

5 INDAGINI SUI MATERIALI

5.1 PROVE NON DISTRUTTIVE SUL CALCESTRUZZO

5.1.1 Carotaggio

UNI EN 12504-1/2002

Il carotaggio del calcestruzzo permette una valutazione della resistenza meccanica attraverso la prova di compressione in laboratorio dei provini cilindrici prelevati in sito.

Il numero di carote da prelevare per caratterizzare il materiale dell'elemento strutturale in studio non deve essere inferiore a 3. Le carotatrici hanno punte con diametri di 7, 10, 14 e 16 cm che vanno scelte, tendendo al diametro massimo, in funzione delle difficoltà del sito.

La scelta del diametro della carota dovrà tenere conto di alcuni aspetti:

- la riduzione della sezione resistente dell'elemento in studio;
- evitare il taglio di armature;
- il diametro dell'inerte.



L'operazione di carotaggio è particolarmente delicata in quanto, se non eseguita correttamente, potrebbe compromettere i risultati. Sono quindi importanti alcuni aspetti:

- utilizzare punte perfettamente cilindriche e ben affilate;
- fissare rigidamente la carotatrice evitando qualunque vibrazione;
- utilizzare abbondantemente l'acqua di raffreddamento.

Tutti i fori andranno riempiti con malta di cemento a presa rapida.

La carota appena estratta andrà immediatamente contrassegnata con pennarello e fotografata a fianco del foro di estrazione.

Il trasporto dovrà avvenire con la massima cautela, onde evitare la formazione di fessurazioni per inflessioni o vibrazioni, proteggendo la carota con appositi prodotti (palline di polistirolo ...) ed inserendola in cassette di trasporto rigide.

Le carote saranno tagliate e rettificata presso un Laboratorio Prove Materiali ufficiale, in base alla normativa UNI EN 12390-1 e UNI EN 12390-3, che fornirà la resistenza cilindrica di compressione.



Il valore della resistenza cubica è ottenuta da quella cilindrica attraverso la relazione (Art. 4.0.2 del D.M. 9 gennaio 1996):

$$R_{cub} = R_{cil} / 0,83 \text{ per } h/d > 2 \quad (24)$$

Per rapporti inferiori è introdotto un fattore di correzione ricavabile dalle norme ASTM C 42:68 e la relazione diventa:

$$R_{cub} = F_c \cdot R_{cil} / 0,83 \quad (25)$$

h/d	F_c
2	1,00
1,75	0,99
1,50	0,97
1,25	0,94
1,00	0,91

5.1.2 Prova di Pull-out

UNI 10157/1992

La metodologia d'indagine consente di determinare la resistenza media del calcestruzzo, R_{mc} , mediante l'estrazione di un tassello post-inserito.

Il sistema è stato sviluppato in modo da permettere l'inserimento di un tassello post-opera.

Il tassello è inserito in un foro appositamente svasato internamente; attraverso la battitura della testa del tassello si produce l'allargamento della parte radiale interna consentendo così una perfetta adesione alle pareti. Viene quindi applicato un martinetto oleodinamico che poggia su una superficie circolare; attraverso il tiro del tassello si determina la rottura di un cono di calcestruzzo.



Il valore della forza massima necessaria consente, attraverso delle curve sperimentali di correlazione, di pervenire al valore della R_{mc} . La rottura della parte sottoposta a tensione avviene per compressione-taglio tra la parte allargata del tassello e la base del martinetto.

La strumentazione, oltre a comandare elettricamente il funzionamento del martinetto, consente una misura precisa della pressione oleodinamica, depurata degli attriti nella fase di taratura, e una stampa dei valori rilevati.



La procedura di prova può essere così sintetizzata:

- rilevazione attraverso un Pachometro della presenza di ferri di armatura nell'area di prova;
- esecuzione del foro, alle distanze dai ferri previste a norma, con svasatura interna;
- perfetta pulizia del foro;
- inserimento del tassello con battitura della testa;
- fissaggio del martinetto di estrazione;
- estrazione comandata elettricamente;
- visione immediata e stampa del risultato.

La curva di correlazione tra forza massima d'estrazione e R_{mc} è ricavata da studi sperimentali di confronto con provini cubici:

$$R_{mc} = \frac{-12,5 \cdot 10^{-6} \cdot F^2 + 0,157 \cdot F + 10}{10} \text{ [MPa]} \quad (26)$$

dove F = forza di estrazione [daN]

Vanno eseguite almeno 3 estrazioni per ogni elemento strutturale in studio utilizzando la media dei risultati ottenuti.

Tutti i valori medi potranno concorrere a determinare la resistenza caratteristica R_{ck} definita, D.M. LL.PP del 9 gennaio 1996, come la resistenza a compressione al di sotto della quale si può attendere di trovare il 5% della popolazione di tutte le misure effettuate:

$$R_{ck} = R_{tm} - 1,64 \text{ SQ} \quad (27)$$

dove R_{tm} è il valore medio di tutti i risultati ed SQ è lo scarto quadratico.

5.1.3 Misura sclerometrica

UNI EN 12504-2:2001

Lo sclerometro consiste in una massa battente di acciaio, azionata da una molla, che contrasta un'asta di percussione a contatto sulla superficie di prova del calcestruzzo.

Il valore di rimbalzo della massa battente è misurato mediante un indice di lettura trascinato su una scala lineare alloggiata nella cassa dello sclerometro.

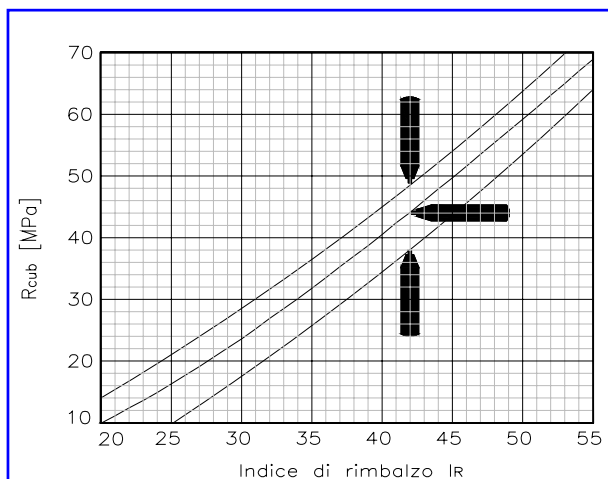
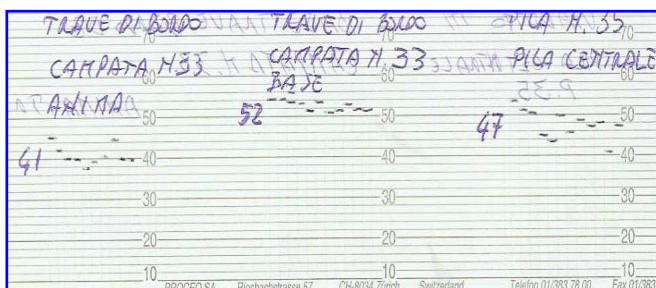
Per l'esecuzione della prova vanno rispettate delle regole di buona esecuzione:

- indagare su elementi di spessore >150 mm;
- evitare zone che presentano nidi di ghiaia, scalfitture, porosità elevata;
- individuare preventivamente la tessitura di armatura mediante strumento Pachometrico;
- l'asse dello strumento dovrà essere perfettamente ortogonale alla superficie da indagare;
- utilizzare esclusivamente sclerometri che lasciano una traccia cartacea delle battute.



Devono essere eseguite 12 battute scartando i due valori maggiori e mediando i 10 rimanenti.

L'indice di rimbalzo va trasformato in Resistenza cubica attraverso le curve di correlazione legate alla direzione d'uso dello sclerometro.



Lo sclerometro è uno strumento indicato per una valutazione su calcestruzzi giovani, in quanto il fenomeno della carbonatazione del calcestruzzo provoca l'indurimento dello strato superficiale provocando una alterazione del fenomeno di rimbalzo.

Gli sclerometri vanno tarati una volta all'anno.

Il resoconto della prova sclerometrica deve contenere almeno i dati riportati in tabella.

N.	Data	Elemento	Indici di rimbalzo										Media	R_{cub} [MPa]
1	6.8.04	Trave I - anima	45	42	40	40	38	39	41	45	40	40	41	36
2	6.8.04	Trave I - base	54	54	53	53	52	53	51	52	51	51	52	58
3	6.8.04	Pila centrale	52	50	45	44	50	46	49	47	48	48	48	50

5.1.4 Misura ultrasonica

UNI EN 583-1:2004

La prova ultrasonica ha una funzione di misura dell'omogeneità del materiale e non di misura diretta della resistenza del calcestruzzo.

Questo tipo di prova non distruttiva, non invasiva e soprattutto rapida nell'esecuzione, consente di ottenere una valutazione complessiva sulle caratteristiche del materiale potendola estendere velocemente in molti punti.

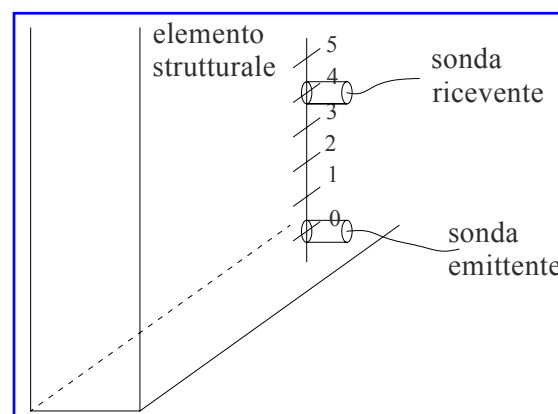
La misura si ottiene ponendo le sonde, emettitrice e ricevente, nelle facce opposte nel caso di spessori fino 50 cm, o su una linea superficiale. La sonda emettitrice produce degli impulsi ultrasonici che sono captati dalla sonda ricevente dopo che tali impulsi hanno attraversato il materiale interposto.



Il tempo di transito è misurato e memorizzato dallo strumento.

Per una prima valutazione dei risultati sperimentali si utilizza una tabella comparativa (*) che lega la velocità di propagazione dell'onda ultrasonica a valori di resistenza per materiale asciutto.

Velocità media [m/s]	Resistenza R_{cub} [MPa]
> 4200	> 30,0
3600 - 4200	25,0 - 30,0
3000 - 3600	20,0 - 25,0
2400 - 3000	15,0 - 20,0
< 2400	< 15,0



Va inoltre segnalato che la trasformazione da velocità del suono a resistenza è molto indicativa.

La tabella interpretativa si riferisce a calcestruzzi eseguiti da poco, senza patologie particolari, in assenza di armature.

La misurazione si ottiene effettuando diverse emissioni ultrasoniche rilevando il valore medio di tre passaggi consecutivi con valori all'interno di una variabilità del $\pm 5\%$.

(*) "I controlli non distruttivi e la valutazione della resistenza del cls in opera"
1986 - D.ri A. Zocca e M. Di Lena Istituto sperimentale F.S.

La formula deve essere adattata utilizzando dei punti dove sono state effettuate delle prove di Pull-out e/o carotaggi. Ottenuta la formula sperimentale specifica del sito si procederà ad eseguire la prova su tutte le zone di interesse permettendo una chiara individuazione delle caratteristiche generali. Se la prova è eseguita sulla superficie (e non attraverso il materiale) il valore della velocità media sarà la media delle diverse distanze (20, 40, 60 ... cm).

La procedura di calcolo è la seguente:

- eseguite le prove di Pull-out e carotaggio si misura la velocità ultrasonica nelle stesse zone;
- si calcola il valore medio della resistenza R_m dei vari metodi ed il valore medio della velocità del suono V_m negli stessi punti; la formula di correlazione degli ultrasuoni è:

$$R_{cub} = \frac{1}{k} V_L - 5$$

dove k assume il valore limite di 120 nella condizione migliore del calcestruzzo e si calcola sperimentalmente volta per volta attraverso la formula:

$$k = V_m / (R_m + 5)$$

I punti di prova vanno selezionati con un Pachometro che individui l'armatura superficiale.

5.1.5 Misura della profondità di carbonatazione

UNI 9944/1992

La prova ha lo scopo di misurare la profondità di carbonatazione dello strato superficiale del calcestruzzo.

Il calcestruzzo possiede un valore di pH di circa 12,5, cosa che gli conferisce un carattere fortemente alcalino. Questa forte alcalinità costituisce una protezione naturale dell'armatura contro la corrosione (passivazione).

Il fenomeno chimico è conseguente all'anidride carbonica dell'aria che, penetrando nei pori del calcestruzzo, neutralizza la calce libera presente. Il pH dello strato superficiale del calcestruzzo si abbassa fino a scendere a valori inferiori a 9 provocando il fenomeno della carbonatazione.



In questo stato il calcestruzzo è fortemente permeabile e riduce la capacità protettiva; fornisce inoltre, allo strato superficiale, una durezza superiore che tende ad ingannare i metodi di determinazione della resistenza a compressione misurati con sclerometro e pull-out.

L'indagine consiste nello spalmare il liquido sulla superficie della carota dopo aver pulito accuratamente con uno straccio. La soluzione di fenoftaleina, all'1% di alcool etilico, reagisce col calcestruzzo provocando un cambiamento di colore, da bianco trasparente a rosso violetto, nella parte non carbonatata.



L'analisi va condotta subito dopo il prelievo della carota per evitare che si formi un film superficiale carbonatato lungo tutta la superficie che impedirebbe la reazione con la fenoftaleina.

La penetrazione della carbonatazione segue una legge parabolica del tipo: $s = k\sqrt{t}$ dove s è lo spessore dello strato carbonatato, t il tempo, mentre k è un coefficiente che dipende dalle caratteristiche del calcestruzzo e dai fattori ambientali. In generale k diminuisce assieme alla riduzione del rapporto acqua/cemento e/o garantendo una buona costipazione con stagionatura ad umido.

Il valore di k tende ad aumentare per umidità relative, U.R., comprese tra 50% e 70%, mentre tende a diminuire per U.R. basse, < 40%, o alte, > 90%.

Quando il copriferro è carbonatato per tutto lo spessore protettivo delle armature, la situazione cambia. Prescindendo dall'eventuale presenza di cloruri, che aggraverebbe la situazione, la corrosione si produce velocemente solo nelle zone soggette a dilavamento o per U.R.>90%. In queste circostanze l'aumento di volume prodotto dall'ossido di ferro produce l'espulsione del copriferro e, di conseguenza, un incremento del fenomeno della corrosione. Nelle altre zone, all'interno di edifici o aree schermate dalla pioggia, il fenomeno della corrosione rimane trascurabile.



5.1.6 Rilevazione dei ferri d'armatura a mezzo di Pachometro BS 1881/204

La rilevazione della posizione e del diametro delle armature può essere effettuata mediante uno strumento detto Pachometro.

Lo strumento consiste in una sonda emettitrice di campo magnetico collegata ad una unità di elaborazione digitale ed acustica.

La sonda è fatta scorrere lungo la superficie e dall'assorbimento del campo magnetico si è in grado di determinare la posizione delle armature, lo spessore del copriferro e, con buona approssimazione, il diametro dei ferri.

Questo tipo di rilevazione, oltre alla specificità della conoscenza delle armature superficiali, ha diverse altre funzioni, ed in particolare è utile per l'esecuzione delle altre prove come il carotaggio ed il Pull-out, che necessitano di evitare le armature.

Strumenti più sofisticati elaborano il segnale di risposta in forma digitale e memorizzando i vari passaggi permettono di ricostruire il reticolo delle armature.

