

# INDAGINI SUI MATERIALI



INDAGINI  
STRUTTURALI



[www.indaginistrutturali.it](http://www.indaginistrutturali.it)

**Indagini Strutturali srl**

Via Guido de Ruggiero, 5 - 00142 ROMA

Tel. 06 546 02 628

[info@indaginistrutturali.it](mailto:info@indaginistrutturali.it)

[info@pec.indaginistrutturali.eu](mailto:info@pec.indaginistrutturali.eu)

# INDICE

Indagini sui materiali .....	pag. 3
Indagini su calcestruzzo Parte I .....	pag. 5
Indagini su calcestruzzo Parte II .....	pag. 7
Indagini su calcestruzzo Parte III .....	pag. 10
Indagini su calcestruzzo Parte IV .....	pag. 12
Indagini su calcestruzzo Parte V .....	pag. 14
Indagini sulle murature .....	pag. 16
Indagini sui metalli .....	pag. 18
Indagini sul legno .....	pag. 19

# Indagini sui materiali

## Le NTC ed il controllo dei materiali: tecniche e adempimenti su edifici nuovi o esistenti

Il patrimonio edilizio esistente in Italia è composto da circa **60 milioni** di immobili di cui il **75%** costituiti da edifici (il restante 25% sono pertinenze); secondo l'ISTAT nel 2010 sono state erette circa **160.000** nuove costruzioni. Un'elevata vulnerabilità sismica, il loro valore storico, architettonico, artistico e ambientale, nonché le svariate tipologie strutturali sono, appunto, ad indicare le problematiche che il patrimonio edilizio esistente italiano possiede.

Per quanto difficile prevedere delle regole specifiche l'**NTC 2008** (Norme Tecniche per le Costruzioni), e la sua circolare esplicativa **CMIT 2009** (Circolare del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti), indicano un approccio metodologico per valutare la sicurezza di una costruzione esistente in relazione al comportamento strutturale della stessa.

- **Analisi Storico-Critica:** ricerca archivistica, sviluppo storico del quartiere, aspetti urbanistici, storia sismica; tutto ciò permette di inserire l'edificio oggetto di indagine in un dettagliato inquadramento storico. In questa fase è obbligatorio ricostruire il processo di realizzazione e le successive modifiche subite nel tempo nonché, appunto, gli eventi che lo hanno interessato. *In ogni caso, soprattutto nel caso di edifici in muratura, sia in assenza sia in presenza di documentazione parziale, prima di procedere alle indispensabili operazioni di rilievo geometrico, è opportuno svolgere delle considerazioni sullo sviluppo storico del quartiere in cui l'edificio è situato (a meno che si tratti di edifici isolati). Ci si basa su testi specialistici, cercando di acquisire informazioni sugli aspetti urbanistici e storici che ne hanno condizionato e guidato lo sviluppo, con particolare riferimento agli aspetti di interesse per l'edificio in esame.* (CMIT 2009 - § C8.5.1)
- **Rilievo:** la conoscenza della geometria delle strutture e dei dettagli costruttivi sono dei passi fondamentali nell'acquisizione dei dati necessari a mettere a punto un modello di calcolo accurato di un edificio esistente. Il rilievo deve individuare l'organismo resistente della costruzione, tenendo anche presente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi; dovranno altresì essere rilevati i dissesti, in atto o stabilizzati, ponendo particolare attenzione all'individuazione dei quadri fessurativi e dei meccanismi di danno.
- **Caratterizzazione Meccanica dei Materiali:** in questa fase si dovrà prevedere un piano di indagini predisposte nell'ambito di un quadro generale volto a mostrare gli obiettivi delle indagini stesse. In base alla documentazione già disponibile, con le **verifiche in situ** e con le **indagini sperimentali** si raggiunge un'accurata conoscenza delle caratteristiche meccaniche dei materiali e del loro stato di degrado.
- **Livelli di Conoscenza e Fattori di Confidenza:** sarà, in questa fase, individuato un adeguato *livello di conoscenza* per la valutazione di sicurezza e definiti quindi i correlati *fattori di confidenza* da utilizzare come ulteriori coefficienti di sicurezza che tengono conto delle carenze nella conoscenza dei parametri del modello strutturale. Con una **Conoscenza Limitata**, esempio, e quindi con un Livello di Conoscenza **1 (LC1)** si ha un Fattore di Confidenza (**FC**) di **1,35** si effettueranno meno dettagli strutturali, meno indagini strutturali per determinare le proprietà dei materiali e meno metodi di analisi, ma allo stesso tempo si ridurranno del **35%** le resistenze di calcolo dei materiali. All'aumentare del livello di conoscenza diminuirà il relativo fattore di confidenza.

Per IndaginiStrutturalisrl la finalità delle analisi sui materiali (e quindi la *Caratterizzazione Meccanica dei Materiali*) è quella di determinare le caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche dei materiali costituenti le costruzioni civili, in modo da fornire informazioni sullo "stato di salute" degli edifici costruiti, sia di antica fabbrica, quanto di recente realizzazione. Tale necessità è determinata dal sopravvenire di eventi di degrado, che possono essere di tipo chimico (interazione e attacco di

agenti chimici di vario tipo), fisico (cicli termici, variazioni termo-igrometriche), accidentale (scoppi, incendi, eventi tellurici, ecc).

Altre cause, che prescindono invece dal degrado, interessano il campo tecnologico-progettuale e incidono sulla corretta realizzazione delle opere nel rispetto degli standard di costruzione. In accordo alla Normativa vigente nel campo delle Costruzioni (NTC 2008 e CMIT 2009), a monte di qualsiasi tipo di intervento è imprescindibile la conoscenza della struttura, che può essere ottenuta a vari livelli, determinati dallo studio di geometria, dettagli strutturali e materiali.

Come già specificato le Norme affermano, infatti, che in assenza di disegni e specifiche originali di progetto è indispensabile eseguire indagini e verifiche in situ, definite per tipologia di costruzione (muratura, cemento armato, acciaio, etc.) e per Livello di Conoscenza prefissato.

IndaginiStrutturalisrl sviluppa i piani di indagine, in accordo alla NTC privilegiando, per quanto possibile, un approccio minimamente invasivo. *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.* (CMIT 2009 - § C8A.1.3b(c))

Ciò è svolto in pieno accordo con le prescrizioni del DM del 14.01.2008 a condizione che le prove non invasive (dette "indirette") siano tarate sul quelle dirette.



# Indagini sul calcestruzzo

## Parte I

### Indagini sulla qualità dei calcestruzzi delle costruzioni esistenti: l'impostazione delle prove strutturali negli edifici

Il problema della sicurezza degli edifici esistenti riveste una fondamentale importanza nel nostro Paese; un paese che presenta un considerevole numero di manufatti di grande valore (storico, artistico, monumentale) ma allo stesso tempo anche di grande "vulnerabilità", in considerazione soprattutto di un territorio nazionale a rischio sismico **medio-alto**.

Per tali motivi riveste un ruolo di primaria importanza la caratterizzazione sperimentale dei materiali costituenti gli edifici e, nella fattispecie, le tecniche d'indagine della qualità dei calcestruzzi utilizzati negli edifici esistenti. IndaginiStrutturalisrl vuol fornire qualche spunto di riflessione relativamente alle indagini sulle costruzioni esistenti in calcestruzzo armato, sotto il profilo più generale e non limitato alla "semplice" esecuzione di prove sperimentali.

Infatti, se è vero che la fase operativa è assolutamente critica (e deve essere condotta seguendo procedure normalizzate, con attrezzature adeguate e con personale altamente specializzato) non deve essere trascurata la preliminare pianificazione dell'indagine, mediante la quale il **Progettista** deve scegliere tra le diverse tecniche, ricercando quella combinazione che meglio si adatta alla struttura in esame e agli obiettivi da conseguire.

Di fondamentale importanza è la fase di interpretazione dei risultati delle prove considerato - come noto - che non restituiscono, generalmente, il parametro meccanico ricercato, ma un dato da cui ricavarlo e stimarlo attraverso relazioni empiriche.

Il buon esito dell'attività d'indagine è quindi subordinato al complesso delle suddette fasi; se poi si considera che una cattiva caratterizzazione dei materiali vanifica completamente la seguente attività progettuale (le proprietà meccaniche dei materiali incidono pesantemente nelle successive verifiche), si comprende l'importanza d'attribuire all'attività d'indagine le giuste risorse che è opportuno destinare allo scopo.

La stessa **CMIT 2019, Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le Costruzioni"**, sottolinea che: *Nelle costruzioni esistenti è cruciale la conoscenza della struttura (geometria e dettagli costruttivi) e dei materiali che la costituiscono (calcestruzzo, acciaio, mattoni, malta).*

*È per questo che viene introdotta un'altra categoria di fattori, i "fattori di confidenza", strettamente legati al livello di conoscenza conseguito nelle indagini conoscitive, e che vanno preliminarmente a ridurre i valori medi di resistenza dei materiali della struttura esistente, per ricavare i valori da adottare, nel progetto o nella verifica, e da ulteriormente ridurre, quando previsto, mediante i coefficienti parziali di sicurezza. (CMIT 2019 - § C8.2)*

La valutazione sperimentale delle caratteristiche del calcestruzzo e l'impostazione dell'indagine negli edifici sono operazioni non semplici, soprattutto perché il calcestruzzo messo in opera può risultare affetto da una certa variabilità, anche ammessa la costanza della miscela con cui è stato realizzato. Pertanto occorrerà valutare adeguatamente il numero delle indagini da eseguire, opportunamente distribuite sui vari elementi portanti principali (travi, pilastri etc.) e sufficientemente ripartite anche tra i vari piani affinché siano efficacemente rappresentative delle caratteristiche del materiale. Occorre inoltre stabilire quali indagini effettuare e questo sembra l'aspetto maggiormente interessante nella pianificazione preventiva. Premesso che l'elemento caratterizzante per qualificare il calcestruzzo è costituito dalla sua resistenza a compressione, possiamo elencare le principali indagini su calcestruzzo, distinguendole in due macro categorie:



- **Prove Dirette:** sono prove che accertano il parametro della resistenza a compressione del calcestruzzo. Le prove di tipo diretto consistono nel **prelievo di provini di calcestruzzo** con successiva **Prova di Compressione in Laboratorio**.
- **Prove Indirette:** Sono prove meno invasive delle dirette che accertano un parametro diverso da quello ricercato (ad esempio, la velocità di trasmissione di una perturbazione meccanica o un certo tipo di resistenza a trazione) per cui è necessario interpretare tali dati per raggiungere il parametro della resistenza a compressione.

Un adeguato piano d'indagine prevede un numero di prove dirette ed indirette rispettando i dettami delle NTC: *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.* (CMIT 2019 - § C8A.1.3b(c)).

IndaginiStrutturalisrl sviluppa tali piani privilegiando, per quanto possibile, un approccio rigoroso ed al tempo stesso minimamente invasivo.



# Indagini sul calcestruzzo

## Parte II

### Il riconoscimento sperimentale delle caratteristiche del calcestruzzo: l'interpretazione dell'indagine

In riferimento alle principali normative tecniche presenti in legislatura è necessario definire la classificazione che l'**NTC del 2018** (e la sua circolare esplicativa **CMIT del 2019**) pone in merito alle **prove dirette** e le **prove indirette**.

Un adeguato piano di indagine prevedrà un certo numero di prove dirette, il cui impiego va tuttavia limitato, per quanto possibile, in considerazione dell'impatto che tale piano comporta sulle strutture, nonché il loro costo e tempo di esecuzione. La stessa NTC 2008, però, specifica che alcune prove indirette (circa il triplo di quelle dirette) possono essere impiegate nel piano di indagine per limitare il danneggiamento alle strutture, avendo inoltre costi ridotti e tempi di esecuzione nettamente più brevi.



È fondamentale, inoltre, che i risultati delle prove indirette siano calibrati con i risultati di quelle dirette secondo criteri che Indagini Strutturali Srl applica da anni.

La correlazione tra prove dirette e prove indirette è basilare per eseguire un buon piano di indagine; è conveniente procedere inizialmente con le prove indirette, che possono essere utilizzate allo scopo di caratterizzare un certo numero di elementi strutturali (travi, pilastri), e sottoporre parte di essi alle necessarie prove dirette.

## Prove dirette

- **Campioni di CLS:** si tratta di prelevare dei campioni cilindrici di calcestruzzo mediante un'attrezzatura che esegue un taglio circolare (carotatrice); è importante che la zona ove effettuare il prelievo venga ispezionato con indagine pacometrica per riconoscere la presenza di barre di armatura. L'estrazione del campione cilindrico di calcestruzzo (la cui attenta osservazione può fornire qualche utile indicazione) permette al laboratorio competente di portare a compressione il provino determinando oltre alla massa volumetrica ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ ) la tensione ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) ed il carico ( $\text{kN}$ ) di rottura. Un dato importante rilevato in fase di prelievo è quello della **carbonatazione** che è data dall'anidride carbonica presente nell'aria che penetra nel calcestruzzo. Nebulizzando una soluzione alcolica a base di fenoltaleina si potrà determinare la profondità di carbonatazione.
- **Barre d'armatura:** anche le barre di armatura sono soggette a prove dirette. L'operazione è assistita da una preventiva saldatura delle barre che andranno a ripristinare lo spezzone da rimuovere. Sul campione prelevato è possibile determinare il carico di snervamento, di rottura e l'allungamento percentuale.



## Prove indirette

- **Ultrasuoni:** si impiega una sonda che emette una serie di impulsi (aventi una certa frequenza, 40 100 Hz) e si misura il tempo di propagazione nella massa del calcestruzzo grazie ad un'altra sonda (ricevente) posta ad una certa distanza dalla prima. Esistono diverse modalità di esecuzione ma la più attendibile è quella "per trasparenza", in cui le sonde si trovano affiancate su lati opposti dell'elemento. Obbligatorio sarà effettuare una preventiva indagine pacometrica per evitare zone con armature troppo ravvicinate.
- **Sclerometro:** è un'attrezzatura attraverso la quale si ricava la capacità del calcestruzzo di restituire energia ad una massa battente, attraverso il rimbalzo che sviluppa dopo l'impatto. L'indagine sclerometrica, associata agli ultrasuoni, permette di applicare il metodo SonReb che consente di determinare la resistenza di un calcestruzzo correlando la velocità ottenuta dagli ultrasuoni con l'indice di rimbalzo ottenuto dall'indagine sclerometrica.
- **Pull-Out:** La prova consiste nell'inserire un inserto metallico nella massa del calcestruzzo e quindi di estrarlo con un dispositivo (martinetto) misurando la forza necessaria allo scopo. Pur avendo un modesto impatto sulla struttura, tramite essa si ottiene un dato più diretto per la resistenza di calcestruzzo.

Per tutte le tecniche cui si è fatto riferimento esistono delle correlazioni che consentono di stimare la resistenza a compressione del calcestruzzo a partire dal dato misurato. Tuttavia occorre cautela nell'utilizzare queste formule poiché sono state ricavate con riferimento a calcestruzzi aventi certe caratteristiche e non di validità generale. Le indagini sulla qualità dei materiali costituiscono un'attività ricorrente e fondamentale per il Professionista che si occupa di costruzioni esistenti.

Indagini Strutturali Srl in quest'ambito, infatti, valuta l'attività progettuale (adeguamento, miglioramento, riparazione o semplicemente valutazione di sicurezza) come dato fondamentale per esaminare una costruzione già realizzata, di cui però non sono generalmente note gran parte delle caratteristiche strutturali. Antepoendo, alla consueta attività di progettazione, una fase di diagnosi necessaria per ricavare i tratti essenziali e significativi della struttura: la geometria, i dettagli costruttivi e i materiali.

Lo sforzo conoscitivo del Professionista nei riguardi della qualità dei materiali (della geometria e dei dettagli costruttivi) viene riconosciuto e premiato dalla Normativa che consente l'adozione dei già citati "fattori di confidenza".



# Indagini sul calcestruzzo

## Parte III

### Il riconoscimento sperimentale delle caratteristiche del calcestruzzo

#### Le tecniche di indagine

Rimanendo sempre nell'ambito delle strutture in calcestruzzo, e conservando la distinzione tra prove dirette e indirette, si citano le seguenti principali tecniche di indagine.



#### Prove dirette

Si tratta di prelevare dei campioni cilindrici di calcestruzzo mediante un'attrezzatura che esegue un taglio circolare (**carotatrice**), nel modo più indisturbato possibile, nell'ambito della struttura. È importante che il punto di prelievo venga ispezionato preliminarmente con un pacometro per riconoscere la presenza di barre di armatura così da evitarne il taglio accidentale che costituisce sia un inutile danneggiamento della struttura sia una complicazione nell'interpretazione del valore della resistenza a compressione. Una volta estratto il campione cilindrico di calcestruzzo (la cui attenta osservazione può fornire già qualche utile indicazione) si procede alla sua preparazione in laboratorio e quindi allo schiacciamento, non avendo trascurato di determinarne preliminarmente la massa volumica, la sua precisa geometria e la profondità di carbonatazione tramite nebulizzazione di soluzione alcolica di fenolftaleina. La carbonatazione è causata dall'anidride carbonica presente nell'aria che penetra man mano nel calcestruzzo trasformando la calce di idrolisi (che si produce nell'idratazione del cemento) in carbonato di calcio. Solo per inciso si ricorda che questo processo non ha rilevanti conseguenze sulla durabilità del calcestruzzo; per contro, le armature metalliche, a causa

della riduzione della basicità del volume di calcestruzzo carbonatato, non si trovano più protette nei riguardi della corrosione. Circa le dimensioni del provino è particolarmente importante la scelta del diametro che non deve essere inferiore a 3 volte il diametro massimo dell'inerte utilizzato per il confezionamento del calcestruzzo (noto dal progetto o stimato). In genere, un diametro di 100-110 mm è sufficiente per le strutture di cui ci stiamo occupando (edifici). Meno vincolante è la scelta della altezza del campione, posto che esistono affidabili relazioni che consentono di correlare la resistenza di provini cilindrici di altezza compresa tra 1 e 2 volte il diametro, con la resistenza cubica. In prima approssimazione, in particolare, si può ritenere che la resistenza di un provino cilindrico con rapporto altezza/diametro pari a 1 sia equivalente alla resistenza di un cubo di lato pari al diametro del cilindro. Qualora interessi, il provino cilindrico può essere strumentato con estensimetri posizionati sulla superficie laterale, per ricavare le deformazioni secondo la direzione

dell'applicazione del carico e quindi il modulo elastico del calcestruzzo (la prova in questo caso segue un ciclo di carico ovviamente diverso da quello impiegato per determinare la resistenza allo schiacciamento).

Anche le armature contenute nel calcestruzzo sono assoggettabili a prove dirette. Si tratta di prelevare alcune barre dalla struttura e di determinarne il carico di snervamento, quello massimo e l'allungamento a rottura.

## Prove indirette

Le più utilizzate tecniche di tipo indiretto sono le seguenti.

1. Pacometro
2. Ultrasuoni
3. Sclerometro
4. Sonreb
5. Pull-out



# Indagini sul calcestruzzo

## Parte IV - La strumentazione

### Pacometro – Ultrasuoni - Sclerometro – Sonreb - Pull-out

#### L'indagine pacometrica – Preliminare essenziale sia per le prove dirette che per quelle indirette

L'indagine pacometrica - Preliminare essenziale sia per le prove dirette che per quelle indirette.

Il pacometro è generalmente utilizzato nell'ambito del riconoscimento geometrico (e qualitativo) delle strutture. Più in particolare, permette l'individuazione della presenza di eventuali armature nell'ambito di elementi di calcestruzzo (permettendo quindi la discriminazione tra strutture armate e non) nonché di valutare il diametro e il "copriferro" delle barre rispetto alla superficie libera dalla quale avviene l'ispezione.

Il pacometro, pertanto, fornisce informazioni assai rilevanti nell'ambito delle strutture in calcestruzzo con il principale vantaggio di essere una tecnica assolutamente non invasiva (a patto di avere accesso alla superficie dell'elemento strutturale) molto rapida e di basso costo. Un limite della tecnica è rappresentato dalla profondità dell'indagine (non superiore a circa 10 cm) che può risultare condizionante per strutture massicce nonché per quelle dotate di più strati di armature, o nel casi in cui non risultino accessibili tutte le superfici che delimitano l'elemento strutturale (ad esempio solo la superficie di intradosso di una trave).

Trattandosi di una tecnica di indagine di tipo indiretto, non va sottovaluta l'importanza di ottenere conferme dei risultati forniti, confrontando le prime determinazioni ottenute con dei riscontri diretti (effettuando delle scalpellature per scoprire le armature nella posizione in cui sono segnalate).

Per ogni struttura analizzata viene compilata una scheda indicante le caratteristiche dell'armatura rilevata quali:

- tipo di barre utilizzate;
- diametro;
- posizione e distanze reciproche delle barre;
- spessore minimo, medio e massimo del copriferro.

### Ultrasuoni

Si applica attraverso una sonda (emettitrice) una serie di impulsi meccanici aventi una certa frequenza (40-100 kHz) e se ne misura il tempo di propagazione nella massa del calcestruzzo mediante un'altra sonda (ricevente), posta ad una certa distanza dalla prima. Esistono diverse possibilità di effettuazione delle prove in relazione alla posizione reciproca delle sonde emettitrici e riceventi l'impulso; risulta però consigliata la cosiddetta modalità "per trasparenza", in cui le sonde si trovano affacciate su lati opposti dell'elemento strutturale indagato. Nell'esecuzione della prova è molto importante prestare alcune accortezze evitando zone con armature (che possono modificare la velocità di propagazione delle onde) e curando l'accoppiamento tra sonda e calcestruzzo con opportuni materiali. Dalla prova si ricava, come detto, il tempo di propagazione dell'impulso (ultrasonoro) e, grazie alla precisa misura della distanza tra le sonde, la sua velocità di propagazione nel materiale. In un mezzo elastico omogeneo e isotropo (caratteristiche solo approssimativamente proprie del calcestruzzo), la velocità di propagazione dell'impulso (onde longitudinali) si può correlare, tramite il coefficiente di Poisson e la densità del materiale, al modulo elastico dinamico; da questo al modulo statico e, quindi, alla stima della resistenza a compressione del calcestruzzo. Da quanto appena detto si comprende la laboriosità dell'interpretazione del dato e, conseguentemente, i margini di incertezza che possono sussistere nella relativa stima, particolarmente se non si eseguono tarature e confronti con prove dirette. Il metodo ultrasonoro può essere utilizzato in associazione alle prove

sclerometriche (metodo SONREB) il che consente di minimizzare l'influenza di alcuni parametri di cui risentono le singole metodologie.

## Sclerometro

È un'attrezzatura attraverso la quale si ricava la capacità del calcestruzzo di restituire energia ad una massa battente, attraverso il rimbalzo che sviluppa dopo l'impatto.

Sebbene lo strumento disponga di correlazioni con cui valutare la resistenza a compressione del calcestruzzo mediante l'indice di rimbalzo osservato, l'affidabilità del metodo non è elevata. Risultati migliori ai fini della determinazione della resistenza del calcestruzzo sono ricavabili, come già detto, in associazione alle prove ultrasoniche e, comunque, previa taratura con prove dirette. Relativamente alle prove con sclerometro si vuole segnalare l'effetto che può avere la carbonatazione che, rendendo maggiormente "duro" lo strato corticale di calcestruzzo, può portare ad una sopravvalutazione della risposta (incremento dell'indice di rimbalzo); inoltre la prova è influenzata dall'umidità superficiale della struttura e il progressivo aumento del contenuto d'acqua riduce l'indice di rimbalzo.

Tra i vantaggi della prova si segnala la sua rapidità ed il basso costo.

## Sonreb

Non si tratta di una indagine a sé, ma dell'interpretazione congiunta di prove ultrasoniche (SONic) e dell'indice di rimbalzo (REBound) della prova sclerometrica. L'utilizzo congiunto delle due prove è suggerito dall'osservazione che così facendo si può mitigare l'influenza di alcuni fattori, come ad esempio l'umidità del calcestruzzo, che agiscono (in senso opposto) sulle singole tecniche.

## Pull-out

La prova consiste nell'inserire un inserto metallico nella massa del calcestruzzo e quindi di estrarlo con un dispositivo (martinetto) misurando la forza necessaria allo scopo.

È una prova più lenta delle altre (indirette) precedentemente descritte e produce anche un modesto impatto sulle strutture; tuttavia la correlazione ottenibile con la resistenza del calcestruzzo è migliore, anche se occorre osservare che la porzione indagata di calcestruzzo è relativamente superficiale e quindi la rappresentatività nei riguardi dell'intera massa della struttura deve essere attentamente valutata. Anche in questo caso occorre evitare di effettuare la prova in vicinanza delle armature poiché il cono di calcestruzzo che viene estratto potrebbe interessarle, modificandone sensibilmente il risultato.



# Indagini sul calcestruzzo

## Parte V - Conclusioni

### Il riconoscimento sperimentale delle caratteristiche del calcestruzzo: l'interpretazione dell'indagine

Per tutte le tecniche cui si è fatto riferimento esistono delle correlazioni che consentono di stimare la resistenza a compressione del calcestruzzo a partire dal dato misurato. Tuttavia occorre cautela nell'utilizzare queste formule poiché sono state ricavate con riferimento a calcestruzzi aventi certe caratteristiche e non di validità generale. L'interpretazione dell'indagine è più efficace se, partendo dalla struttura analitica suggerita in letteratura per le correlazioni, si effettuano idonee calibrazioni al caso specifico.

Facendo ad esempio riferimento alla metodologia SONREB, la struttura della formula che fornisce la resistenza a compressione del calcestruzzo ( $R$ ) in funzione dell'indice di rimbalzo ( $I$ ) e della velocità di propagazione delle onde longitudinali ( $V$ ) è la seguente:  $R=(Ia*Vb)^c$ .

I valori dei parametri  $a$ ,  $b$ , e  $c$  che rendono completamente definita la precedente relazione sono reperibili in letteratura tecnica ma l'operazione di calibrazione consigliata (anzi, richiesta dalla Norma) consiste nel ricavarli sulla base del confronto con i risultati di prove dirette (eseguite ovviamente nella immediate vicinanze) utilizzando metodi statistici di minimizzazione dell'errore. Si dispone quindi di una relazione più aderente al caso specifico che può essere utilizzata per interpretare tutte le restanti determinazioni. Come esempio dell'importanza dell'operazione descritta si riporta il seguente confronto basato su un caso reale.

Nel grafico sono riportate le elaborazioni di 25 determinazioni mediante il metodo SONREB. L'istogramma a barre di colore blu rappresenta l'elaborazione risultante attraverso l'utilizzo di una formula di letteratura che fornisce un valore medio di resistenza pari a circa 22 MPa. L'utilizzo di una relazione "calibrata" nel senso descritto in precedenza fornisce, a partire dagli stessi dati sperimentali, l'istogramma in colore rosso che evidenzia un valor medio di resistenza di circa 30 MPa. E' evidente la notevole differenza dei risultati ottenuti che può portare ad un giudizio sostanzialmente diverso sulla qualità dei calcestruzzi.

### Conclusioni

Le indagini sulla qualità dei materiali costituiscono un'attività ricorrente e fondamentale per il Professionista che si occupa di costruzioni esistenti. In quest'ambito, infatti, l'attività progettuale (adeguamento, miglioramento, riparazione o semplicemente valutazione di sicurezza) ha come oggetto una costruzione già realizzata, di cui però non sono generalmente note gran parte delle caratteristiche strutturali. Il Professionista deve quindi anteporre alla consueta attività di progettazione una fase di diagnosi necessaria per ricavare i tratti essenziali e significativi della struttura: la geometria, i dettagli costruttivi e i materiali.

Nel processo di riconoscimento della qualità dei materiali occorre tener conto che le effettive caratteristiche meccaniche possono discostarsi da quelle del progetto originario (errori di manipolazione del calcestruzzo in fase di posa in opera) oppure possono aver subito una riduzione nel corso del tempo a causa di numerosi fattori ambientali (carichi eccessivi, fattori di degrado endogeni ed esogeni, etc). Per questo motivo, anche nei casi in cui è disponibile una completa documentazione di progetto e di prove di accettazione in corso d'opera, la

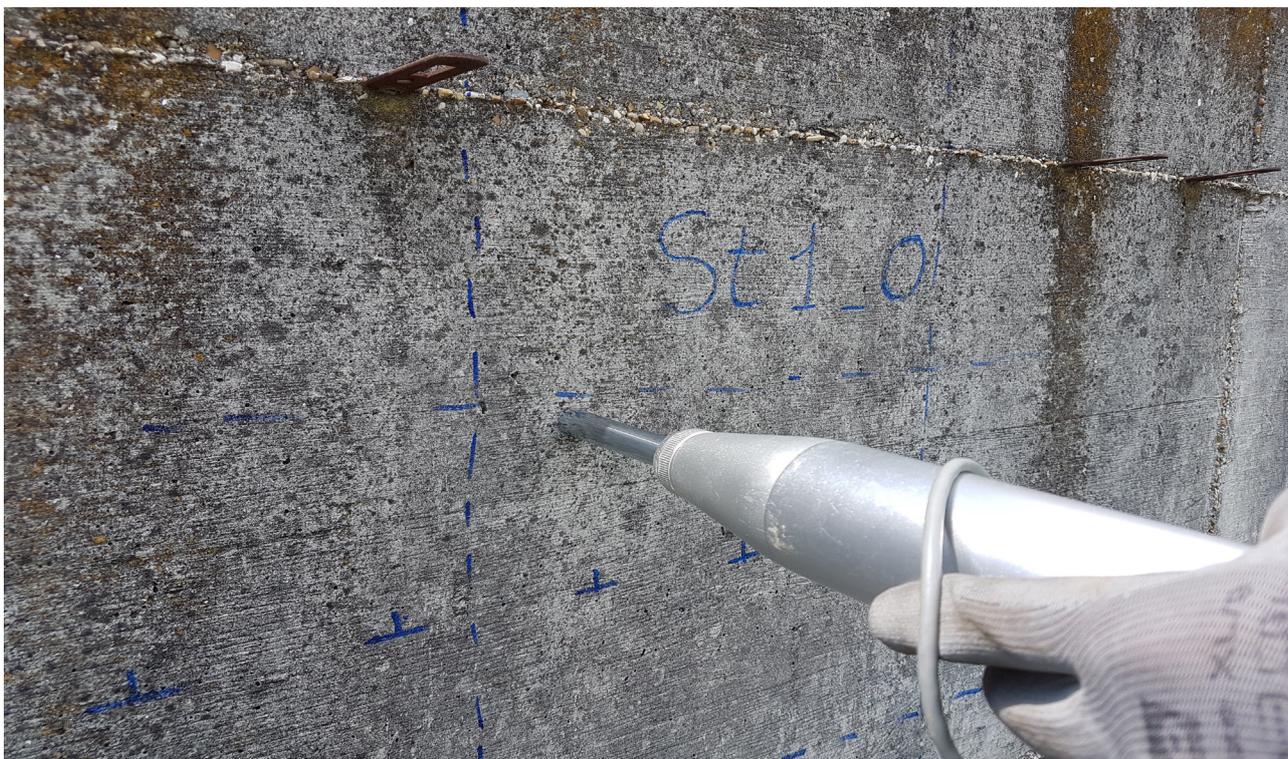
Normativa richiede sempre anche un accertamento sperimentale delle caratteristiche dei materiali al fine di confermare (o riconsiderare) i dati ivi riportati.

Nell'espletamento dell'attività d'indagine è essenziale la perfetta esecuzione delle diverse tecniche sperimentali, intesa come insieme di procedure operative Normalizzate e di attrezzature impiegate,

che può essere garantita solo da Società esecutrici altamente qualificate e di riconosciuta esperienza. Non meno cruciali sono la fase preliminare, d'impostazione dell'indagine e quella, conclusiva, d'interpretazione del risultato, nelle quali è sempre proficua una costante interazione tra il Professionista e la Società esecutrice delle indagini.

Infine, tre considerazioni che evidenziano l'importanza della diagnosi strutturale.

1. La prima: eventuali errori nelle fase d'indagine possono condizionare anche pesantemente la successiva fase di progettazione, con la predisposizione di inutili interventi di rinforzo (qualora fossero sottostimate le caratteristiche dei materiali) ovvero insufficienze statiche (nel caso contrario, e cioè di una sopravvalutazione delle resistenze).
2. La seconda: lo sforzo conoscitivo del Professionista nei riguardi della qualità dei materiali (della geometria e dei dettagli costruttivi) viene riconosciuto e premiato dalla Normativa che consente l'adozione di "fattori di confidenza" (coefficienti di sicurezza con cui occorre dividere le resistenze ricavate per i materiali) via via decrescenti all'aumentare dell'approfondimento dell'indagine (livello di conoscenza) e possibilità di economie nella soluzione progettuale e vantaggi complessivi per il Cliente.
3. La terza: l'indagine sui materiali può risultare d'interesse anche per i Professionisti incaricati al collaudo delle strutture. Tralasciando l'ovvia necessità di supplire con prove nei casi di insufficienze di vario tipo dei "controlli d'accettazione", il ricorso (anche limitato) ad indagini sulla qualità dei materiali può costituire uno strumento utile al Collaudatore quando constati criticità nel processo di messa in opera e stagionatura del calcestruzzo e, conseguentemente, l'eventualità che i valori di resistenza ottenuti dai "cubetti" non siano adeguatamente rappresentativi delle effettive caratteristiche meccaniche delle strutture realizzate.



# Indagini sulle murature

## Esecuzione di indagini su strutture in muratura: approccio sperimentale alla conoscenza del materiale

Gli edifici a struttura mista si sono via via diffusi nel tessuto edilizio italiano principalmente come evoluzione di edifici esistenti in **MURATURA** portante; non è però difficile trovare costruzioni (risalenti agli anni '50-'70 realizzati) ex novo in muratura e cemento armato.

La normativa tecnica **NTC 2008** (Norme Tecniche per le Costruzioni) e la sua circolare esplicativa **CMIT 2009** (Circolare del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti), stabiliscono le metodologie di analisi di tali edifici, sviluppando l'argomento all'interno del capitolo "**COSTRUZIONI ESISTENTI**" (§ C8).

La Norma prescrive che la valutazione della sicurezza debba essere eseguita nei casi in cui ci sia un significativo peggioramento delle condizioni iniziali, dovuto sia a motivi indipendenti dall'uomo (come sisma o degrado intrinseco della struttura o, ancora, accertati errori di progetto); sia a motivi connessi all'intervento dell'uomo, in quanto incidono sugli elementi strutturali (modifiche intervenute durante la vita del manufatto) o sulle sollecitazioni.

Il primo approccio per l'analisi di strutture in muratura è di tipo visivo: anamnesi della struttura, rilievo geometrico, indagini visive e strumentali in situ. La stessa **NTC** definisce che "*Il rilievo deve individuare l'organismo resistente della costruzione, tenendo anche presente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi*" e che "*Le indagini dovranno essere motivate, per tipo e quantità, dal loro effettivo uso nelle verifiche; nel caso di beni culturali e nel recupero di centri storici, dovrà esserne considerato l'impatto in termini di conservazione del bene*". (NTC 2008 - § C8.5.2/3)

Tali prescrizioni consentono di evidenziare che, preliminarmente alla progettazione del piano di prove strutturali, risulta di fondamentale importanza acquisire tutta la documentazione disponibile (progetto originario ed eventuali atti di collaudo) e rilevare il quadro fessurativo e deformativo.

Se per le strutture in cemento armato la **CMIT 2009** prevede che, indipendentemente dal livello di conoscenza che si vuole raggiungere (LC1, LC2 o LC3), si possano effettuare prove sui materiali mediante verifiche limitate, estese o esaustive, nella muratura invece, come si evince dalla *Tabella C8A.1.1* della **CMIT 2009**, qualora si voglia raggiungere un livello di conoscenza LC2 è possibile limitare al minimo le prove distruttive solo e soltanto quando si è identificata con certezza il tipo di muratura in esame in modo tale da poter effettuare l'analisi utilizzando i valori medi di resistenza presenti in suddetta tabella. Ad ogni modo sarà il Progettista a decidere l'esecuzione delle prove subordinate alla selezione del livello di conoscenza che si mira ad ottenere.

Per rendere complete le indagini sulle murature è importante valutare anche lo stato di conservazione della malta, e soprattutto la loro tipologia e composizione; in questa sede si affronterà anche il tema relativo alle indagini specifiche su malta.

IndaginiStrutturalisrl applica da anni le tecniche più appropriate per eseguire le indagini su



paramenti murari e per la muratura, come per il cemento armato (affrontato nelle pubblicazioni precedenti), le principali tecniche d'indagine si differenziano in **prove dirette** e **prove indirette**.

## Prove dirette

- **Martinetto Piatto:** è una prova semi-invasiva che trova maggiore spazio in *martinetti piatti singoli* e *martinetti piatti doppi*. Il primo, il singolo, è finalizzato alla valutazione dei carichi gravanti sul paramento murario e degli **stati tensionali** in essa agenti e consiste nell'esecuzione di un taglio sulla muratura e successivamente, nell'inserimento di un martinetto idraulico nella fessura ottenuta; agendo su una pompa oleodinamica, si ripristina la situazione iniziale mandando in pressione il martinetto e registrando gli spostamenti tramite un deformometro su capisaldi. Il secondo (martinetto piatto doppio), invece, consiste nell'esecuzione di un secondo taglio e nell'inserimento, quindi, di un secondo martinetto idraulico, sollecitando la porzione di muratura tra i due martinetti, similmente ad una prova di compressione monoassiale. In tal modo si è in grado di stimare il **modulo di deformabilità**, il **coefficiente di Poisson** e la **tensione di prima fessurazione e di rottura** del concio esaminato.
- **Endoscopia:** viene effettuata prevalentemente per la caratterizzazione della morfologia e della stratigrafia della muratura stessa, mediante indagine della struttura interna e del materiale costituente (tipi di malta, laterizio, pietra; spessore e conformazione dei paramenti murari; altri dettagli, etc).
- **Indagini granulometriche e chimiche delle malte:** vengono eseguite in laboratorio le necessarie analisi su campioni di malta prelevati in situ per la loro caratterizzazione meccanica e chimica.

## Prove indirette

- **Prove Soniche:** rappresentano un metodo di indagine non distruttivo che consente di ottenere informazioni per la caratterizzazione qualitativa della muratura. La tecnica di indagine sonica si basa sulla generazione di impulsi meccanici con frequenze nel campo del sonoro. L'onda sonica viene generata sul supporto murario mediante battitura con martello strumentato, e viene quindi ricevuta da un sensore posto in un punto diverso della struttura. L'elaborazione dei dati consiste nel calcolo del tempo di trasmissione dell'onda, ricavando quindi (noto lo spazio che separa trasmettitore da ricevitore) la velocità media di attraversamento della muratura.
- **Prove Penetrometriche:** le prove consistono nella misurazione dell'energia sprigionata per praticare una cavità in un giunto di malta con un normale processo di foratura realizzato mediante trapano; dall'analisi statistica dei dati rilevati è possibile correlare la resistenza alla perforazione della malta con le sue caratteristiche meccaniche.

Le indagini sulla qualità dei materiali costituiscono un'attività ricorrente e fondamentale per il Professionista che si occupa di costruzioni esistenti, ed in particolare per quelle in muratura; IndaginiStrutturalisrl sviluppa e realizza i piani d'indagine in accordo alla NTC privilegiando, per quanto possibile, un approccio minimamente invasivo.



# Indagini sui metalli

Le indagini sui metalli vengono eseguite per le verifiche delle barre d'armatura e in particolare per determinare le dimensioni e valutare lo stato di corrosione e la resistenza a trazione. I risultati sono ottenibili mediante campioni prelevati e poi, opportunamente, analizzati in laboratorio, dove si potranno determinare i valori della tensione di snervamento e di rottura. Vengono scelti gli elementi strutturali meno sollecitati, evitando di ciascuno, principalmente, le zone tese e quelle maggiormente compresse.

Un'ulteriore tipologia d'indagine sul metallo consiste nel misurare la durezza delle superfici metalliche come, ad esempio, quelle dei profilati. La strumentazione utilizzata per la prova con durometro sfrutta il metodo di misura a rimbalzo utilizzando uno strumento di battuta (sonda) che è in grado di rilevare la durezza dei materiali e di convertire i valori nelle principali scale di misura (Rockwell B, Rockwell C, Brinell, Vickers).

## Prove con durometro

### Obiettivi della prova

Come già detto, le prove con Durometro sono finalizzate a rilevare la durezza di svariati materiali e a convertire il valore nelle principali scale di misura (Rockwell B, Rockwell C, Brinell, Vickers).

### Materiali ispezionabili e tempi d'esecuzione

I materiali ispezionabili sono i metalli e loro leghe e i profilati metallici di ogni genere: piastre, putrelle, etc. (Elementi strutturali). I tempi di esecuzione di questa prova sono brevi.

### Riferimenti normativi

- Normativa ASTM 7956
- Norme EN-ISO



# Indagini sul legno

## Indagini su elementi strutturali in legno: avvicinamento alla conoscenza del materiale

La normativa tecnica **NTC 2008** (Norme Tecniche per le Costruzioni) e la sua circolare esplicativa **CMIT 2009** (Circolare del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti) affermano che l'impostazione generale relativa alla valutazione della sicurezza degli elementi in legno di nuova costruzione può essere utilizzata anche per le strutture di legno esistenti purché si provveda ad una attenta valutazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche del legno con metodi di prova diretti o indiretti.

Il **LEGNO** si differenzia dagli altri materiali da costruzione in virtù della sua origine biologica e pertanto le sue caratteristiche fisiche e il suo comportamento meccanico sono strettamente legati all'anatomia della pianta di provenienza; all'interno del tronco, idealmente cilindrico, si individuano direzioni principali a cui è possibile definire caratteristiche morfologiche differenziate e caratteristiche fisiche,



nonché meccaniche, molto variabili. Inoltre, l'NTC e il CMIT prevedono al capitolo "*RIFERIMENTI TECNICI*" (§ C12) la possibilità di avvalersi, per la progettazione, di altre normative o documenti scientifici tra i quali, istruzioni e documenti tecnici del **CNR** (Consiglio Nazionale delle Ricerche), oltre alla possibilità di utilizzare altri codici internazionali, purché sia dimostrato che garantiscano livelli di sicurezza non inferiori a quelli stabiliti dalle Norme Tecniche.

Due di questi documenti tecnici, **EUROCODICE 5** e **ISTRUZIONI CNR DT/206** sono sostanzialmente analoghi e definiscono le regole di progettazione, calcolo ed esecuzione delle strutture di legno per i requisiti di resistenza meccanica, funzionalità, durabilità e resistenza al fuoco, ecc.; e si basano sul metodo semiprobabilistico degli stati limite. Criteri generali, basi di calcolo, proprietà dei materiali, durabilità, stati limite ultimi e di servizio, stati limite di servizio, particolari strutturali e controllo; sono gli argomenti che all'interno di entrambe le norme vengono affrontati relativi alla progettazione.

Le istruzioni CNR DT/206 contengono alcuni argomenti specifici non trattati all'interno dell'Eurocodice 5, come il calcolo dei solai misti legno-clc, dei collegamenti con barre incollate e dei giunti di carpenteria.

Proprio il documento tecnico **CNR-DT 206/2006 "Istruzioni per il progetto, l'esecuzione ed il controllo delle strutture di legno"** fornisce un contributo tecnico di supporto a IndaginiStrutturalisrl che esegue i controlli su elementi in legno; il DT ha l'ambizione di porsi come punto di riferimento nel processo di innovazione delle applicazioni strutturali dei moderni, e già esistenti, materiali lignei.

L'obiettivo è quello di contribuire, mediante uno strumento tecnico mirato, sia alla sicurezza delle strutture sia fornire le basi per una crescita consapevole dell'intero settore industriale.

Nelle istruzioni si prendono in esame i requisiti di resistenza meccanica, comportamento in esercizio e durabilità delle strutture.

IndaginiStrutturalisrl esegue anche prove di carico su solai in legno, che si dovranno svolgere con le modalità indicate dal collaudatore/progettista. I carichi di prova devono essere, di regola, tali da indurre le sollecitazioni massime di esercizio per combinazioni particolari e le procedure da seguire saranno pertanto limitate alle indicazioni della *UNI-EN 380*, in relazione al tipo della struttura ed alla natura dei carichi.

L'esito della prova, quindi, dovrà essere valutata sulla base delle deformazioni che accrescano all'incirca proporzionalmente ai carichi e che nel corso della prova non si siano prodotte lesioni, deformazioni o dissesti che compromettano la sicurezza.

Come ogni altro elemento strutturale, anche il legno è esposto all'azione del degrado; oltre al degrado strutturale (rottture, sconessioni, deformazioni eccessive, ecc.) è esposto anche al **degrado biologico** (carie, attacchi da insetti, muffe, ecc.) la cui gravità è in stretto rapporto con la sua estensione e posizione nell'elemento strutturale ligneo.

Un'indagine esaustiva per risalire alla resistenza meccanica di un elemento strutturale ligneo è la **prova resistografica**; che consiste nel misurare la resistenza opposta dal legno alla penetrazione di una punta azionata dal Resistograph, un sofisticato trapano. Lo strumento restituisce dei diagrammi (profili) nei quali sull'asse delle ordinate è riportata la resistenza e sull'asse delle ascisse la profondità di penetrazione. Ogni elemento strutturale ligneo ha un andamento caratteristico che dipende dalla specie legnosa.

Le indagini sulla qualità dei materiali costituiscono un'attività ricorrente e fondamentale per il Professionista che si occupa di costruzioni esistenti; a tal punto IndaginiStrutturalisrl sviluppa e realizza i piani d'indagine in accordo alle prescrizioni tecniche poco fa elencate.





[www.indaginstrutturali.it](http://www.indaginstrutturali.it)