



Corso di Tecnica delle Costruzioni
Prof. Edoardo Marino

Dipartimento Ingegneria Civile e Ambientale
4 aprile 2012

LA CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI
NELLE STRUTTURE ESISTENTI IN C.A.

Pietro Sciacca

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale
Laboratorio Ufficiale Prove Materiali e Strutture
UNIVERSITÀ DI CATANIA

EDIFICI ESISTENTI in C.A.

Le indagini conoscitive (NTC C8A.1.B.2)


Dati richiesti

- Identificazione dell'organismo strutturale e verifica della regolarità;
- Strutture di fondazione;
- Categorie di suolo;
- Geometria degli elementi strutturali;
- Posizione e quantità di armatura, collegamenti;
- Proprietà dei materiali;
- Difetti nei particolari costruttivi;
- Norme impiegate nel progetto originale;
- Destinazione d'uso attuale e futura;
- Natura ed entità di danni subiti in precedenza, riparazioni effettuate

⇒ **L'estensione e l'accuratezza dei dati acquisiti** determinano il metodo di analisi e i valori dei fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali da adoperare nelle verifiche di sicurezza.

EDIFICI ESISTENTI in C.A.

Livelli di conoscenza (NTC C8A.1.B.3)

Edifici esistenti  **Le norme distinguono 3 LIVELLI DI CONOSCENZA**
per la scelta del metodo di analisi
e dei valori dei FC

Livello di conoscenza

LC1

LC2

LC3

conoscenza

Limitata

Adeguate

Accurata

⇒ Tali LC sono definiti dai seguenti aspetti:

- ❖ GEOMETRIA
- ❖ DETTAGLI STRUTTURALI
- ❖ MATERIALI

EDIFICI ESISTENTI in C.A.

Livelli di conoscenza e relative indagini (NTC C8A.1.B.3)

La relazione tra LC, metodi di analisi e FC è fornita dalla
Tab. C8A.1.2 NTC (Tab. 11.1 OPCM 3431)

(Edifici in c.a., acciaio, acciaio-cls)

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>limitate</i> verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>limitate</i> prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2		Disegni costruttivi incompleti con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure <i>estese</i> verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con <i>limitate</i> prove in-situ oppure <i>estese</i> prove in-situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure <i>esaustive</i> verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con <i>estese</i> prove in situ oppure <i>esaustive</i> prove in-situ	Tutti	1.00

EDIFICI ESISTENTI in C.A.

Livelli di conoscenza e relative indagini (NTC C8A.1.B.3)

Definizione dei livelli di rilievo e prove per edifici in c.a. (Tab. C8A.1.3 NTC)

Tab. 11.2a PCM 3431

Verifiche	Rilievo dettagli costruttivi (quantità e disposizione armature)	Prove sui materiali (prelievo campioni)
Limitate	15 % degli elementi	1 carota/300 mq di piano 1 barra/piano
Estese	35 % degli elementi	2 carote/300 mq di piano 2 barre/piano
Esaustive	50 % degli elementi	3 carote/300 mq di piano 3 barre/piano

Per ogni elemento strutturale primario

CAMPIONAMENTO

- ⇒ **CAMPIONAMENTO**, è la scelta del **NUMERO E LOCALIZZAZIONE DEI PUNTI** da indagare, sia in termini di distribuzione nella struttura che in termini di localizzazione nei singoli elementi strutturali;
- ⇒ Primo requisito del campionamento: la **RAPPRESENTATIVITA'** dello stato complessivo dell'edificio, in grado di riflettere la **VARIABILITA' delle caratteristiche strutturali**;
- ⇒ Più la struttura è eterogenea più le indagini devono essere accurate e approfondite;
- ⇒ E' un ottimo modo di procedere, laddove possibile, eseguire una **preventiva campagna di PND** al fine di individuare zone omogenee all'interno della struttura, per procedere dunque all'esecuzione mirata delle prove distruttive;
- ⇒ In tal modo, con un **numero di prove distruttive limitato** al numero di ambiti omogenei, si eseguirà la **calibrazione** di uno o più **metodi PND**;
- ⇒ La calibrazione dei metodi PND consente di **estendere** queste ultime, **ad un numero quanto si voglia elevato di punti**.

CAMPIONAMENTO

IL PIANO DI INDAGINE: un compromesso ragionevole!!!!

- LIMITAZIONI
- Limiti di spesa
 - Accessibilità
 - Danno accettabile
 - Limiti di tempo

- ESIGENZE
- Estensione del campionamento
 - Rappresentatività
 - Affidabilità delle indagini



DEFINIZIONE
CAMPAGNA DI
INDAGINE

NON ESISTE IL “NUMERO GIUSTO”!!!!

SCELTA DEL TIPO DI INDAGINE N.D.

- ⇒ Le prove non distruttive sono molto efficaci per finalità comparative;
- ⇒ Sono rapide, economiche e poco invasive;
- ⇒ Se preventivamente calibrate possono essere impiegate con finalità quantitative;

Confronto dei più diffusi METODI NON DISTRUTTIVI

Metodo	Costo	Rapidità	Danno <u>strutturale</u>	Rappresentatività	Affidabilità
Carotaggio	Alto	Bassa	Alto	Buona	Ottima
Sclerometro	Minimo	Molto Alta	Nulla	Superficiale	Scarsa
Ultrasuoni	Medio	Media	Nulla	Buona	Moderata
Pull-out	Medio	Media	Moderato	Superficiale	Moderata
Sonda Windsor	Medio	Alta	Minimo	Superficiale	Scarsa

.....IN OGNI CASO

Le NTC precisano:

- ⇒ La misura delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo si ottiene mediante estrazione di campioni ed esecuzione di prove di compressione fino a rottura.
- ⇒ Sono ammessi metodi di indagine non distruttiva di documentata affidabilità, che non possono essere impiegati in completa sostituzione di quelli distruttivi, ma sono consigliati a loro integrazione, purché i risultati siano tarati su quelli ottenuti con prove distruttive.
- ⇒ è consentito sostituire alcune prove distruttive in misura non superiore al 50% con un più ampio numero (almeno il triplo) di prove nd, singole o combinate.

CAROTAGGIO

Metodo: prelievo di campioni cilindrici di cls indurito mediante carotarici a corona diamantata.

- ⇒ E' il metodo più affidabile per la determinazione della resistenza in situ del cls.
- ⇒ E' il metodo più efficace da utilizzare in appoggio ai metodi non distruttivi.
- ⇒ Le carote estratte vengono catalogate, ispezionate, preparate mediante spianatura o rettifica e sottoposte alle prove di laboratorio utilizzando procedimenti normalizzati.
- ⇒ La resistenza misurata sulle carote risente di numerosi fattori che la differenziano da quella misurata su provini standard confezionati durante il getto.

CAROTAGGIO – prelievo e catalogazione



Contrassegno	C4
Data prelievo	20/03/2007
Corpo	A
Elevazione	III
Posizione	esterna
Esposizione	Nord
Diametro [mm]	80
Lunghezza [mm]	260
Elemento	Pilastro
Prova	Compressione e <u>carbonatazione</u>



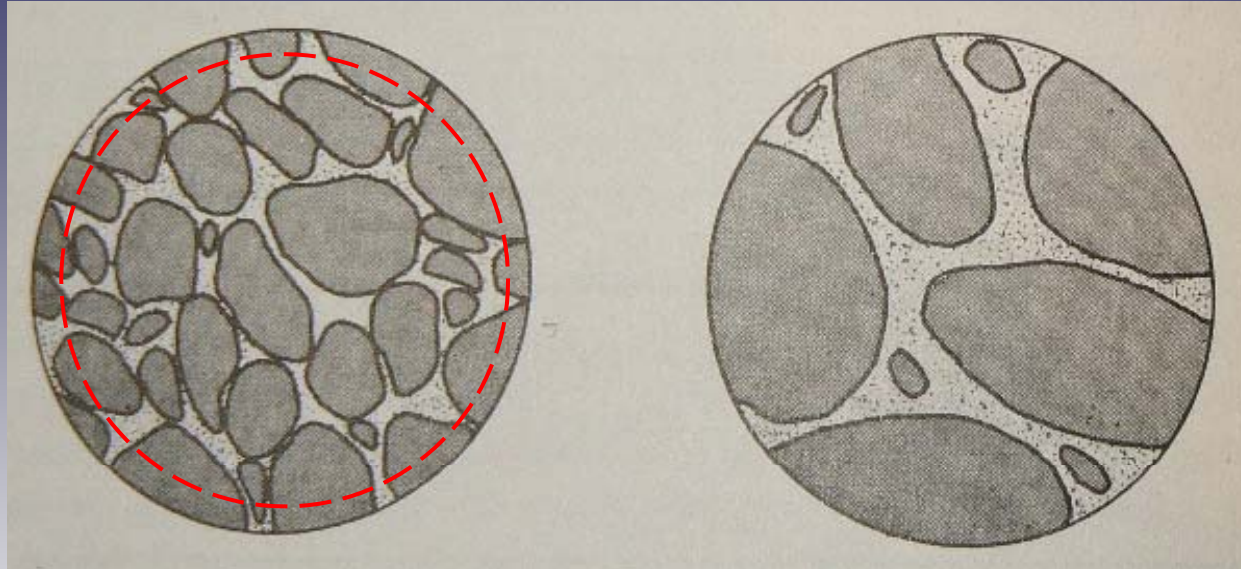
CAROTAGGIO

Diametro delle carote

- ⇒ E' un parametro molto influente sulla resistenza.
- ⇒ Consigliato tra i 75 e i 150 mm;
- ⇒ Deve essere ≥ 3 volte la max dimensione dell'inerte;
- ⇒ Elementi di disturbo quali nidi di ghiaia, inclusione di armature, vibrazioni, possono influenzare significativamente un piccolo volume, piuttosto che uno più esteso.
- ⇒ Risultati affidabili si ottengono da campioni di medio-grande diametro.

CAROTAGGIO

Diametro delle carote



- ⇒ L'effetto del taglio e dell'azione torcente provoca maggiori danni su sezioni con inerti piccoli, che perdono la loro connessione lungo il contorno;
- ⇒ La sezione resistente non coincide con quella geometrica;
- ⇒ Danni più limitati per inerti grossi che continuano a mantenere salda la connessione con il nucleo.

CAROTAGGIO – Prove di laboratorio

Le carote devono essere estratte, esaminate e preparate secondo la EN 12504/1.

Le prove di compressione devono essere eseguite secondo la EN 12390/3.

Verifica delle tolleranze geometriche (UNI EN 12390/1)

- ⇒ Planarità $t=\pm 0.0006d_m$
- ⇒ Rettilinearità $t=0.03d_m$ (UNI 12504-1 7.3c)
- ⇒ Perpendicolarità $t=\pm 0.5\text{mm}$

 **EVENTUALE RETTIFICA o CAPPATURA**
(per difetti di planarità)

Tipiche prove sulle carote

- ⇒ Compressione (EN 12390-3);
- ⇒ Massa volumica (EN 12390-7);
- ⇒ Modulo elastico (UNI 6556);
- ⇒ Trazione indiretta (EN 12390-6);
- ⇒ Prove chimiche (carbonatazione, cloruri, solfati);
- ⇒ Permeabilità (EN 12390-7)

CAROTAGGIO – Prove di laboratorio

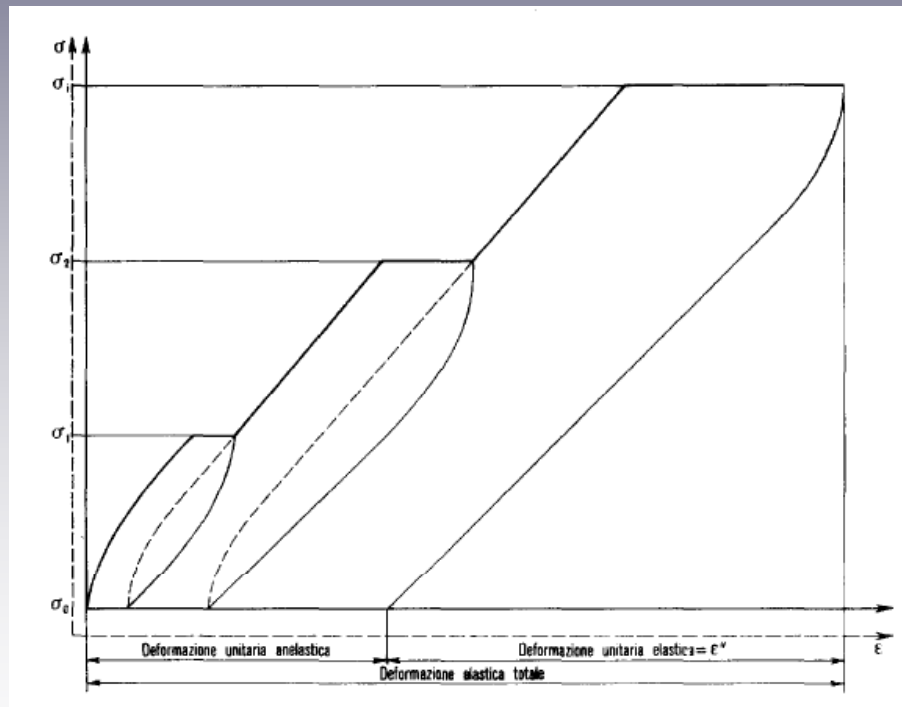
Modulo di elasticità secante (UNI 6556)

- ⇒ Il provino viene preliminarmente strumentato con 3 trasduttori di deformazione (strain-gauges) a 120° sulla superficie laterale
- ⇒ La prova è CICLICA.
- ⇒ Tensione di riferimento σ_R
Tensione di rottura preventivamente determinata su almeno 3 carote omologhe provenienti dallo stesso campionamento;
- ⇒ Viene fissata la tensione max di prova $\sigma_3 = 1/3 \sigma_R (=0.4f_{cm} \text{ NTC})$
- ⇒ La prova si esegue attraverso cicli di carico-scarico fino a stabilizzazione delle deformazioni, tra un valore minimo pari a $\sigma_0 = 1/10 \sigma_3$ e le tensioni $\sigma_1 = 1/3 \sigma_3$, $\sigma_2 = 2/3 \sigma_3$, σ_3 .

CAROTAGGIO – Prove di laboratorio

Modulo di elasticità secante (UNI 6556)

⇒ Per ogni livello di tensione σ_1 , σ_2 , σ_3 si determina il corrispondente valore del Modulo Elastico Secante



$$E_{i/3 \text{ sec}} = \Delta\sigma_i / \Delta\varepsilon_{el,i}$$

$\Delta\sigma_i$ variazione di tensione al ciclo i-esimo

$\Delta\varepsilon_{el,i}$ variazione di deformazione elastica al ciclo i-esimo misurata allo scarico

CAROTAGGIO – Prove di laboratorio – Modulo Elastico

RISULTATI DELLE PROVE DI COMPRESSIONE (UNI EN 12390-3)

Contr.	Data Prova	Dimensioni (*)		Sez. [cm ²]	Peso specifico apparente [kg/m ³]	Carico unitario di rottura	
		d [cm]	h [cm]			[kg/cm ²]	[N/mm ²]
CT-SR 059-1C	07/11/06	10.47	28.60	86.10	2426	563	56.3
CT-SR 059-2C	07/11/06	10.49	28.42	86.43	2412	516	51.6
CT-SR 059-3C	07/11/06	10.46	28.72	85.93	2423	593	59.3

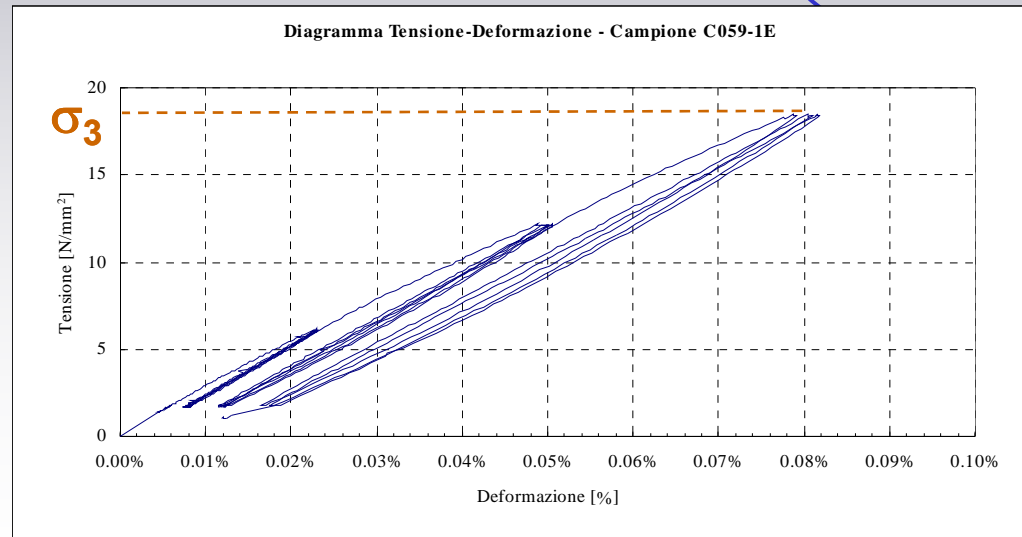
Note: (*) determinate secondo UNI EN 12390-3 App. B. I campioni verificano le tolleranze di perpendicolarità, rettilineità, planarità secondo UNI EN 12390-1 App.A

RISULTATI DELLE PROVE PER DETERMINAZIONE DEL MODULO ELASTICO SECANTE (UNI 6556-76)

Contr.	Data Prova	Dimensioni (*)		Sez. [cm ²]	Peso specifico apparente [kg/m ³]	Tensione di rottura misurata [N/mm ²]	Tensione massima di prova σ_3 [N/mm ²]	Modulo Elastico Secante [N/mm ²]		
		d [cm]	h [cm]					$E_{1/3sec}$	$E_{2/3sec}$	$E_{3/3sec}$
CT-SR 059-1E	13/11/06	10.51	28.97	86.76	2408	51.7	18.6	29170	27380	25040
CT-SR 059-2E	13/11/06	10.41	28.92	85.11	2441	57.1	18.6	27600	27360	26440
CT-SR 059-3E	13/11/06	10.49	28.55	86.43	2408	58.5	18.6	30430	28770	27780

Note: (*) determinate secondo UNI EN 12390-3 App. B. I campioni verificano le tolleranze di perpendicolarità, rettilineità, planarità secondo UNI EN 12390-1 App.A.

$$\sigma_3 = 1/3 \sigma_r = 18.6 \text{ N/mm}^2$$

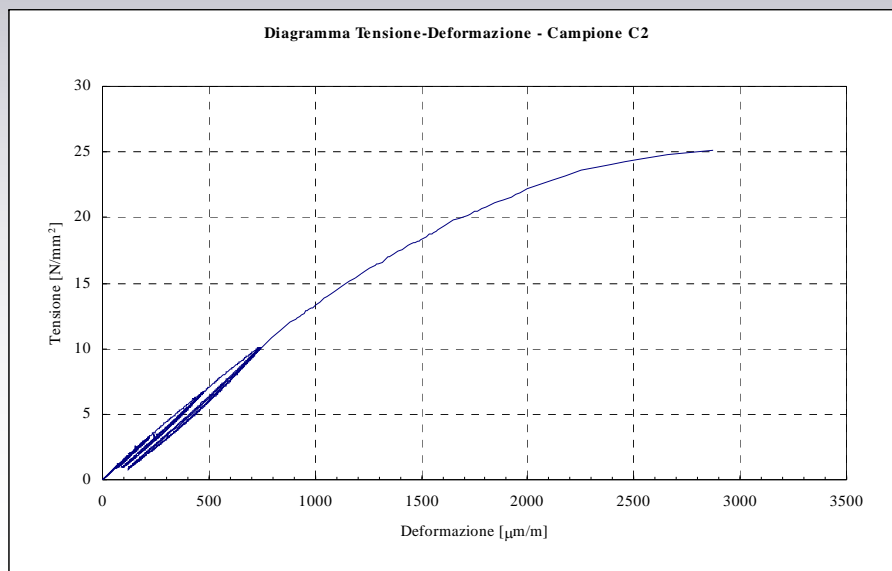


CAROTAGGIO – Prove di laboratorio

Provino strumentato per misura di deformazioni longitudinali e trasversali



$h/d=3$



CAROTAGGIO

STIMA DELLA RESISTENZA CUBICA

Metodo del Cestelli-Guidi

⇒ **Dato di partenza:** R_{car} (res. cilindrica carota, fornita dal Laboratorio Ufficiale)

⇒ A partire dal valore di **snellezza delle carote** $\lambda = h/\Phi$ si determina la

RESISTENZA CILINDRICA

$$R_{cil} = \frac{2}{(1.5 + \frac{1}{\lambda})} * R_{car}$$

⇒ Quindi si determina la **Resistenza cubica in situ**

$$R_{cub,situ} = 1.20 * R_{cil} \quad (1,20 = 1/0,83)$$

⇒ Per tener conto delle differenti condizioni di preparazione, getto e stagionatura del cls, si introduce la **Resistenza cubica convenzionale**

$$R_{cub,conv} = 1.50 * R_{cub,situ}$$

⇒ Quest'ultima resistenza può essere paragonata a quella di provini standard confezionati secondo EN12390/2.

CAROTAGGIO

CONTROLLO DELLA RESISTENZA DEL CLS IN OPERA

NTC2008 (C11.2.6)

- ⇒ $\Phi \geq 3d_{\max}$ (diametri consigliati tra 75 e 150 mm)
- ⇒ Min 3 carote/area di prova
- ⇒ Rapporto h/d compreso tra 1 e 2.
- ⇒ Prova da eseguire su provini in condizioni umide

DATI SPERIMENTALI

$$f_{cm,opera} = \sum_{i=1}^N f_{ci} / N$$

(valori misurati in laboratorio sulle carote)

DATI DI PROGETTO

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \quad [\text{MPa}]$$

$$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$$

RELAZIONE DA VERIFICARE

$$f_{cm,opera} \geq 0.85 f_{cm}$$

PROVE DI ESTRAZIONE (PULL-OUT)

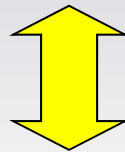
Metodo: misura della forza di estrazione di un elemento inserito nel cls.

L'inserto destinato all'estrazione può essere:

- 1) pre-inglobato nel cls;
- 2) post-inserito tramite foratura del cls indurito.

Obiettivo: mettere in relazione

FORZA DI ESTRAZIONE



RESISTENZA DEL CONGLOMERATO

PROVE DI ESTRAZIONE (PULL-OUT)

Apparecchiatura di prova:

- Inserto metallico pre o post inserito;
- Estrattore (martinetto oleodinamico);
- Pompa idraulica, raccorderia;
- Anello di contrasto;
- Misuratore di forza (manometro o cella di carico) con indicatore del valore di picco.

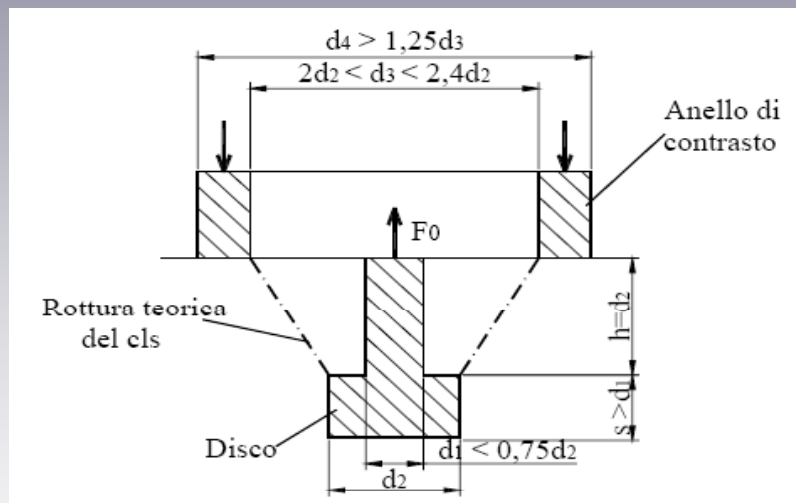
Tipi di prova:

- Metodo con inserto pre-inserito (UNI 9536, ASTM C900);
- Metodo per foratura (UNI 12504-3, UNI 10157 norma italiana)

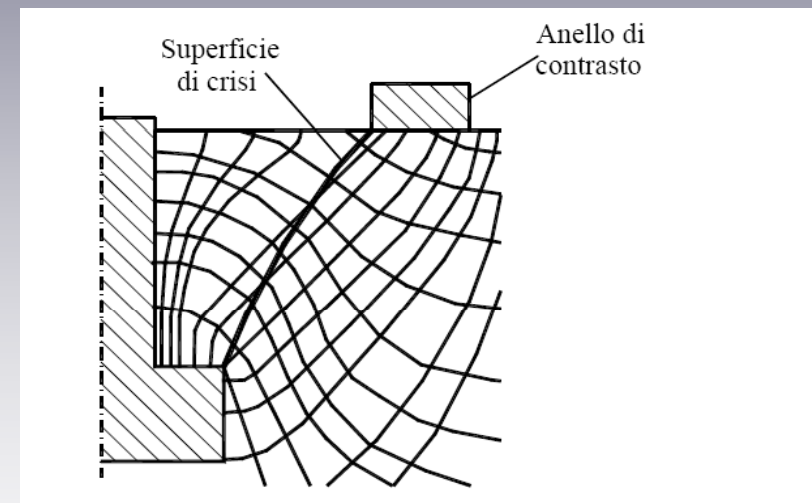
PROVE DI ESTRAZIONE (PULL-OUT)

METODO CON INSERTO PRE-INSERTITO

L'inserto è formato da un disco e da uno stelo che può essere solidale col disco o avvitato



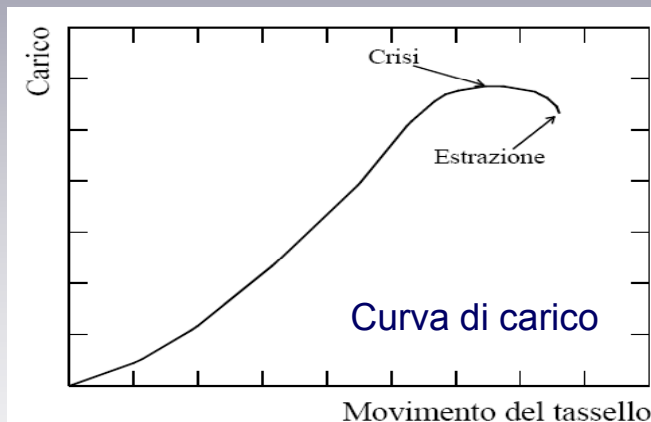
Rapporti dimensionali



Meccanismo di crisi

PROVE DI ESTRAZIONE (PULL-OUT)

METODO PER FORATURA - Esecuzione della prova



Se uno dei 3 valori della forza di estrazione si discosta più del 20% dal valor medio, tale valore deve essere scartato e sostituito dal risultato di un'ulteriore prova. Nel caso di ulteriore esito non soddisfacente il valore medio della forza di estrazione sarà da ritenersi non rappresentativo.

PROVE DI ESTRAZIONE (PULL-OUT)

METODO PER FORATURA - Esecuzione della prova



Attrezzatura di estrazione



Tasselli inseriti prima dell'estrazione



Fase di estrazione



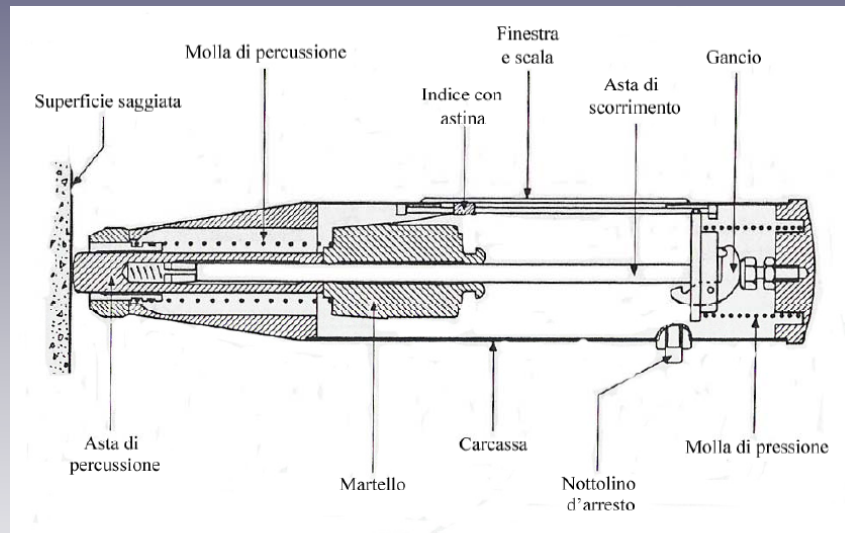
Coni di estrazione

PROVE DI DUREZZA SUPERFICIALE (SCLEROMETRO)

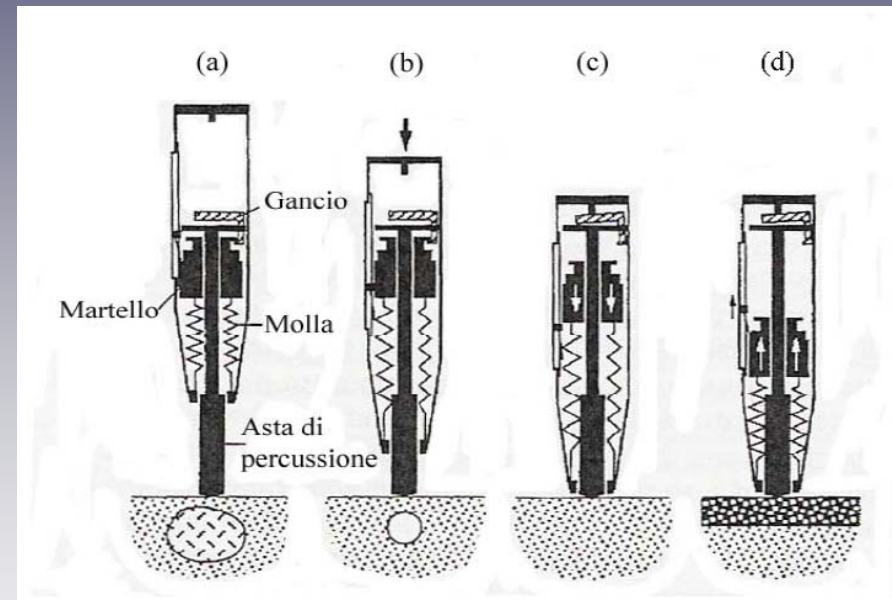
PRINCIPIO DEL METODO

UNI 9189; EN 12504-2

Una massa scagliata da una molla colpisce un pistone a contatto con la superficie di prova e il risultato della prova viene espresso in termini di distanza di rimbalzo della massa.



Sezione dello strumento



Schema di esecuzione della prova

Mediante delle curve, in dotazione allo strumento o diversamente ottenute, l'Indice sclerometrico, proporzionale all'altezza di rimbalzo, viene correlato alla resistenza a compressione del calcestruzzo.

PROVE DI DUREZZA SUPERFICIALE (SCLEROMETRO)

Limiti di utilizzo

Lo sclerometro può essere correttamente impiegato per:

1. valutare la omogeneità del calcestruzzo in situ;
2. delimitare zone di cls degradato;
3. stimare le variazioni nel tempo delle proprietà del cls;
4. ottenere informazioni approssimative sulla resistenza.

ma non può sostituire i metodi distruttivi nella determinazione della resistenza;

Tale determinazione può essere effettuata solo in presenza di una curva sperimentale di taratura.

Motivi

- La determinazione dell'indice di rimbalzo è influenzata da molti fattori;
- Non è possibile legare una misura di durezza superficiale a una resistenza.

PROVE DI DUREZZA SUPERFICIALE (SCLEROMETRO)

Fattori che influenzano i risultati

- Tipo di cemento;
- Tipo di inerti;
- Finitura superficiale;
- Dosaggio;
- Massa e spessore dell'elemento;
- Umidità (riduzioni fino al 20% dell'indice per superficie bagnata);
- Indurimento superficiale per carbonatazione;
- Altri

PROVE DI DUREZZA SUPERFICIALE (SCLEROMETRO)

ESECUZIONE DELLA PROVA

Preparazione

- ☐ L'area di prova deve essere di circa 30x30cm.
- ☐ Le superfici devono essere preventivamente levigate con pietra abrasiva.
- ☐ Per ogni area si determina una griglia su cui si eseguono almeno 9 misure, distanti tra loro almeno 25 mm e non meno di 25 mm dal bordo.
- ☐ L'indice di rimbalzo viene quindi determinato come media delle 9 misure.
- ☐ Preliminarmente deve essere eseguito un controllo di riferimento dello strumento mediante impiego di incudine di taratura.

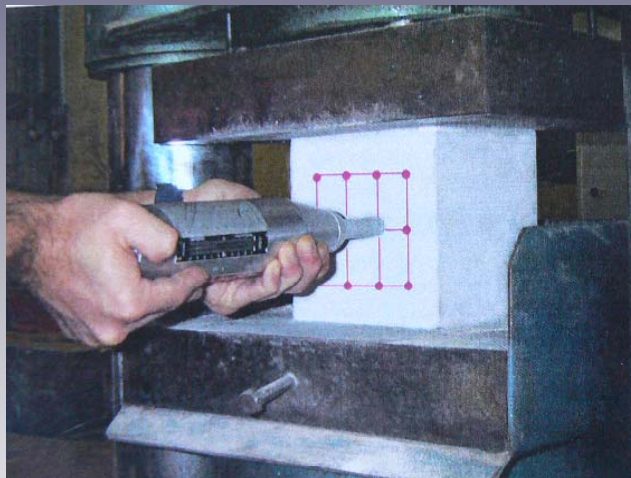
Se oltre il 20% di tutte le misure si discosta dalla media per più di 6 unità l'intera serie di misure deve essere scartata.

PROVE DI DUREZZA SUPERFICIALE (SCLEROMETRO)

Calibrazione (secondo UNI 9189)

Si confezionano e si portano a maturazione almeno 10 provini cubici

L'indagine viene eseguita su almeno 3 rapporti A/C (min 30 provini);



Curva di correlazione

□ PROVE ULTRASONICHE (UNI 9524; EN 12504/4)

Il metodo ha come scopo principale la determinazione dei tempi di propagazione di impulsi di vibrazione in campioni o strutture di cls fra una o più coppie di punti di rilievo.

- ⇒ Scopo dei rilievi è dedurre la velocità di propagazione degli impulsi e da essa informazioni sul cls in termini di caratteristiche meccaniche e omogeneità;
- ⇒ In combinazione con altre determinazioni il metodo può essere utilizzato per stimare la resistenza del cls in situ;

PRINCIPI DEL METODO:

- ⇒ La velocità con cui le onde elastiche si propagano in un **mezzo omogeneo, elastico e isotropo** è funzione delle sue caratteristiche meccaniche (modulo di elasticità e coefficiente di Poisson dinamici) e della sua densità;
- ⇒ Analizzando le variazioni di velocità e gli assorbimenti parziali dell'onda dovuti a riflessioni, rifrazioni e attenuazioni secondo determinate direzioni **possono essere indagate le disomogeneità presenti nei getti** (fessure, cavità, etc).

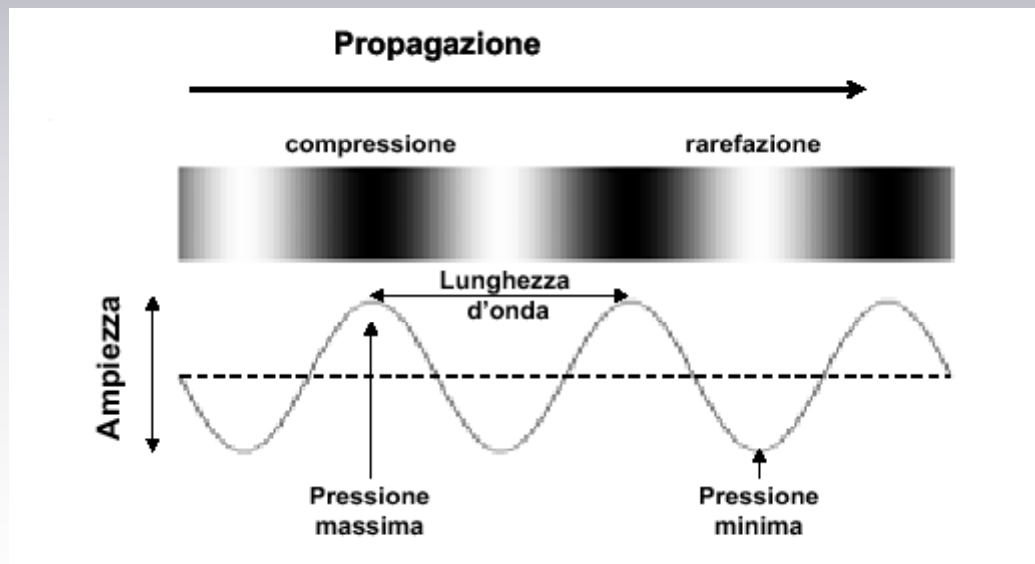
□ PROVE ULTRASONICHE (UNI 9524; EN 12504/4)

- Il suono: una successione di compressioni e rarefazioni delle particelle del mezzo in cui si propaga.
- Gli ultrasuoni: sono onde elastiche in tutto simili a quelle udibili, con frequenza > 20kHz.

$$\square \text{velocità} = V = \lambda * f$$

□ frequenza

□ lunghezza d'onda



□ Rappresentazione di un'onda sonora

□ Principio del metodo:

□ Mezzo: elastico, omogeneo, isotropo

□ Onde: longitudinali

$$E_d = \rho V^2 \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

□ PROVE ULTRASONICHE (UNI 9524; EN 12504/4)



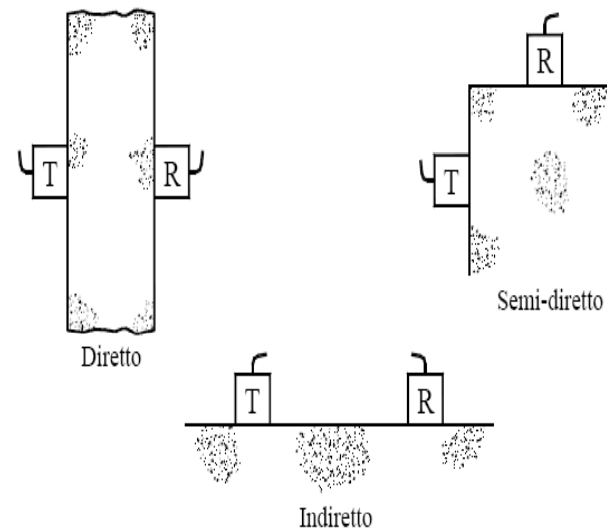
Rilevatore ad ultrasuoni

□ La sonda trasmittente emette in continuazione, con opportuna cadenza regolabile, impulsi di vibrazione che vengono captati dalla sonda ricevente.

□ Il segnale è elaborato da una apposita unità che calcola il tempo di transito dell'impulso nella struttura.

□ Operazioni preliminari di prova

- Taratura dei tempi a mezzo blocco di calibrazione;
- Individuazione delle armature;
- Lisciatura delle superfici;
- Impostazione fondo scala e ritmo di ripetizione;
- Tracciamento dei punti di misura;
- Accoppiamento interfaccia sonde-clis con gel o grasso.



Tecniche di rilievo

□ PROVE ULTRASONICHE (UNI 9524; EN 12504/4)

□ ESECUZIONE DELLE PROVE

- Localizzazione dei punti di misura;
- Misura delle distanze “s” tra le coppie
□ di punti [mm] con accuratezza $\pm 1\%$;
- Misura dei tempi di transito [μs];
- Si calcola $V=s/T$ [m/s];
- Eventuale stima di E_d [MPa];

Risultati di prove ultrasoniche

Identificazione prova						Ubicazione			Misure		Velocità V		
Elemento	Identif. elemento	Corpo scala	Elevaz. fuori terra	Direz. prova	Punto prova	dist. long.	dist. trasv.	quota	Spess.	Tempo	Prova	Media	Media
									s	T	singola	elemento	piano
						l [cm]	t [cm]	h [cm]	[cm]	[ms]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
Pilastro 50x30	P1	App. B	II	Trasv.	Punto 1	11	-----	120	29.6	88.3	3352	3274	3122
Pilastro 50x30	P1	App. B	II	Trasv.	Punto 2	11	-----	176	29.6	92.6	3197		
Pilastro 50x30	P2	App. B	II	Trasv.	Punto 1	14	-----	102	29.8	94.8	3143	3111	
Pilastro 50x30	P2	App. B	II	Trasv.	Punto 2	14	-----	160	29.5	95.8	3079		
Pilastro 40x30	P3	App. B	II	Trasv.	Punto 1	12	-----	134	30.0	99.2	3024	2981	
Pilastro 40x30	P3	App. B	II	Trasv.	Punto 2	12	-----	190	30.0	102.1	2938		
Pilastro 30x30	P4	App. B	IV	Trasv.	Punto 1	14	-----	78	30.0	86.1	3484	3456	3469
Pilastro 30x30	P4	App. B	IV	Trasv.	Punto 2	14	-----	150	30.0	87.5	3429		
Pilastro 40x30	P5	App. B	IV	Trasv.	Punto 1	13	-----	100	30.0	86.6	3464	3437	
Pilastro 40x30	P5	App. B	IV	Trasv.	Punto 2	13	-----	149	30.0	88.0	3409		
Pilastro 30x30	P6	App. B	IV	Trasv.	Punto 1	14	-----	90	30.0	85.4	3513	3513	
Pilastro 30x30	P6	App. B	IV	Trasv.	Punto 2	14	-----	153	30.0	85.4	3513		

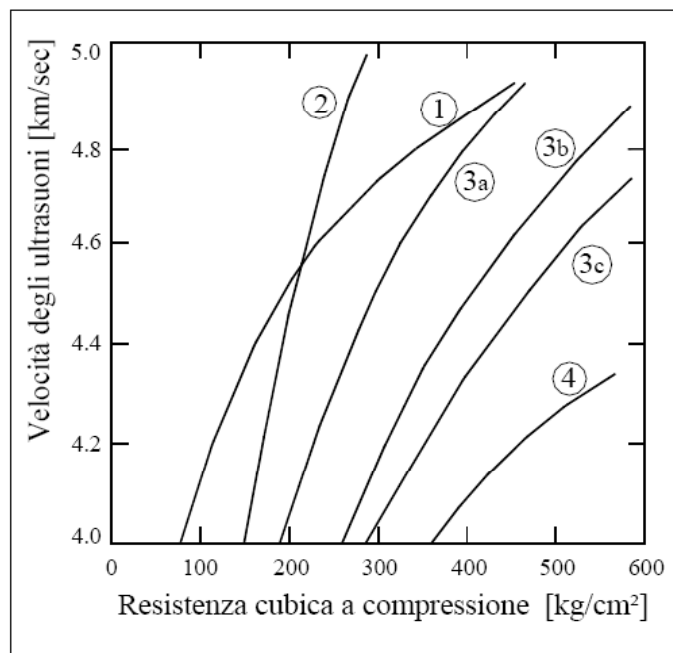
□ PROVE ULTRASONICHE (UNI 9524; EN 12504/4)

Giudizio qualitativo sulle caratteristiche del calcestruzzo

Velocità [m/s]	Giudizio
$V < 3000$	Pessimo
$3000 < V < 3400$	Scadente
$3400 < V < 3900$	Discreto
$3900 < V < 4500$	Buono
$V > 4500$	Ottimo

□ PROVE ULTRASONICHE (UNI 9524; EN 12504/4)

Esistono in letteratura curve che correlano la velocità ultrasonica nel cls alla sua resistenza



curva 1:

$$R_c = 0,1125 \cdot e^{1,6619 \cdot V}$$

curva 2:

$$R_c = 24,34 \cdot V^2 - 71,95 \cdot V + 42,73$$

curva 3a: $R_c = V^{4,1}$

curva 3b: $R_c = V^{4,0}$

curva 3c: $R_c = V^{3,8}$

curva 4:

$$R_c = 68,334 \cdot 10^{-3} \cdot V^{6,184}$$

Correlazioni analitiche V- R_c vari autori

□ PROVE ULTRASONICHE (UNI 9524; EN 12504/4)

Il cls non è un materiale isotropo omogeneo ed elastico, quindi le relazioni che governano il legame delle velocità US alle caratteristiche meccaniche non possono prescindere dalle sue reali proprietà chimico-fisiche, legate:

1. Dimensione e natura degli inerti: la presenza di inerti di grande dimensione fa aumentare la velocità anche se la resistenza resta costante;
2. Rapporto A/C: poco influente sulla velocità e molto sulla resistenza;
3. Contenuto di umidità: al crescere dell'umidità la velocità aumenta fino al 5%, mentre la resistenza diminuisce;
4. Età: è inversamente proporzionale alla velocità a causa della microfessurazione, ma direttamente proporzionale alla resistenza;
5. Stato di sollecitazione: la velocità non viene influenzata fino a quando la tensione nel materiale supera il 60-70% del carico di rottura, poi inizia a decrescere;
6. Presenza di armature: è un'influenza molto significativa, per cui bisogna porre attenzione nel minimizzare tale effetto indesiderato, ponendosi al centro delle maglie.

Da tutto ciò consegue che non è per niente consigliabile utilizzare curve di correlazione predeterminate. **Le curve di correlazione vanno determinate caso per caso.**

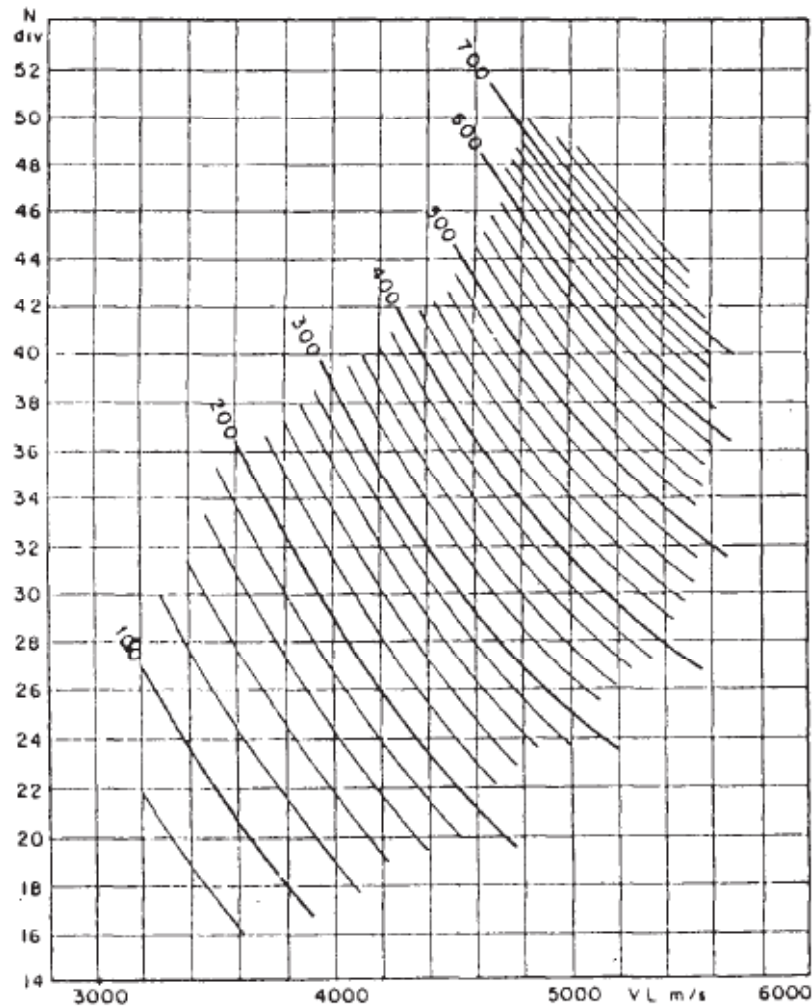
□ METODI COMBINATI - SONREB

La metodologia utilizza in modo incrociato 2 PND:
SONic + **REBound** = ultrasuoni + sclerometro

1. **Il contenuto di umidità** nel cls fa sottostimare l'indice sclerometrico e sovrastimare la velocità US;
 2. **L'età** al contrario fa sottostimare la velocità US e sovrastimare l'indice di rimbalzo;
- ⇒ **L'uso combinato** di queste 2 prove **consente una compensazione** degli errori legati all'utilizzo delle singole metodologie.
- ⇒ Nel metodo combinato a 2 variabili indipendenti (V e S) la correlazione che si ottiene con la variabile dipendente (R_c) da origine a una distribuzione di punti intorno a una “superficie di interpolazione”;
- ⇒ Le curve di correlazione sono del tipo $R_c = a * V^b * S^c$ (1);
- ⇒ Le costanti **a**, **b**, **c** dipendono dalle modalità con cui si è condotta la sperimentazione di correlazione.

□ METODI COMBINATI - SONREB

Esecuzione delle prove e limiti di applicabilità



Correlazione di Cianfrone-Facaoaru, 1980

Per ciascuna determinazione della resistenza cubica di una zona di cls:

- Si determina la velocità V (media di almeno 2 misure);
- Si determina l'indice di rimbalzo I (media di almeno 10 misure);
- Ogni zona risulta caratterizzata da una coppia di valori dei parametri non distruttivi indipendenti (V, I) cui viene associato un valore della resistenza R_c .

Limiti di applicabilità del metodo:

1. calcestruzzi con strati superficiali degradati;
2. zone con forte concentrazione di armatura;

□ METODI COMBINATI - SONREB

⇒ In letteratura esistono numerose espressioni del tipo (1), tra le quali

$$1a) \quad R_{c,1} = 9.27 \cdot 10^{-11} \cdot S^{1.4} \cdot V^{2.6}$$

$$1b) \quad R_{c,2} = 8.06 \cdot 10^{-8} \cdot S^{1.246} \cdot V^{1.85}$$

$$1c) \quad R_{c,3} = 1.2 \cdot 10^{-9} \cdot S^{1.058} \cdot V^{2.446}$$

▪ R_c è la resistenza cubica a compressione in [N/mm²];

▪ S è l'indice sclerometrico;

▪ V è la velocità ultrasonica in [m/s]

⇒ Tali espressioni **non hanno validità generale**.

⇒ 1a) non vengono forniti limiti di applicabilità;

⇒ 1b) ricavata da prove su cls di composizione usuale, non meglio precisata;


⇒ 1c) utilizzata per stimare la resistenza su travi in c.a.p., quindi da ritenere applicabile per cls ad alta resistenza.

⇒ In ogni caso le espressioni sopra riportate appaiono di dubbia affidabilità per cls di qualità medio-bassa, tipici delle strutture esistenti.

□ PROVE CHIMICHE – Attacco dell'anidride carbonica

Col fenomeno della **CARBONATAZIONE** l'anidride carbonica presente nell'aria viene assorbita dal cls, trasformando l'idrossido di calcio (fortemente basico) in carbonato di calcio secondo la reazione



pH
12.5÷13.5  9

- ⇒ Tale abbassamento del pH determina l'eliminazione della naturale barriera alcalina, formata da uno strato passivante di ossido di ferro insolubile che protegge le armature dai fenomeni ossidativi.
- ⇒ Quando la carbonatazione raggiunge l'armatura interviene un pericolo di corrosione.
- ⇒ Il fenomeno è favorito dalla presenza di umidità.

□ PROVE CHIMICHE - Carbonatazione

Determinazione della profondità di carbonatazione (UNI 9944)

- ⇒ Su una metà di ciascun provino generalmente già sottoposto alla prova di trazione indiretta, si determina la profondità di carbonatazione.
- ⇒ Reagente: **soluzione di fenolftaleina 1% in alcol etilico**



- ⇒ Il reagente, al contatto con materiale il cui pH sia maggiore di 9.2, vira al rosso e rimane incolore per valori di pH minori.