per il prodotto stesso nel rispetto dei requisiti stabiliti dalla normativa tecnica applicabile per l'uso specifico e dai documenti progettuali, con particolare riferimento alla Relazione sui materiali, di cui al § 10.1.*

La mancata rispondenza alle prescrizioni sopra riportate comporta il divieto di impiego del materiale o prodotto. *Al termine dei lavori che interessano gli elementi strutturali, il Direttore dei Lavori predisponde, nell'ambito della Relazione a struttura ultimata di cui all'articolo 65 del DPR.380/01, una sezione specifica relativa ai controlli e prove di accettazione sui materiali e prodotti strutturali, nella quale sia data evidenza*

documentale riguardo all'identificazione e qualificazione dei materiali e prodotti, alle prove di accettazione ed alle eventuali ulteriori valutazioni sulle prestazioni».

I controlli di accettazione sono obbligatori ed il collaudatore è tenuto a verificarne la validità, qualitativa e quantitativa; ove ciò non fosse rispettato, il collaudatore è tenuto a far eseguire delle prove che attestino le caratteristiche del calcestruzzo, seguendo la medesima procedura che si applica quando non risultino rispettati i limiti fissati dai controlli di accettazione.

C.a. - controllo di accettazione in corso d'opera: Tipo A e B, quando avvalersi delle prove complementari?

Ai sensi delle Ntc18 e focalizzando l'attenzione sul calcestruzzo questo durante la sua produzione è soggetto ad un controllo, funzione dei metri cubi che vengono impastati.

- Controllo di tipo A (§ 11.2.5.1 Ntc18)
- Controllo di tipo B (§ 11.2.5.2 Ntc18)

Tabella 1 – Controllo di accettazione del calcestruzzo messo in opera ai sensi delle Ntc18 (capitolo 11)

TIPO A (§ 11.2.5.1 Ntc18)	TIPO B (§ 11.2.5.2 Ntc18)
Quantità miscela ≤ 300 mc	Quantità miscela ≥ 1500 mc
3 prelievi	15 prelievi
	1 prelievo ≤ 100 mc
N. provini ≥ 6	N. provini ≥ 30
	1 prelievo = 2 provini
-----	s/R _m > 0.3 N.A.
	s/R_m > 0.15 CONTROLLI (11.2.7)
	R_{c,min} = Resistenza di prelievo minore ≥ R_{ck} – 3.5
R_{cm28} ≥ R_{ck} + 3.5 (3 prelievi)	R_{cm28} ≥ R_{ck} + 1.48 s (≥ 15 prelievi)

R_{cm28} = valore medio tra i tre valori di resistenza di prelievo. Il termine 28 indica i 28 gg di stagionatura
R_{ck} = valore caratteristico di progetto
S = scarto quadratico medio
s/R_m = rapporto tra deviazione standard e valore medio = Coefficiente di variazione

In **Tabella 1** sono riportati i requisiti dei due controlli, che si differenziano in funzione della quantità di getto. È fondamentale l'aspetto di esistente: una volta gettato il calcestruzzo maturando diventa un materiale esistente a tutti gli effetti, da qui le verifiche di accettazione successive al getto che scattano quando suddette disuguaglianze non sono verificate.

Cosa sono le prove complementari?

§11.2.7 «Sono prove che eventualmente si eseguono al fine di stimare la resistenza del calcestruzzo in corrispondenza di particolari fasi di costruzione (precompressione, messa in opera) o in condizioni particolari di utilizzo (temperature eccezionali, ecc.). Il procedimento di controllo è uguale a quello dei controlli di accettazione. Tali prove non possono essere sostitutive dei controlli di accettazione che vanno riferiti a provini confezionati e maturati secondo le prescrizioni del punto 11.2.4. I risultati di tali prove potranno servire al Direttore dei Lavori od al collaudatore per formulare un giudizio sul calcestruzzo in opera».

Il riscontro della resistenza a compressione in situ del calcestruzzo si può operare secondo diverse modalità di prova (distruttive e non distruttive), le cui norme di riferimento sono le seguenti:

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

L'invasività della prova, il numero degli elementi guida il direttore lavori nella pianificazione delle indagini di riscontro qualora il controllo di accettazione non abbia restituito, nella tolleranza ammessa dalla normativa, il valore di resistenza medio di progetto del calcestruzzo gettato in opera.

Prova sclerometrica: misura indice di rimbalzo correlato alla resistenza del calcestruzzo

Lo sclerometro Boviari è uno strumento pratico e maneggevole utilizzato per stimare la durezza superficiale del calcestruzzo. Prodotto con componenti selezionati ed accurate lavorazioni meccaniche, questo strumento si colloca al top qualitativo degli sclerometri, garantendo elevate precisioni nei risultati delle prove ed affidabilità nel tempo. Costruito con materiali di prima scelta viene sottoposto a verifiche di controllo qualità e di procedure per la taratura.

Lo sclerometro è costituito da una molla che contrasta un'asta di percussione che si trova a diretto contatto con la superficie del calcestruzzo. La massa caricata per mezzo della molla, di una quantità costante di energia viene liberata e fatta urtare contro la superficie, lo strumento consente di misurare l'indice di rimbalzo. A parità di condizioni dello strumento (calibrazione molle, attriti, peso della massa e della durezza del puntale), la misura del rimbalzo dipenderà esclusivamente dalle caratteristiche fisico-meccaniche del materiale in esame.



Figura 1 – Sclerometro Boviart (<https://www.boviar.com/it/prodotti/sclerometro-boviar/>)

Nelle linee guida del controllo del calcestruzzo in opera il riferimento è il § 4.2 *Stima delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo in opera mediante l'indice di rimbalzo (o sclerometrico)*.

Il metodo dell'indice di rimbalzo utilizza lo sclerometro per misurare l'energia elastica assorbita dal calcestruzzo a seguito di un impatto. L'energia assorbita dal calcestruzzo è correlata alla rigidezza e alla resistenza meccanica mediante relazioni empiriche. Il metodo consiste nel provocare l'impatto di una massa standardizzata contro la superficie del materiale sottoposto a prova e nel misurare l'altezza del rimbalzo, la misura è espressa in termini di percentuale dell'altezza di rimbalzo rispetto alla distanza percorsa della massa in movimento tra l'istante in cui è rilasciata e quando colpisce la superficie del calcestruzzo. Questa percentuale è detta indice di rimbalzo.

Dato che l'energia cinetica della massa battente è standardizzata, l'altezza di rimbalzo dipende dall'energia dissipata durante l'impatto, che a sua volta dipende dalla resistenza meccanica della superficie del calcestruzzo.

L'indice di rimbalzo è correlato alla resistenza a compressione del calcestruzzo, ma è influenzato da numerosi altri fattori, tra cui:

- le condizioni di umidità del calcestruzzo in superficie (una superficie umida conduce ad un indice di rimbalzo più basso);
- la presenza di uno strato superficiale carbonatato (aumenta l'indice di rimbalzo);
- la tessitura superficiale (una superficie ruvida fornisce generalmente un indice di rimbalzo più basso);
- l'orientazione dello strumento rispetto alla verticale (sono disponibili fattori di correzione approssimati);
- l'età del calcestruzzo, a cui correlare la carbonatazione che potrebbe incidere sulla stima di resistenza;
- la dimensione e il tipo degli aggregati.

Poiché solo il calcestruzzo vicino al punto dell’impatto influenza sensibilmente il valore dell’indice di rimbalzo, la metodologia di prova è sensibile alle condizioni locali, quali la presenza di grossi granuli e gli elementi grossi d’aggregati in prossimità della superficie oppure di vuoti. Per mitigare gli effetti di alcune delle cause che alterano le misure, è pertanto opportuno che nell’intorno d’ogni punto di prova siano eseguite più battute, adeguatamente distanziate fra di loro, oppure combinare la prova sclerometrica con quella ultrasonica (prova SonReb) per mitigare gli effetti locali di sovrastima o sottostima del metodo di indagine.

Prova Ultrasonica

Boviar, propone l’apparecchiatura per prove ultrasoniche UCT (Ultrasonic Concrete Tester) che è un sistema portatile per verifiche non distruttive della qualità e caratteristiche dei materiali per valutarne omogeneità, fratture, vuoti e resistenza calcestruzzo. Con il sistema UCT sono possibili le indagini ultrasoniche che consentono la stima delle caratteristiche elastico-dinamiche dei materiali, valutando il grado di omogeneità, presenza di eventuali fratturazioni o di cavità, e in combinazione con le prove sclerometriche, la resistenza del materiale in esame.



Figura 2 - Prove ultrasoniche UCT (Ultrasonic Concrete Tester) - Boviar

Il metodo basato sulla misura della velocità di propagazione di ultrasuoni consiste nello studio della propagazione di onde elastiche longitudinali all’interno del calcestruzzo. Caratteristica del metodo è quella di tener conto delle proprietà meccaniche globali del materiale. La resistenza a compressione è stimata in base alla velocità di trasmissione degli ultrasuoni, ipotizzando la validità di una relazione di proporzionalità tra resistenza a compressione e modulo elastico, utilizzando correlazioni sperimentali.

Si deve tener presente che le onde elastiche subiscono, all’interno dell’elemento esaminato, rifrazioni e riflessioni, dovute alla presenza degli aggregati, di fessure, di vuoti. Ciò comporta un’attenuazione del segnale

per effetto dell'assorbimento d'energia. Inoltre, per effetto di vuoti o fessure, il percorso effettivamente compiuto dalle onde elastiche può risultare più lungo della distanza tra trasmettitore e ricevitore.

La prova misura la velocità di propagazione delle onde elastiche nel calcestruzzo, determinata come rapporto tra la distanza fra trasmettitore e ricevitore ed il tempo impiegato a percorrerla. La velocità così calcolata può differire dall'effettiva velocità di propagazione delle onde nel calcestruzzo in esame. Per questo motivo la velocità così calcolata è spesso denominata anche "velocità virtuale apparente".

La velocità di propagazione delle onde elastiche è influenzata da diversi fattori, tra cui l'umidità, la composizione della miscela ed il grado di maturazione. La determinazione della velocità deve avvenire in un intervallo di temperatura compreso tra 5°C e 30°C, deve tener conto della possibile presenza d'armature metalliche e di eventuali difetti macroscopici.

Per ridurre il rischio che il fascio di ultrasuoni percorra armature metalliche è opportuno, preliminarmente all'esecuzione della prova, localizzare le armature stesse mediante idonei dispositivi.

Prova di estrazione (Pull-Out): la scelta del tassello fa la differenza

La prova di estrazione (**pull-out**) corrisponde ad un metodo di indagine complementare atto a stimare, attraverso la forza di estrazione del tassello infisso, la resistenza media a compressione del calcestruzzo in opera. Il punto di forza della strumentazione Boviar è la scelta di impegno del tassello adatto allo scopo ed alla determinazione della resistenza, in quanto *"... 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 altro uso"* (*"Linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera"*, 2017). L'adozione di un tassello certificato e specifico all'impiego di prova di estrazione (pull-out) rappresenta il punto di forza e di attendibilità della prova, in quanto limita al minimo le seguenti criticità che creano l'elevata variabilità dei risultati e, quindi, la scarsa attendibilità della prova:

- un'espansione geometrica non controllata;
- la presenza di tensioni tangenziali sulla superficie laterale dello stelo del tassello;
- meccanismi di rottura differenti e non ripetitivi, in alcuni casi anomali.

La prova di estrazione (pull-out) (descritta al **§4.4 delle LINEE GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO IN OPERA**) si basa sulla misura della forza necessaria ad estrarre dal calcestruzzo un inserto metallico standardizzato.

Gli inserti metallici possono essere installati nel calcestruzzo al momento del getto, predisponendoli nelle casseforme, o inseriti in fori effettuati nel calcestruzzo indurito (post-inseriti). La forza è applicata mediante un martinetto idraulico collegato all'inserto ed un anello di reazione che contrasta con la superficie del calcestruzzo. Durante l'operazione viene estratto un cono di materiale e, pertanto, la prova è parzialmente distruttiva.

La forza di estrazione è rappresentativa di uno stato di sollecitazione complesso, ma il suo valore è correlabile con la resistenza a compressione.

La correlazione tra forza d'estrazione e resistenza a compressione varia al variare della resistenza del calcestruzzo, ma è in genere migliore delle correlazioni esistenti tra resistenza a compressione e indice di rimbalzo (sclerometro) o velocità di propagazione delle onde elastiche (ultrasuoni o SonReb se trattasi di

metodo combinato di sclerometro + sonica). La correlazione tra la forza d'estrazione F , ricavata dalla pressione misurata al martinetto, e la resistenza cubica R_c è una retta avente equazione:

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

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

Riprendendo quanto indicato nel **Manuale di Boviar rispetto alla prova di Pull-out**, 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 "Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 1: Carote - Prelievo, esame e prova di compressione").

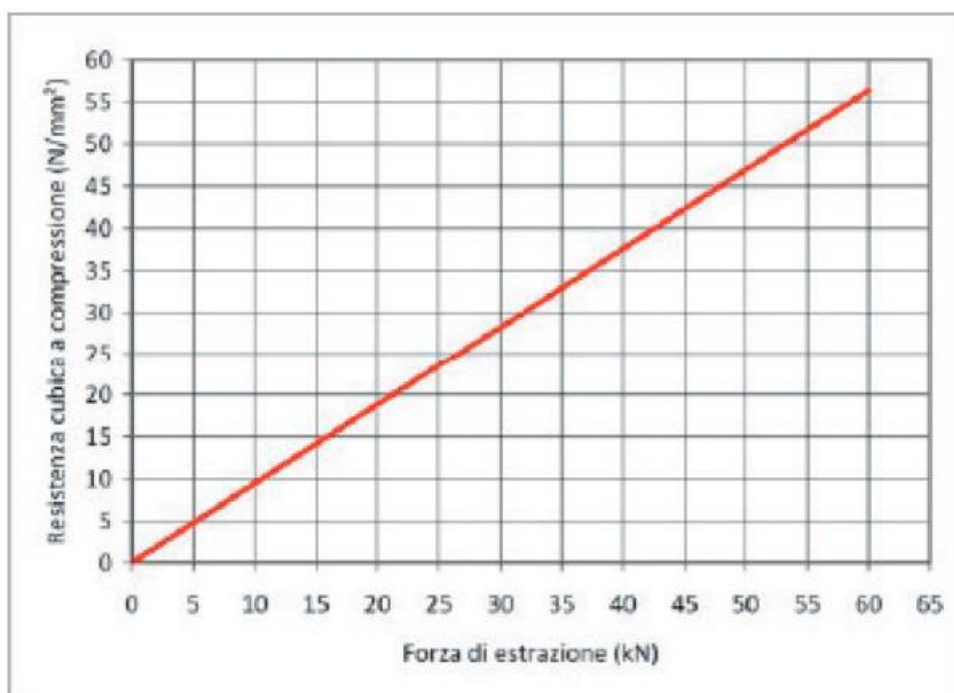


Figura 3 – Correlazione R_{cm} vs forza di estrazione (Boviar – Tassello postinserito Thoro)

La norma UNI EN 12504-3, 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 immobili realizzati negli anni '70/80, impiegando il tassello, distribuito in esclusiva da Boviar, **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 kN = 0,94 N/mm² con un coefficiente di determinazione R^2 pari a 0,93

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.

Occorre sottolineare che i fattori che influenzano la prova di estrazione sono la presenza di grossi inerti (>35 mm) ed inerti leggeri e friabili.

- **Tasselli Thoro®**

Tasselli post-inseriti (materiale di consumo) ad espansione geometrica controllata per l'esecuzione standardizzata della prova di estrazione.

Caratteristiche geometriche perfettamente conformi ai punti 4.1.1 e 4.1.3 della UNI EN 12504-3:2005: il disco con testa circolare ha diametro $25 \pm 0,1$ mm e la lunghezza dello stelo, misurata dalla superficie del cls fino a quella più vicina al disco, è uguale al diametro del disco ($25 \pm 0,1$ mm).

Il tassello Thoro® produce meccanismi di rottura corretti e conformi alle direttive della norma (i tasselli, in confezione da 25 pezzi, sono da acquistare separatamente).



Figura 4 – Tassello distribuito esclusivamente da Boviari per la conduzione della prova di Pull-out