



STRUCTURA

www.structurasrl.net

STRUCTURA FORUM 2026

Seminario tecnico-scientifico

LA VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA DEL CALCESTRUZZO IN SITU DEGLI EDIFICI PUBBLICI ESISTENTI

Ing. Massimiliano Pino Turco

Laboratorio STRUCTURA - Rende (CS)

*La conoscenza del calcestruzzo come base per una valutazione affidabile
della sicurezza delle strutture esistenti*



LO SPARTIACQUE D'ABRUZZO E LA CULTURA DELLA PREVENZIONE

DOPO IL TERRIBILE EVENTO DEL TERREMOTO DELL' AQUILA LA NORMATIVA TECNICA ITALIANA HA SUBITO UNA RADICALE TRASFORMAZIONE

Il Sisma del 2009: Ha evidenziato la vulnerabilità del patrimonio pubblico in cemento armato (scuole, ospedali) realizzato prima degli anni '80.

L'Obbligo di Legge: Il Capitolo 8 del DM 17/01/2018 (NTC 2018) ha imposto la valutazione rigorosa della sicurezza per le opere strategiche.

LO STESSO DM, CON REGOLE BEN PRECISE, HA POSTO IN ESSERE LA NECESSITA' DEL MIGLIORAMENTO E DELL'ADEGUAMENTO SISMICO



VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE DEL CALCESTRUZZO

Cosa NON è questo intervento: Non è la sede in cui si discutono i metodi di analisi strutturale globale, le regole di progettazione dei nodi o la modellazione agli elementi finiti.

Cosa È questo intervento: È un focus rigoroso sulla **Fase Diagnostica di cantiere** e sulla determinazione della reale resistenza del calcestruzzo in situ.

• Un modello di calcolo globale, per quanto sofisticato e avanzato sia, restituirà sempre risultati falsati o pericolosi se i dati di input sui materiali sono frutto di approssimazioni commerciali.



QUANDO SI RICORRE ALLA VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE DEL CALCESTRUZZO IN SITU ?

- riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti;
- comprovati gravi errori di progetto o di costruzione;
- cambio della destinazione d'uso;
- ogni qualvolta si eseguano gli interventi strutturali di cui al § 8.4 (n.d.r. interventi di riparazione o locali; interventi di miglioramento, interventi di adeguamento);



LE REGOLE DELLA CONOSCENZA

Tabella C8.5.IV - Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza, per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio

Livello di conoscenza	Geometrie (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC (*)
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione; in alternativa rilievo completo ex-novo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e indagini limitate in situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e prove limitate in situ	Analisi lineare statica o dinamica	1,35
LC2		Elaborati progettuali incompleti con indagini limitate in situ; in alternativa indagini estese in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali, con prove limitate in situ; in alternativa da prove estese in situ	Tutti	1,20
LC3		Elaborati progettuali completi con indagini limitate in situ; in alternativa indagini esaustive in situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto, con prove estese in situ; in alternativa da prove esaustive in situ	Tutti	1,00



LE REGOLE DELLA CONOSCENZA

CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7

Tabella C8.5.V – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prova per edifici di c.a.

Livello di Indagini e Prove	Rilievo(dei dettagli costruttivi) ^(a)	Prove (sui materiali) ^{(b)(c)(d)}
	Per ogni elemento "primario" (trave, pilastro)	
<i>limitato</i>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m ² di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio
<i>esteso</i>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m ² di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio
<i>esaustivo</i>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m ² di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio



VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE
IL NUMERO MINIMO DI CAROTE DA PRELEVARE VIENE PRESCRITTO
DALLA CIRCOLARE n. 7/2019 (Tab. C.8.5.V) E DIPENDE DAL LIVELLO DI
CONOSCENZA CHE SI VUOLE RAGGIUNGERE

PER LIVELLO DI
CONOSCENZA LC1
FC=1,35

1 CAROTA (PILASTRO, TRAVE)
OGNI 300 m² DI PIANO
DELL'EDIFICIO

PER LIVELLO DI
CONOSCENZA LC2
FC= 1,20

2 CAROTE (PILASTRO, TRAVE)
OGNI 300 m² DI PIANO
DELL'EDIFICIO

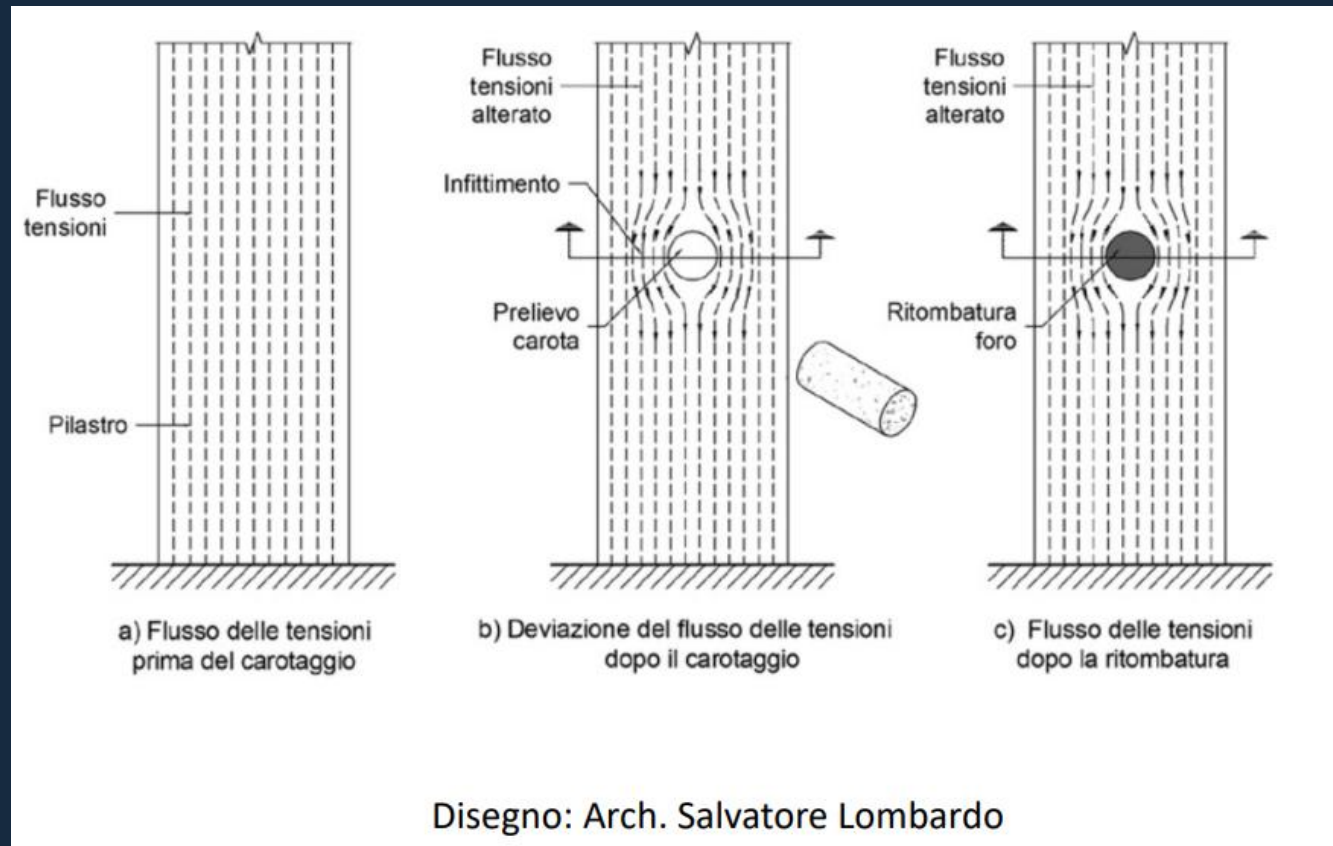
PER LIVELLO DI
CONOSCENZA LC3
FC= 1,00

3 CAROTE (PILASTRO, TRAVE)
OGNI 300 m² DI PIANO
DELL'EDIFICIO

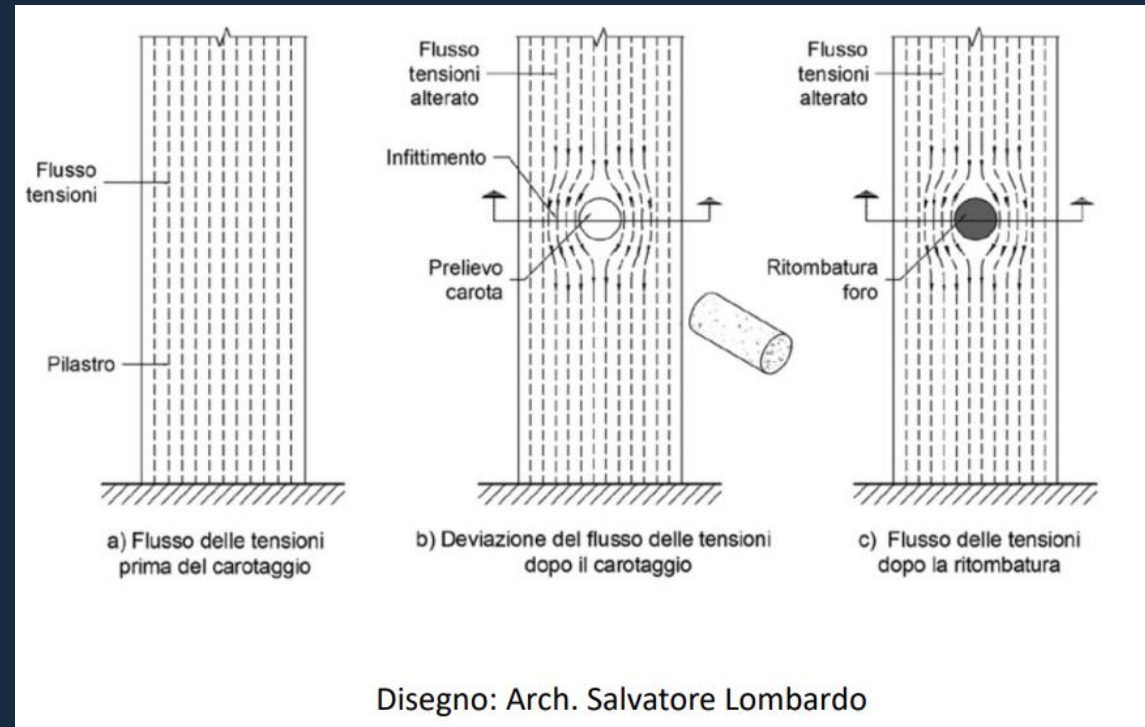


L'INVASIVITÀ DEL CAROTAGGIO

L'estrazione della carota altera pesantemente il flusso delle tensioni interne del pilastro **NONOSTANTE IL RIPRISTINO CON MALTA ESPANSIVA A RITIRO COMPENSATO**, indebolendo la sezione resistente.



AI FINI DELLE PROVE SUI MATERIALI E' CONSENTITO SOSTITUIRE ALCUNE PROVE DISTRUTTIVE, NON PIU' DEL 50% , CON IL TRIPLO DI PROVE NON DISTRUTTIVE, SINGOLE O COMBinate, TARATE SU QUELLE DISTRUTTIVE.



MA PERCHE' ALLORA FARE UN NUMERO ECCESSIVO DI CAROTE QUANDO LA NORMA CI DA' LA POSSIBILITA' DI FARE PROVE NON DISTRUTTIVE?

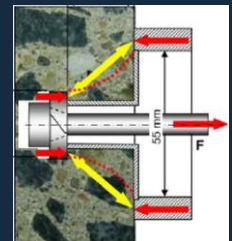
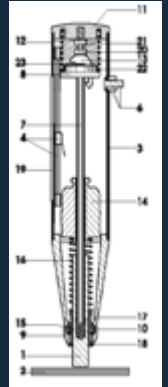


Le prove previste dalle LINEE GUIDA STC per la valutazione della resistenza del calcestruzzo sono:

Metodo distruttivo :
Il carotaggio dà risultati certi, ma per contro provoca un danno alla struttura.



Metodi non distruttivi e semi-distruttivi
Sclerometro
Ultrasuoni
Pull – out
Non arrecano danno alle superfici della struttura.
Per la predizione della resistenza richiedono taratura con carote.



Il carotaggio è il metodo di riferimento per la calibrazione (taratura) di tutti i metodi non distruttivi



PROVE DISTRUTTIVE : IL CAROTAGGIO



La Norma di riferimento è la
UNI EN 12504-1

Fornisce un metodo per:

- Il prelievo delle carote.
- La preparazione dei campioni .
- La determinazione della resistenza a compressione (UNI EN 12390-3)

Non dà una guida:

- Sul numero dei prelievi.
- La posizione del carotaggio.
- L'interpretazione dei risultati.



RICORDIAMOCI SEMPRE CHE IL LABORATORIO, COME PER NORMA, FORNISCE SOLO I RISULTATI GREZZI DELLA PROVA DI RESISTENZA A COMPRESSIONE OLTRE AL DIAMETRO E ALL'ALTEZZA DELLA CAROTA SOTTOPOSTA A PROVA.

E' COMPITO DEL PROGETTISTA PRENDERE IN CONSIDERAZIONE LE SEGUENTI AVVERTENZA E APPLICARE EVENTUALI COEFFICIENTI DI CORREZIONE

Coefficienti di correzione

```
graph TD; A[Coefficienti di correzione] --> B[FATTORE DI DISTURBO DOVUTO ALLA PERFORAZIONE]; A --> C[FATTORE CHE TIENE IN CONTO LA DIREZIONE DEL CAROTAGGIO]; A --> D[EVENTUALE PRESENZA DI ARMATURA METALLICA];
```

FATTORE DI DISTURBO
DOVUTO ALLA
PERFORAZIONE

FATTORE CHE TIENE IN CONTO LA
DIREZIONE DEL CAROTAGGIO

EVENTUALE PRESENZA DI
ARMATURA METALLICA



CAROTAGGIO

1. Prima di eseguire il carotaggio, si individua tramite un pacometro la disposizione delle armature metalliche presenti nell'elemento strutturale oggetto dell'indagine.

Il pacometro permette di individuare e localizzare le barre di armatura all'interno dei getti di calcestruzzo evitando il ricorso a saggi distruttivi .



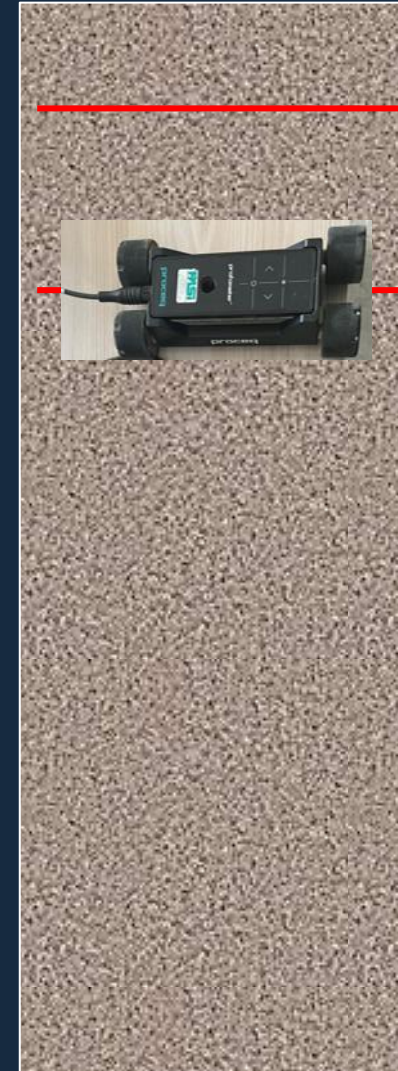
CAROTAGGIO

1. Si passa con la sonda posizionata in modo orizzontale e spostandosi verso il basso si individua la posizione delle staffe



CAROTAGGIO

1. Si passa con la sonda posizionata in modo orizzontale e spostandosi verso il basso si individua la posizione delle staffe.



CAROTAGGIO

1. Si passa con la sonda posizionata in modo orizzontale e spostandosi verso il basso si individua la posizione delle staffe.



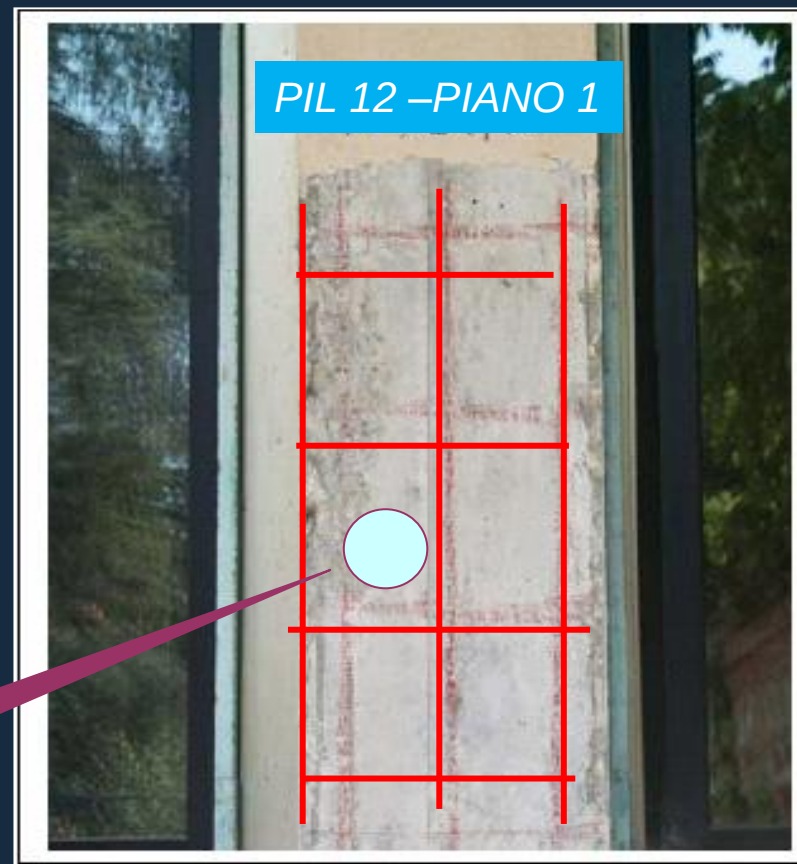
CAROTAGGIO

2. Si passa con la sonda posizionata in modo verticale e spostandosi verso il destra si individua la posizione delle armature longitudinali.



CAROTAGGIO

3. Individuata la posizione delle armature si sceglie la zona dove estrarre la carota di calcestruzzo



Area di prelievo zona
priva di armature



CAROTAGGIO

3. Si stabilisce il diametro D della carota in base al diametro massimo degli inerti presenti nel calcestruzzo secondo la relazione:

$$D_{\text{carota}} > 3 d_{\text{max inerti}}$$



4. Si stabilisce la lunghezza massima L_{lorda} della carota da prelevare in base al tipo di confronto da effettuare:

- $L_{\text{lorda}} > 2 D$ per resistenza cilindrica
- $L_{\text{lorda}} > D$ per resistenza cubica

CAROTAGGIO



Estrazione della carota

Carotatrice ben fissata e munita di corona diamantata raffreddata continuamente con acqua



carota estratta

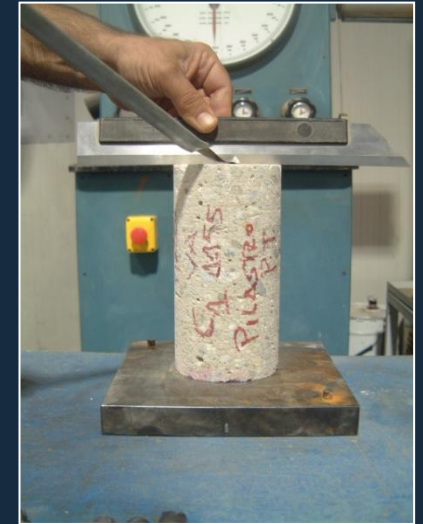


Prova di resistenza a compressione

Solo dopo opportuna preparazione dei campioni (planarità e ortogonalità delle superfici di appoggio) si esegue la prova di rottura a compressione secondo la UNI EN 12390-3



Prova di resistenza a compressione



Molatura e controllo della planarità



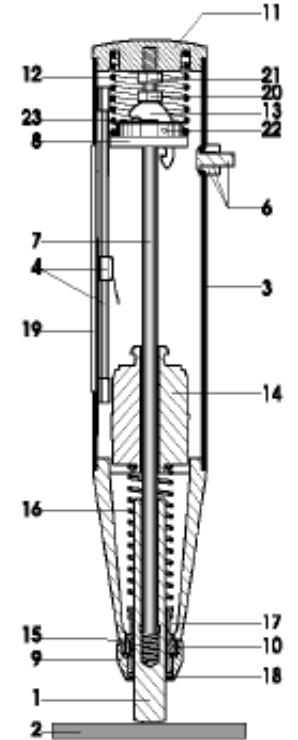
PROVA SCLEROMETRICA (UNI EN 12504-2)

- **Principio fisico**: Misura l'energia elastica riflessa dalla superficie.
- **Meccanismo**: Una molla lancia una massa battente contro il calcestruzzo.
- **Il dato**: Lo strumento registra l'Indice di Rimbalzo (IR).
- **Correlazione**: Più alto è il rimbalzo, maggiore è la durezza superficiale del materiale.

Sezione longitudinale dello sclerometro Schmidt e relativa

posizione al momento della percussione sulla struttura in c.a.

- 1 asta di percussione
- 3 carcassa
- 4 indice con astina
- 6 nottolino d'arresto
- 7 asta di scorrimento
- 8 disco di guida
- 9 calotta
- 10 segmenti di blocco
- 11 coperchio
- 12 molla di pressione
- 13 gancio
- 14 martello
- 15 molla-ammortizzatore
- 16 molla di percussione
- 17 ancoraggio molla
- 18 rondella di feltro
- 19 finestra
- 20 vite
- 21 contro-dado
- 22 perno
- 23 molla del gancio



Protocollo d'Esame e Fasi Esecutive

- **Taratura dello sclerometro su incudine di riferimento fornito dal produttore dello strumento**
- **Preparazione:** Individuare con il pacometro un'area priva di armatura metallica
- **Area di prova:** Selezione di un'area d'indagine (es. 20 cm x 20 cm).
- **Pulizia e levigatura della superficie con mola abrasiva.**
- **Esecuzione:** Almeno 9 battute valide distanziate di almeno 25 mm tra loro, dalla barra di armatura e dal bordo dell'elemento strutturale.



Protocollo d'Esame e Fasi Esecutive

Risultato della prova:

Il risultato della prova, I_r , deve essere calcolato come la mediana di tutte le misure, regolate se necessario in base all'orientamento dello sclerometro in conformità alle istruzioni del fabbricante ed espresso come numero intero.

Validazione della prova: UNI EN 12504-2:2021

Se oltre il 20% di tutte le misure si discosta dalla mediana di oltre il 25% deve essere scartata l'intera serie di misure

"Se facciamo 10 battute e la mediana è 40, la soglia del 25% significa che scartiamo i valori sotto 30 e sopra 50. Se più di 2 battute (cioè il 20% di 10) escono da questo intervallo, l'intera sessione va annullata e bisogna ripetere la prova in un'altra area."



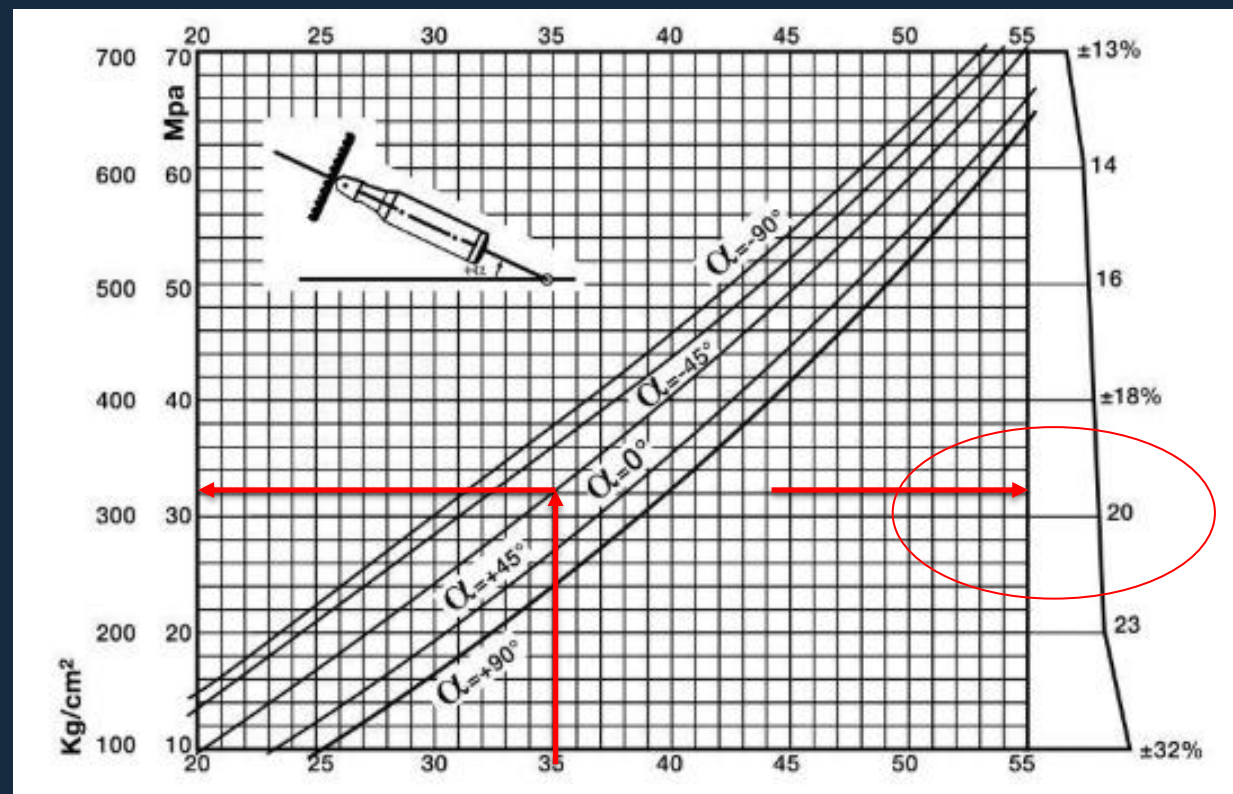
STIMA APPROSSIMATIVA DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE

Una stima indicativa della resistenza a compressione del calcestruzzo si ottiene dalle apposite curve fornite dal costruttore dello strumento.

Si ricorda che tale grafico / tabella non ha alcuna validità ai fini del calcolo strutturale

Le Norme Tecniche per le Costruzioni vietano l'uso dei valori "nudi e crudi" dello sclerometro per calcolare la struttura.

La legge specifica che i metodi non distruttivi stimano la resistenza solo se combinati e tarati (tramite curve di correlazione) sui risultati distruttivi delle carote.



IL RUOLO DELLO SCLEROMETRO SECONDO LA UNI EN 12504-2

“... il metodo di prova non è inteso come una alternativa per la determinazione della resistenza alla compressione del calcestruzzo ma, con una opportuna correlazione, può fornire una stima della resistenza in sito.”

L'indice sclerometrico da solo, determinato mediante questo metodo, può essere utilizzato per la valutazione dell'uniformità del calcestruzzo in sito, per delineare le zone o aree di calcestruzzo di scarsa qualità o deteriorato presenti nelle strutture.”



Limiti del Metodo e Fonti d'Errore

- **Indagine superficiale:** Analizza solo i primi 2-3 cm di spessore.
- **Fattori di disturbo:** Umidità, presenza di vuoti o ferri di armatura superficiali.
- **Carbonatazione:** Il calcestruzzo CARBONATATO indurisce in superficie, falsando i dati e restituendo una resistenza sovrastimata (anche del 20-30%).
- **Soluzione:** Il metodo necessita di taratura con prove distruttive (carotaggi).

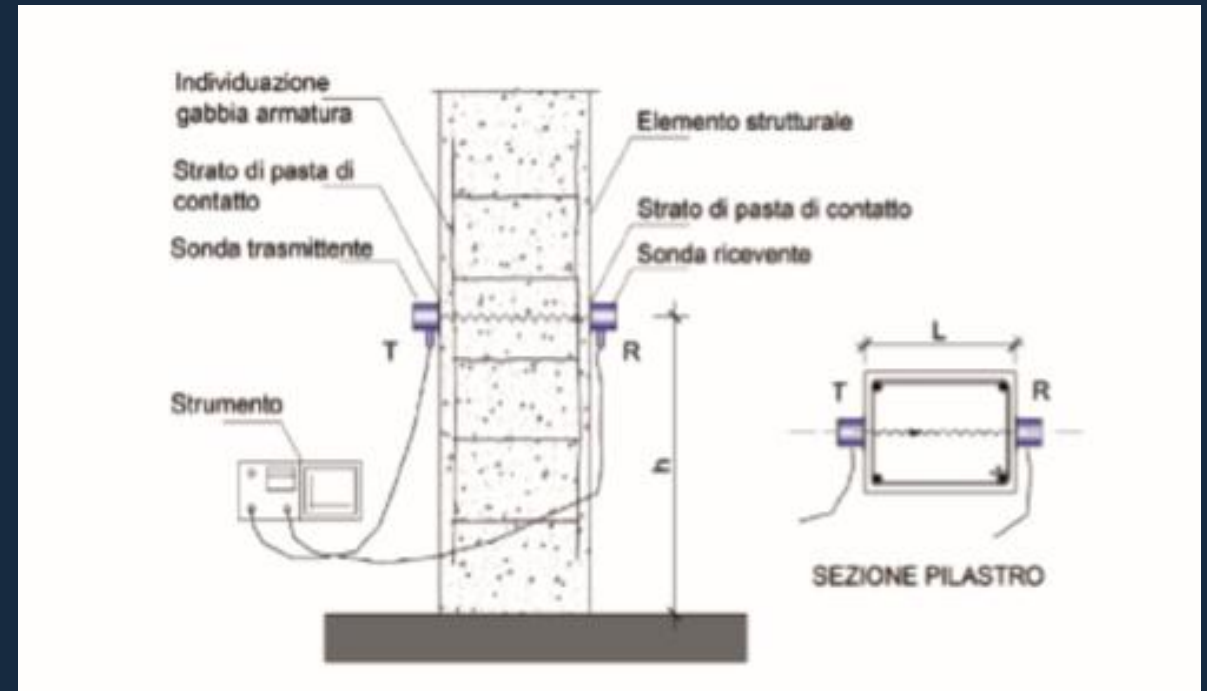


Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici (UNI EN 12504-4).

Lo scopo del metodo consiste essenzialmente nel valutare la "velocità apparente" di attraversamento di un impulso sonico ad alta frequenza emesso da una sonda trasmittente T e ricevuto da una sonda ricevente R dopo aver attraversato lo spessore L noto di calcestruzzo

$$V=L/T$$

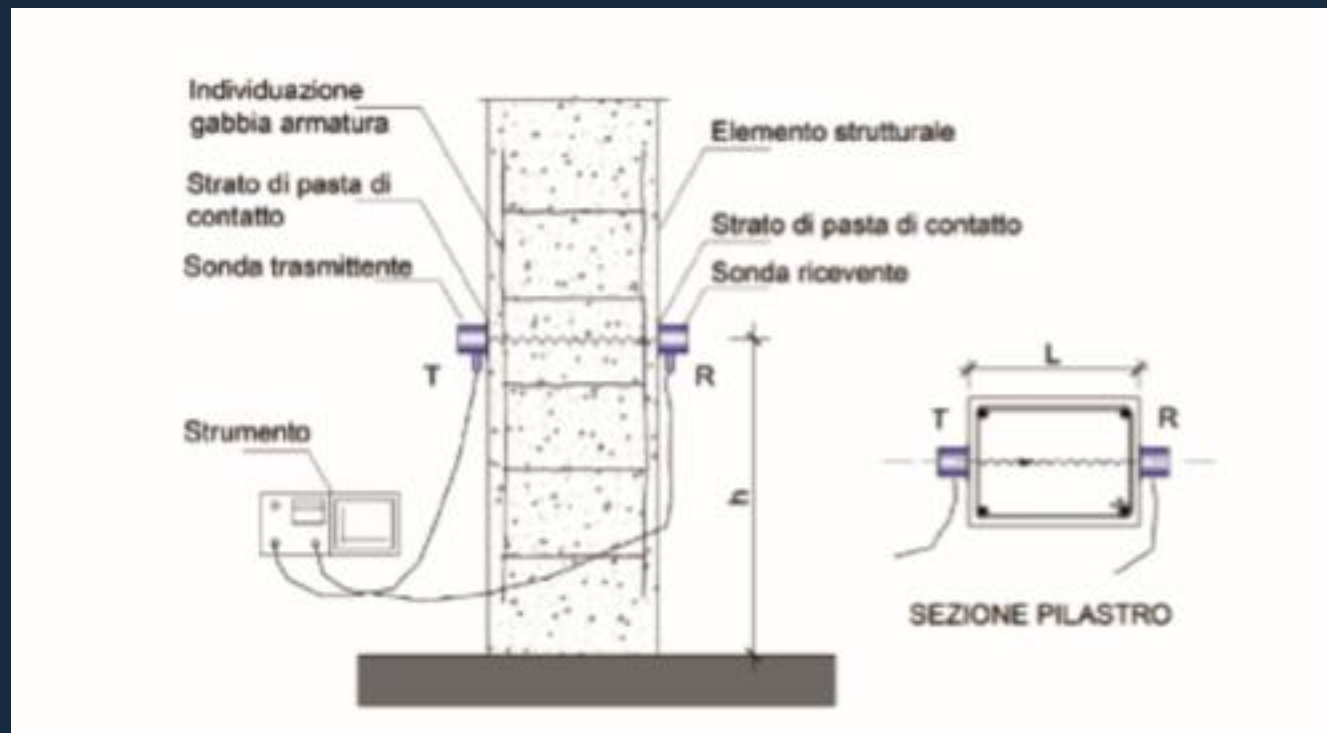
Attraverso la stima di tale velocità è possibile ottenere informazioni sul calcestruzzo in termini di caratteristiche ed omogeneità.



PROCEDURA DI PROVA

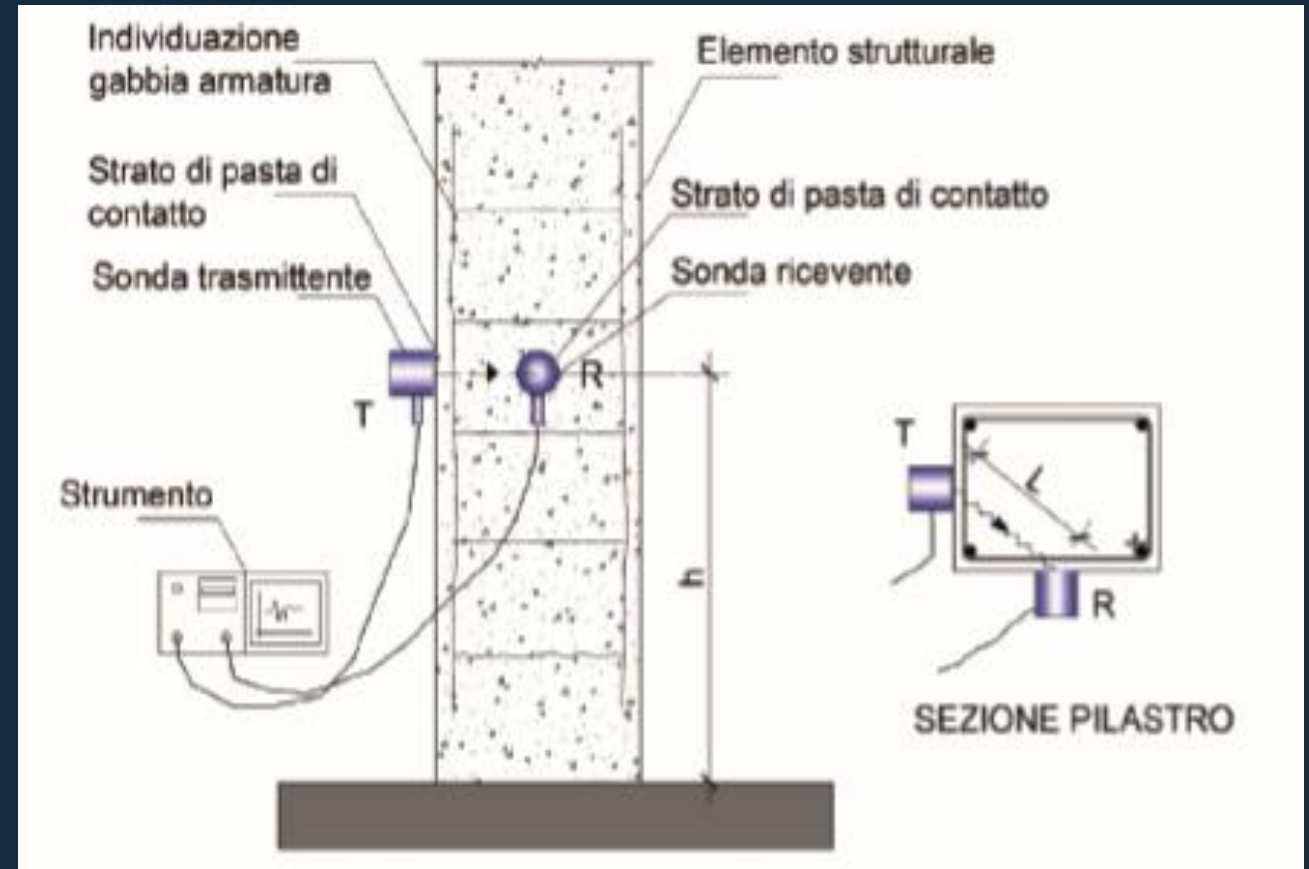
A secondo delle caratteristiche dell'elemento da indagare, si valuta quale tra le seguenti modalità di prova può essere effettuata:

- **misura diretta** - posizionando trasmettitore e ricevitore su facce opposte, con in mezzo l'elemento da indagare, metodo che si rivela particolarmente utile anche per la rilevazione di lesioni interne;

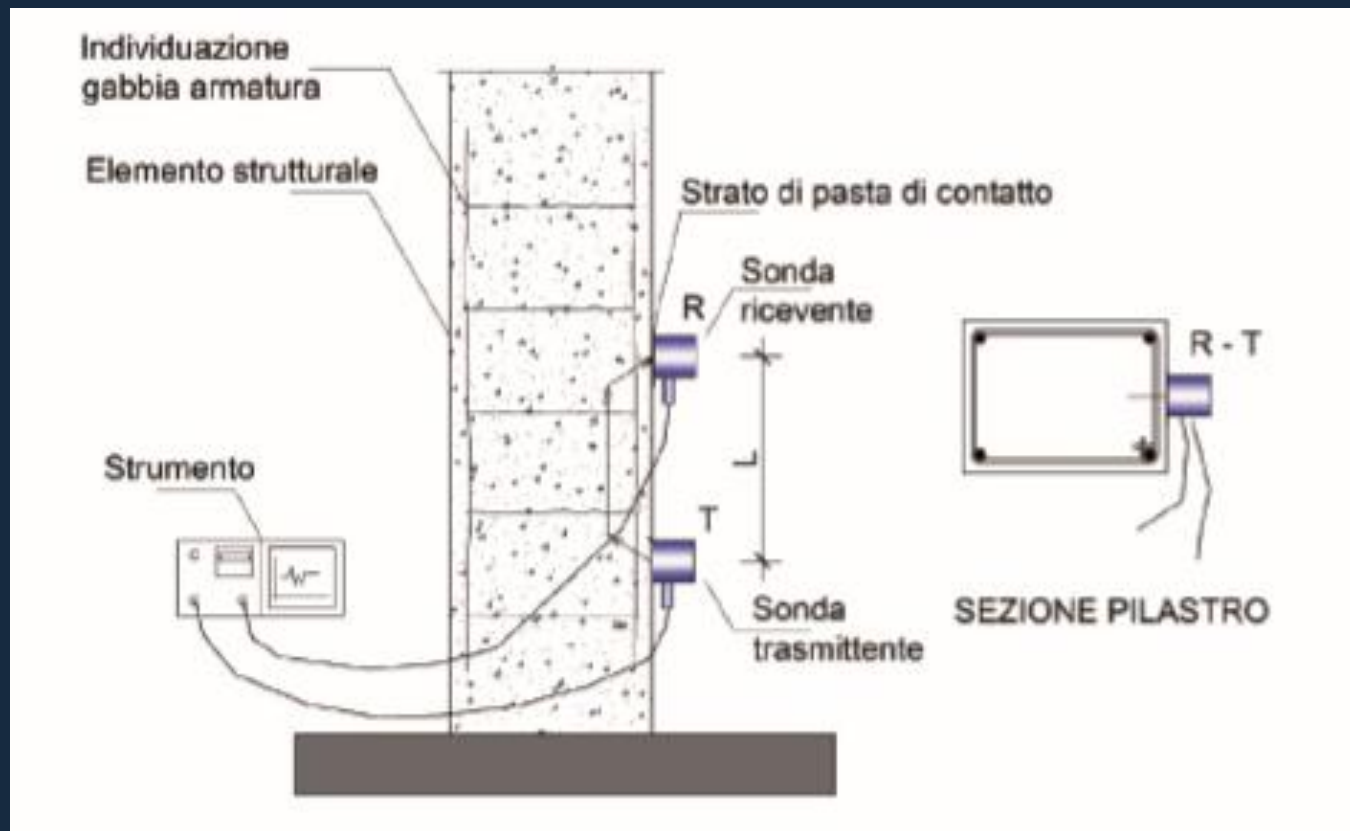


Nel caso della **trasmissione semidiretta** le due sonde devono essere posizionate su due facce **adiacenti** (ortogonali tra loro, ad esempio un angolo del pilastro)

- Si ricorre a questa configurazione quando una delle facce opposte non è accessibile (ad esempio se il pilastro è parzialmente incassato in una parete di tamponamento), sfruttando le facce d'angolo disponibili.



Nel caso della **trasmissione indiretta** deve essere eseguite una serie di misurazioni successive spostando progressivamente la sonda ricevente.



La disposizione di trasmissione indiretta è la meno sensibile ed è utilizzata quando solo una faccia del calcestruzzo è accessibile oppure quando interessa la qualità del calcestruzzo superficiale rispetto alla qualità complessiva.



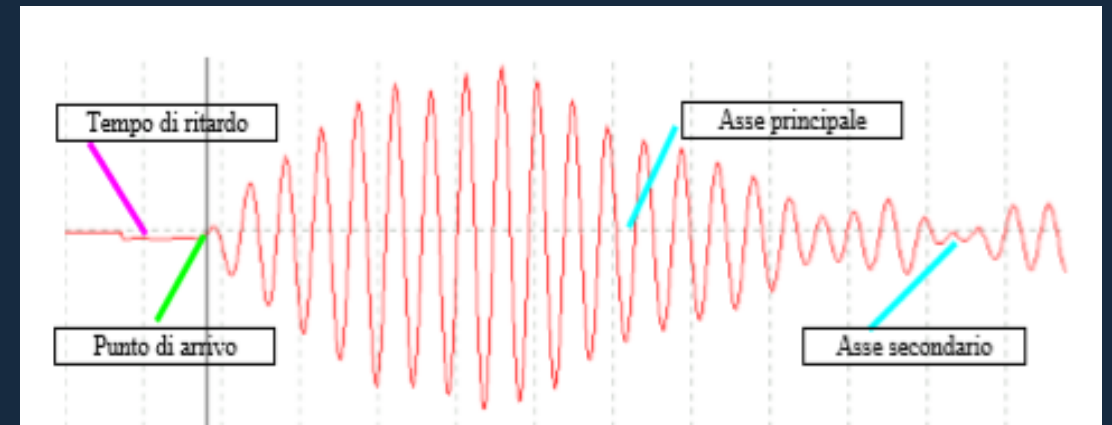
PREPARAZIONE DELLE SUPERFICI DI PROVA

- **Individuazione delle armature metalliche con pacometro**
- **Levigatura:** Le superfici di contatto devono essere perfettamente piane, lisce e prive di asperità o residui di intonaco e vernice.
- **Uso del gel o pasta di contatto:** È obbligatorio interporre uno strato sottile di **pasta di contatto** (gel accoppiante ultrasonico, grasso siliconico o vaselina) tra la sonda e il calcestruzzo.
- **Scopo dell'uso del gel:** Eliminare completamente l'aria interposta. L'aria ha un'impedenza acustica elevatissima e bloccherebbe l'energia del segnale ultrasonico, impedendo la lettura del tempo di volo.



ESECUZIONE DELLA PROVA

- **Verifica preliminare (Taratura):** Taratura dello strumento tramite una barra di riferimento a tempo di volo noto (es. barra di calibrazione metallica).
- **Misurazione della distanza L:** Rilevamento accurato della distanza geometrica minima tra i punti di posizionamento delle sonde (es. con metro, calibro o distanziometro laser).
- **Acquisizione del segnale:**
 - Posizionamento saldo delle sonde (TX e RX) sulle superfici preparate con il gel.
 - Lo strumento misura il **tempo di transito T** espresso in microsecondi



VALUTAZIONE QUALITATIVA DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE

QUALITA'	VALORI MEDI DI VELOCITA' RILEVATI
ECCELLENTE	Velocità rilevata > 4000 m/s
BUONA	$3500 \text{ m/s} < \text{Velocità rilevata} < 4000 \text{ m/s}$
DISCUTIBILE	$3000 \text{ m/s} < \text{Velocità rilevata} < 3500 \text{ m/s}$
SCADENTE	$2000 \text{ m/s} < \text{Velocità rilevata} < 3000 \text{ m/s}$
MOLTO SCADENTE	Velocità rilevata < 2000 m/s

Si ricorda che tale tabella non ha alcuna validità ai fini del calcolo strutturale.



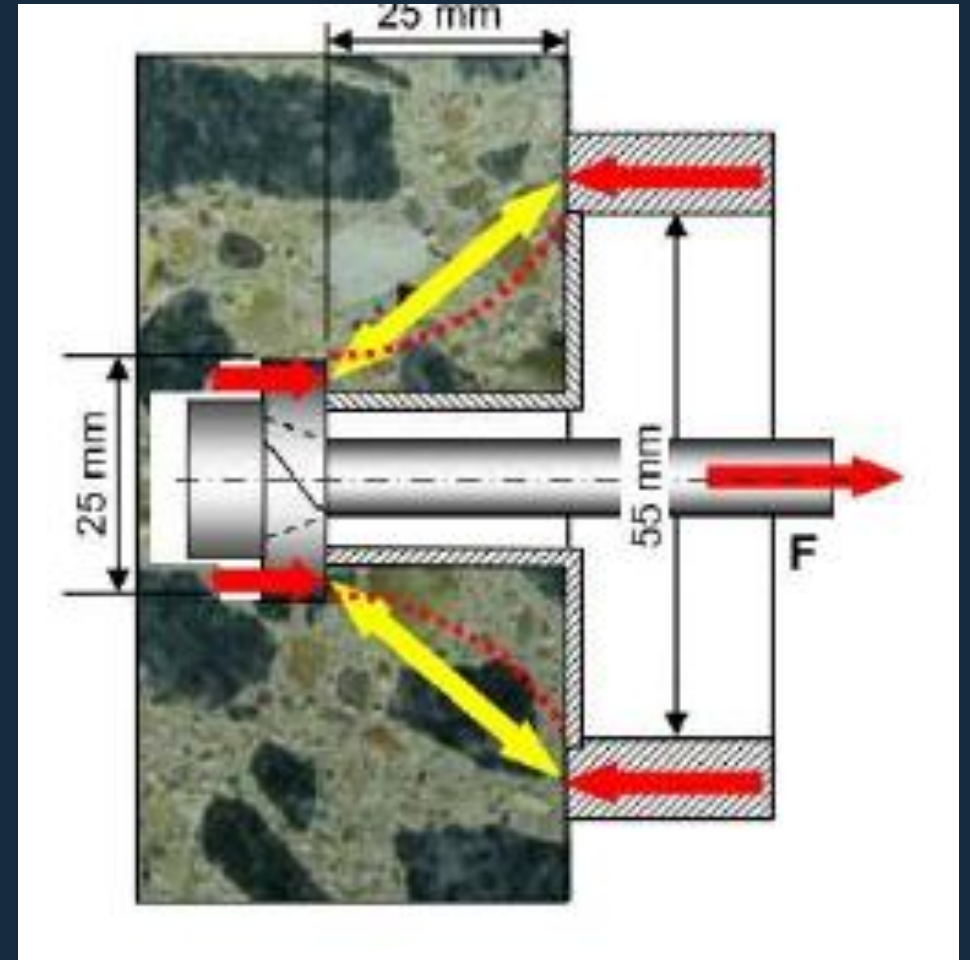
LA PROVA PULL OUT (UNI EN 12504-3).

OBIETTIVO: Stimare la resistenza a compressione del calcestruzzo misurando la forza necessaria ad estrarre un tassello metallico standard.

Inserimento: Un tassello geometrico viene post-inserito tramite foro e fresatura nel calcestruzzo indurito.

Estrazione: Un martinetto idraulico applica una forza di trazione crescente sul tassello.

Il dato misurato: Lo strumento registra la **forza massima di estrazione F** espressa in kN al momento della rottura di un piccolo cono di calcestruzzo superficiale.



Protocollo e Fasi Esecutive

- **1. Indagine pacometrica:** Individuazione preliminare dei ferri d'armatura per evitare di intercettarli con la perforazione.
- **2. Esecuzione del foro:** Realizzazione di un foro ortogonale alla superficie con punta da trapano standard (diametro tipico 18 mm).



Fase 1: esecuzione indagine magnetometrica



Fase 3: esecuzione perforazione con punta al widia $\varnothing$ 18 mm



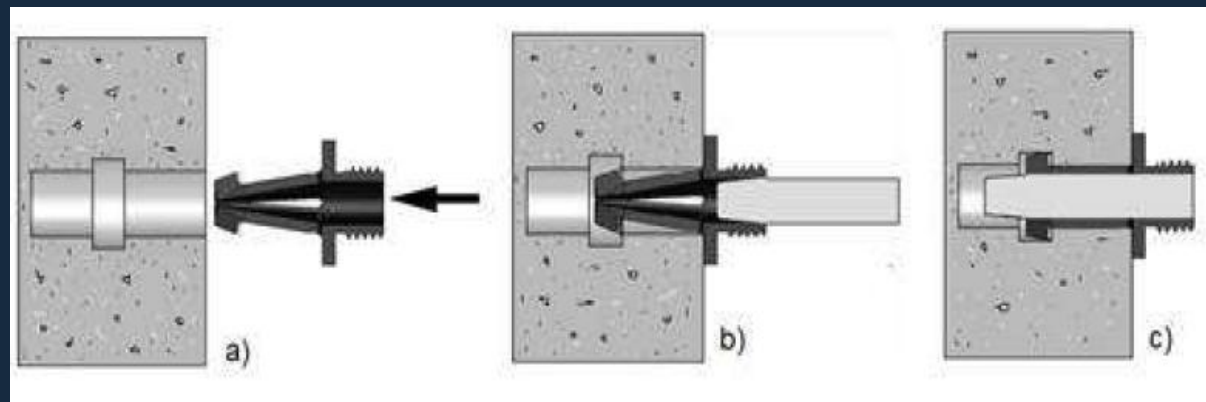
Protocollo e Fasi Esecutive

• **3. Fresatura interna:** Allargamento della camera di fondo del foro tramite una fresa speciale per creare la sede geometrica del tassello.



Fase 4: esecuzione alesaggio con fresa diamantata $\varnothing 18$ mm

• **4. Inserimento** del tassello nella camera d'aria creata ed esecuzione dell'espansione



Protocollo e Fasi Esecutive

- 5. Avvitamento dello stelo del martinetto alla filettatura del tassello

- 6. Posizionamento e fissaggio del martinetto



Fase 7: avvitamento dello stelo estrattore del martinetto oleodinamico alla filettatura del tassello



Fase 8: posizionamento e fissaggio del martinetto e collegamento del tubo idraulico alla pompa



Protocollo e Fasi Esecutive

- 7. Collegamento del martinetto alla pompa idraulica



- 8. Estrazione del tassello e distacco del cono di calcestruzzo (di forma tronco-conica).



ESEMPIO DI STIMA APPROSSIMATIVA DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE USANDO COME PARAMETRO NON DISTRUTTIVO IL METODO PULL OUT

Una valutazione approssimata della resistenza a compressione del calcestruzzo in opera R_c si può ottenere inserendo la forza di picco registrata F_p in kN, in appositi grafici sperimentali forniti dal costruttore dello strumento.

Tra i metodi semidistruttivi isolati, il Pull-out è tra i più precisi perché genera una sollecitazione meccanica reale di rottura all'interno del materiale.

Le Linee guide specificano che i metodi non distruttivi stimano la resistenza solo se combinati e tarati (tramite curve di correlazione) sui risultati distruttivi delle carote.

