

Prove non distruttive

**Allo scopo di conoscere le caratteristiche
dei materiali**

Le prove complementari sono prove che vengono eseguite ove necessario, a complemento delle prove di accettazione.

Si tratta di prove che eventualmente si eseguono al fine di stimare la resistenza in corrispondenza di particolari fasi di costruzione

Tali prove non possono però essere
sostitutive dei controlli di accettazione
che vanno riferite a provini confezionati
secondo le prescrizioni normative

I risultati di tali prove potranno essere utili alla D.L. o al collaudatore per formulare un giudizio sul materiale in opera qualora non sia rispettato il “controllo di accettazione”

LE PROVE COMPLEMENTARI
SERVONO PER DETERMINARE LE
CARATTERISTICHE MECCANICHE O
LO STATO DI DEGRADO.

Caratteristiche meccaniche

- **Sclerometro**
- **Ultrasuoni**
- **Son Reb**
- **Pull out**
- **Carotaggio**
- **Microcarotaggio**
- **Martinetti piatti**

Sclerometro

Lo sclerometro è uno strumento che misura la durezza superficiale attraverso il rimbalzo di una massa battente metallica.



Ultrasuoni

Prova in situ che sfrutta l'onda ultrasonica per perturbare e creare oscillazione nelle particelle costitutive del materiale; lo strumento è in grado di valutare questa risonanza e la velocità di attraversamento.



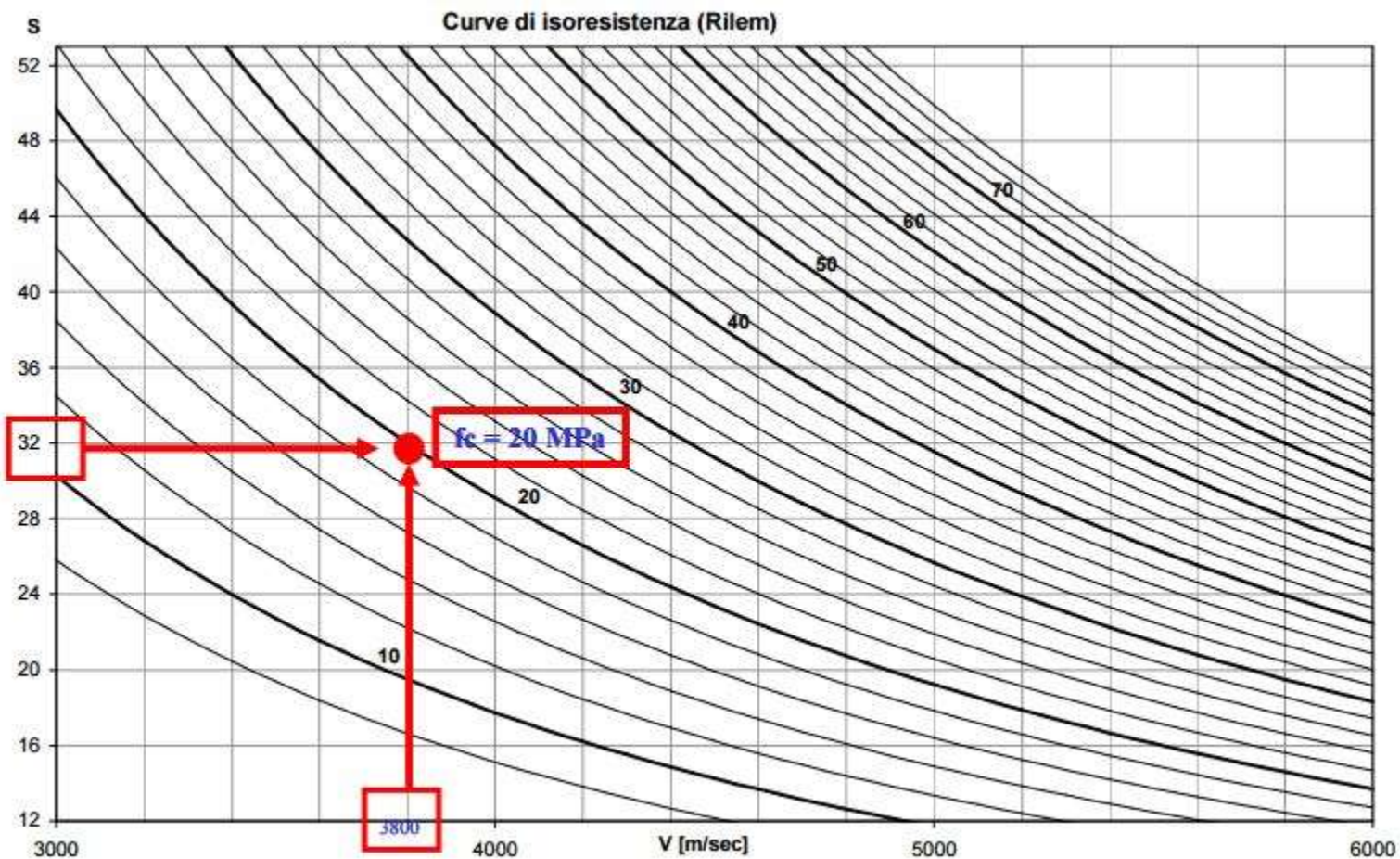
Son Reb (Sonic Rebound)



Metodo che combina una prova strumentale, ovvero la prova ultrasonica, con una sperimentale, prova sclerometrica.

L'interpolazione dei dati ottenuti permette di risalire alla più probabile resistenza del conglomerato.

Tabella Son Reb



Pull Out



Prova “a strappo” di un tassello attraverso una macchina pneumatica. La valutazione delle caratteristiche meccaniche avviene attraverso due indicatori: la pressione a cui avviene lo strappo e la morfologia del conglomerato adeso al tassello.

Carotaggio e microcarotaggio



Prelievo di campioni di forma cilindrica in opportuni punti della struttura per sottoporli a prove di laboratorio (compressione, brasiliana) e attraverso il riscontro visivo, il mix design.



Martinetti piatti



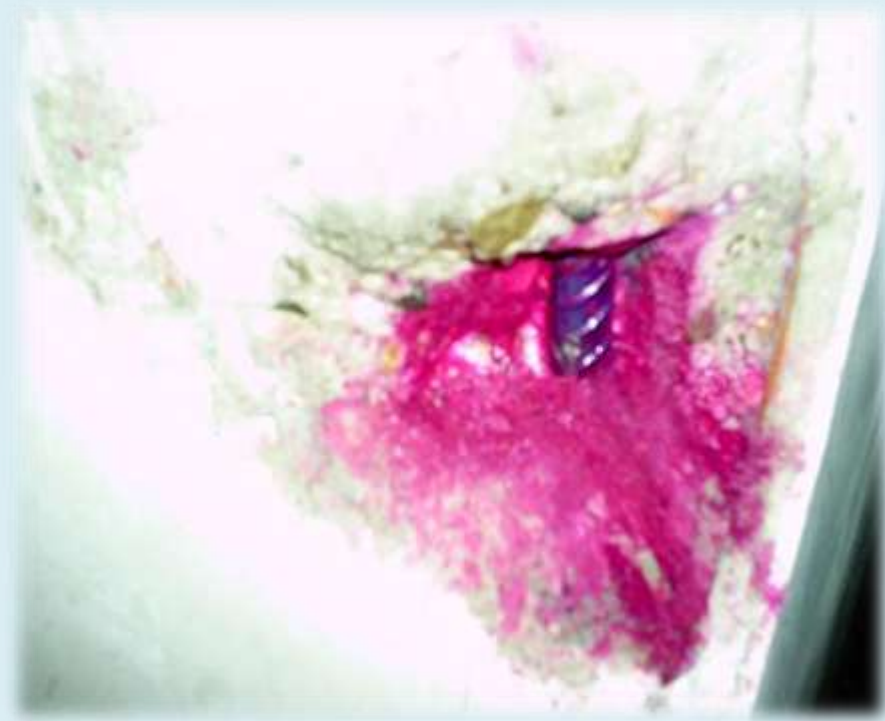
Macchina oleopneumatica per valutare lo stato tensionale di una porzione di muratura

Prove per valutare lo stato di degrado

- **Carbonatazione**
- **Potenziale di corrosione**
- **Aggressione da Sali**
- **Ultrasuoni per lesioni**

Carbonatazione

Prova per valutare profondità ed entità del fenomeno della carbonatazione nel cls. Si tratta di una prova indicativa che sfrutta la reazione della fenoftaleina col CaCO_3 che ne altera il cromatismo.



Potenziale di corrosione

Il processo elettrochimico della corrosione viene valutato inducendo una corrente elettrica attraverso due poli. Noto il potenziale elettrico del materiale non degradato, si ricava lo stato di degrado dei tondi di armatura.



Aggressione da sali

Prelievo in situ
solitamente di
una carota che in
laboratorio viene
frantumata e fatta
reagire con
sostanze e
solventi al fine di
risalire alla
presenza di
agenti aggressivi



Ultrasuoni per lesioni



Prova eseguita lanciando un'onda ultrasonica all'interno della lesione. Il principio è analogo a quello di un radar per valutare ampiezza e profondità del fenomeno.

Lo stesso strumento può essere usato anche nelle murature ma con frequenze molto minori oppure sostituito dal martello strumentato

Pacometro



Indagine volta a conoscere geometria e spessori dei tondi di armatura e del copriferro attraverso induzione elettromagnetica a spirale con corrente alternata.

Durabilità del calcestruzzo

I processi a rischio per la durabilità di una struttura sono:

- Attacco chimico
- Corrosione dell'armatura
- Cicli di gelo e disgelo

Gli agenti aggressivi possono essere presenti sia nell'acqua sia nei terreni ed in base alla concentrazione si distinguono in debole, moderato e forte.

Nell'acqua gli agenti aggressivi possono essere: il pH, la CO_2 , gli ioni di ammonio NH_4 , gli ioni di magnesio Mg^{2+} , gli ioni solfato SO_4 ; nel terreno gli agenti aggressivi possono essere sol ioni solfato.

La corrosione dell'acciaio nel cls è un processo elettrochimico con un anodo dove il ferro si discioglie ed un catodo dove si formano gli ioni OH^- .

Fino a quando il pH è al suo livello naturale, 13.0-13.8 e la concentrazione degli ioni cloruro inferiore allo 0.2%-0.4%, la reazione anodica è controllata da un film di ossido ferrico passivante. Al di sopra di tali valori il film passivante viene distrutto e praticamente ha inizio la corrosione

La penetrazione della anidride carbonica avviene secondo un fronte abbastanza distribuito e la reazione avviene se nei pori del cls è presente un minimo di acqua.

La velocità di carbonatazione decade per la lentezza con la quale l'anidride carbonica si diffonde attraverso il liquido.

Gli ioni cloruro penetrano nella matrice dell'impasto per diffusione ed avanzano più rapidamente della carbonatazione.

In definitiva promuovono il processo di corrosione sia l'anidride carbonica e sia i cloruri, successivamente, una volta innescato, mantengono attivo il processo l'umidità ambiente che condiziona l'umidità interna del cls e l'ossigeno.

Infatti nel clima secco il processo di corrosione è inibito. La velocità di corrosione aumenta con l'aumentare dell'umidità fino ad un massimo del 95% dopo decade rapidamente.

Quindi per controllare la velocità di corrosione basta misurare la resistività del cls.

Anche l'attacco da gelo-disgelo è innescato dal grado di saturazione del cls e quindi dalla umidità ambiente. Se l'umidità esterna è stazionaria lo stato di umidità del cls è costante.

Quando questa è variabile tenuto conto che il cls assorbe più velocemente del rilascio, allora la umidità del cls tende ad essere più alta di quella ambiente.

Sono da temere anche gli acidi che sciolgono la matrice cementizia ed i solfati che danno luogo sempre con il cemento ad una reazione espansiva.

I criteri base ai quali si definisce la durabilità del calcestruzzo fanno riferimento al tipo e contenuto di cemento, al rapporto a/c ed allo spessore del copriferro.

Tenuto conto che il controllo di qualità di un cls è basato sulla determinazione della R_{ck} , la durabilità è tanto più alta quanto più alta è la resistenza caratteristica.

Si veda tabella delle classi di esposizione (UNI 206)

| Classe esposizione norma UNI 9858 | Classe esposizione norma UNI 11104 UNI EN 206-1 | Descrizione dell'ambiente | Esempio | Rapporto a/c | Contenuto minimo di aria in % | Classe di resistenza minima |
|---|---|---|--|--------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 1 Assenza di rischio di corrosione o attacco | | | | | | |
| 1 | X0 | Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo/disgelo, o attacco chimico. Calcestruzzi con armatura o inserti metallici in ambiente molto asciutto. | Interno di edifici con umidità relativa molto bassa. Calcestruzzo non armato all'interno di edifici. Calcestruzzo non armato immerso in suolo non aggressivo o in acqua non aggressiva. Calcestruzzo non armato soggetto a cicli di bagnato asciutto ma non soggetto ad abrasione, gelo o attacco chimico. | | | C15 |
| 2 Corrosione indotta da carbonatazione | | | | | | |
| Nota - Le condizioni di umidità si riferiscono a quelle presenti nel copriferro o nel ricoprimento di inserti metallici, ma in molti casi si può considerare che tali condizioni riflettano quelle dell'ambiente circostante. In questi casi la classificazione dell'ambiente circostante può essere adeguata. Questo può non essere il caso se c'è una barriera tra il calcestruzzo e il suo ambiente. | | | | | | |
| 2 a | XC1 | Asciutto o permanentemente bagnato. | Interni di edifici con umidità relativa bassa. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con le superfici all'interno di strutture con eccezione delle parti esposte a condensa, o immerse in acqua. | 0,60 | | C30 |
| 2 a | XC2 | Bagnato, raramente asciutto. | Parti di strutture di contenimento liquidi, fondazioni. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso prevalentemente immerso in acqua o terreno non aggressivo. | 0,60 | | C30 |
| 5 a | XC3 | Umidità moderata. | Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici esterne riparate dalla pioggia, o in interni con umidità da moderata ad alta. | 0,55 | | C35 |
| 4 a 5 b | XC4 | Ciclicamente asciutto e bagnato. | Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici soggette a alternanze di asciutto ed umido. Calcestruzzi a vista in ambienti urbani. Superfici a contatto con l'acqua non comprese nella classe XC2. | 0,50 | | C40 |

| Denominazione della classe | Descrizione dell'ambiente | Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione |
|--|--|---|
| 1 Nessun rischio di corrosione o di attacco | | |
| X0 | Calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo/disgelo, abrasione o attacco chimico. Calcestruzzo con armatura o inserti metallici: molto asciutto. | Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità dell'aria molto bassa |
| 2 Corrosione indotta da carbonatazione | | |
| XC1 | Asciutto o permanentemente bagnato | Calcestruzzo all'interno di edifici con bassa umidità relativa Calcestruzzo costantemente immerso in acqua |
| XC2 | Bagnato, raramente asciutto | Superfici di calcestruzzo a contatto con acqua per lungo tempo Molte fondazioni |
| XC3 | Umidità moderata | Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità dell'aria moderata oppure elevata Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia |
| XC4 | Ciclicamente bagnato e asciutto | Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2 |
| 3 Corrosione indotta da cloruri | | |
| XD1 | Umidità moderata | Superfici di calcestruzzo esposte ad atmosfera salina |
| XD2 | Bagnato, raramente asciutto | Piscine Calcestruzzo esposto ad acque industriali contenenti cloruri |
| XD3 | Ciclicamente bagnato e asciutto | Parti di ponti esposte a spruzzi contenenti cloruri Pavimentazioni Pavimentazioni di parcheggi |
| 4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare | | |
| XS1 | Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare | Strutture prossime oppure sulla costa |
| XS2 | Permanentemente sommerso | Parti di strutture marine |
| XS3 | Zone esposte alle onde, agli spruzzi oppure alle maree | Parti di strutture marine |
| 5 Attacco di cicli gelo/disgelo | | |
| XF1 | Moderata saturazione d'acqua, senza impiego di agente antigelo | Superfici verticali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo |
| XF2 | Moderata saturazione d'acqua, con uso di agente antigelo | Superfici verticali di calcestruzzo di strutture stradali esposte al gelo e ad agenti antigelo |
| XF3 | Elevata saturazione d'acqua, senza antigelo | Superfici orizzontali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo |
| XF4 | Elevata saturazione d'acqua, con antigelo oppure acqua di mare | Strade e impalcati da ponte esposti agli agenti antigelo Superfici di calcestruzzo esposte direttamente ad agenti antigelo e al gelo Zone di strutture marine soggette a spruzzi ed esposte al gelo |
| 6 Attacco chimico | | |
| XA1 | Ambiente chimico debolmente aggressivo secondo il prospetto 2 della EN 206-1 | Suoli naturali e acqua del terreno |
| XA2 | Ambiente chimico moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della EN 206-1 | Suoli naturali e acqua del terreno |
| XA3 | Ambiente chimico fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della EN 206-1 | Suoli naturali e acqua del terreno |

Le prove complementari non possono sostituire in alcun modo le prove di accettazione. Si perviene alla prova di carico solo dopo aver conosciuto attraverso le prove, le caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti.

La prova di carico è volta a verificare, indipendentemente dal numero di punti di misura, il comportamento lineare della deformazione. La freccia massima raggiunta durante le operazioni di carico non può superare la freccia teorica. La freccia residua deve essere minore del 25-30% della freccia massima.

Sottoponendo la struttura alla prova di carico non si devono verificare dissesti nella struttura