



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

Livello di conoscenza

conoscenza

LC1

Limitata

LC2

Adeguate

LC3

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-cl)

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 strutturale	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

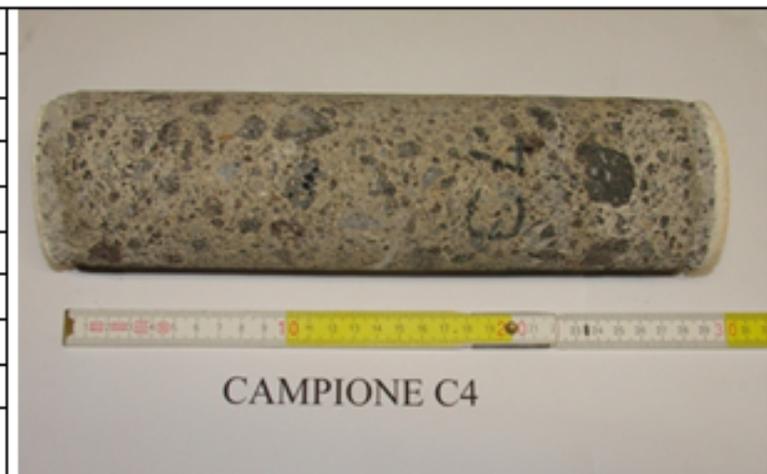
Metodo: prelievo di campioni cilindrici di cls indurito mediante carotarici a corona diamantata.

- ⇒ 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>



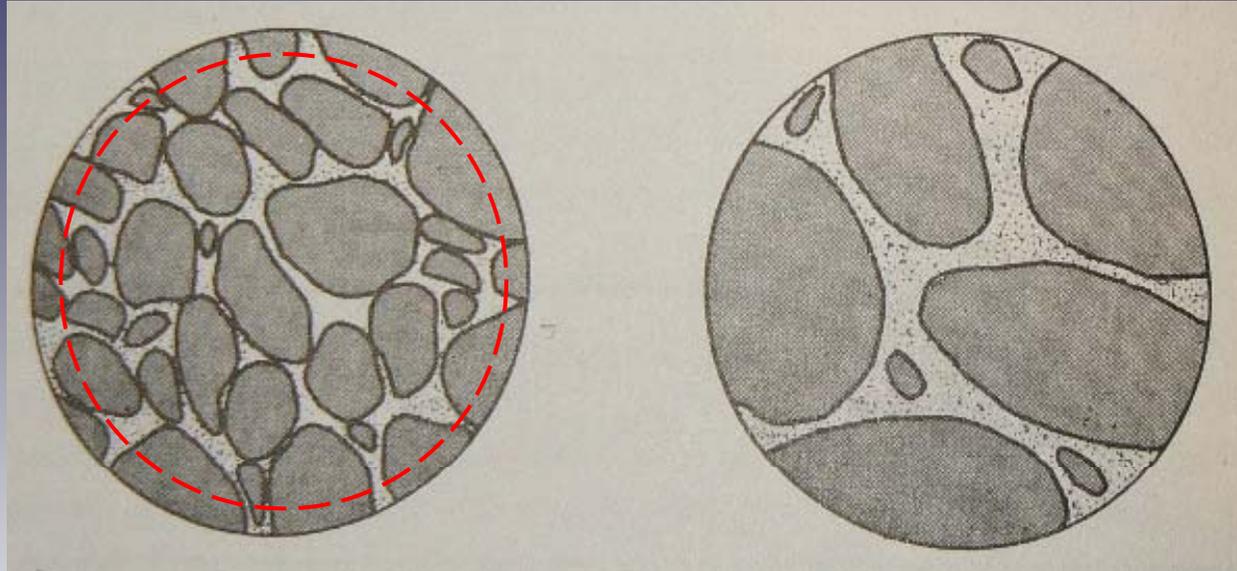
CAROTAGGIO

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

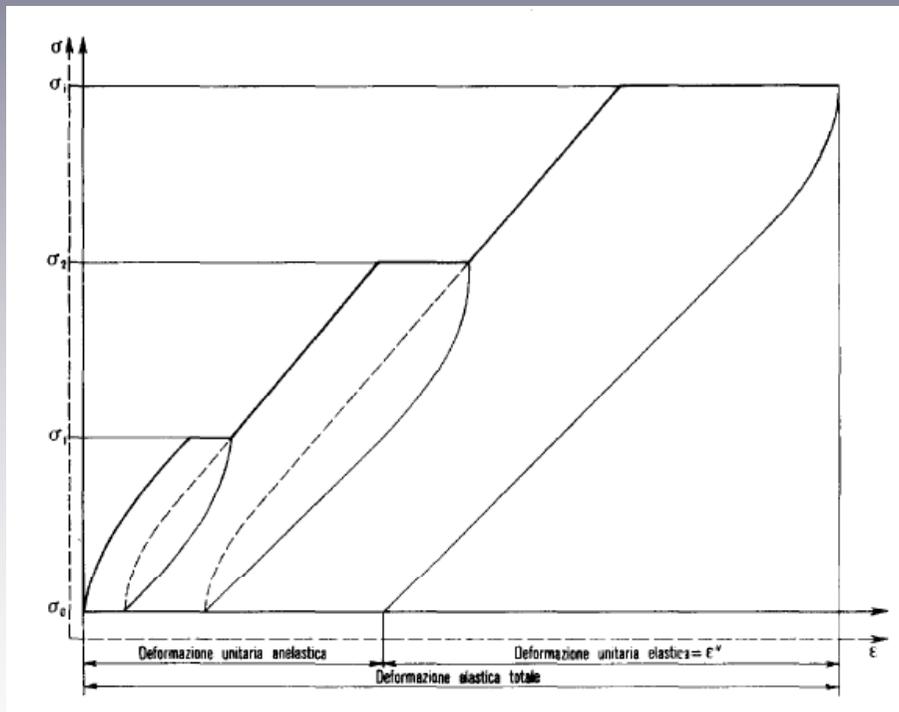
Modulo di elasticità secante (UNI 6556)

- ⇒ 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



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

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

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

CAROTAGGIO – Prove di laboratorio – Modulo Elastico

RISULTATI DELLE PROVE DI COMPRESIONE (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

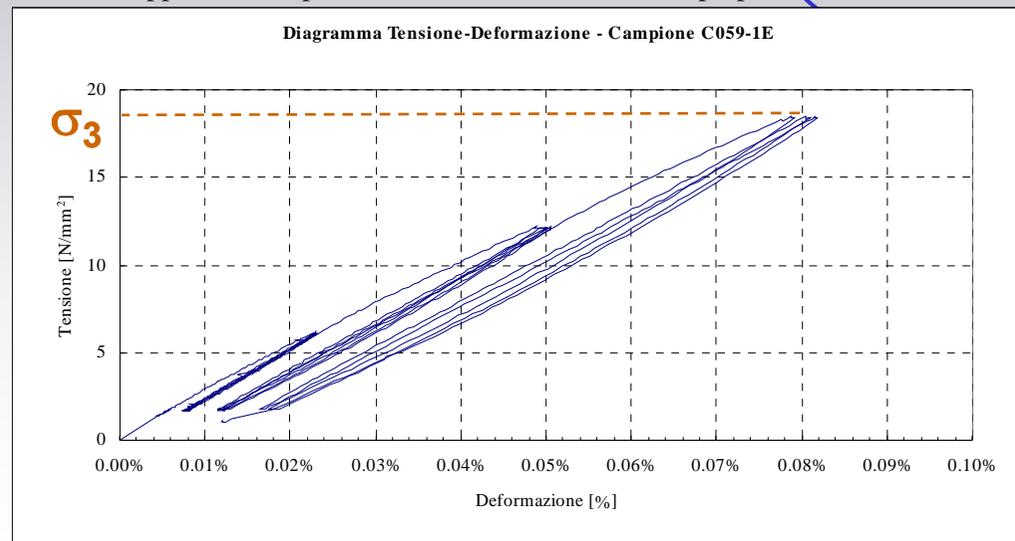
$\sigma_r = 55.8$

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.

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

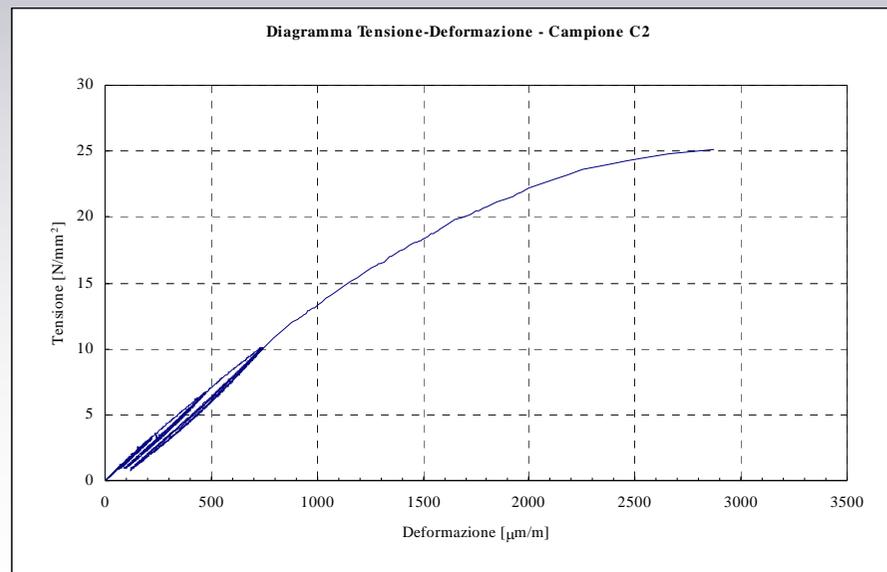


CAROTAGGIO – Prove di laboratorio

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

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

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

RELAZIONE DA VERIFICARE

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

PROVE DI ESTRAZIONE (PULL-OUT)

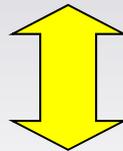
Metodo: misura della forza di estrazione di un elemento inserito nel cls.

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:

- Insetto 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.

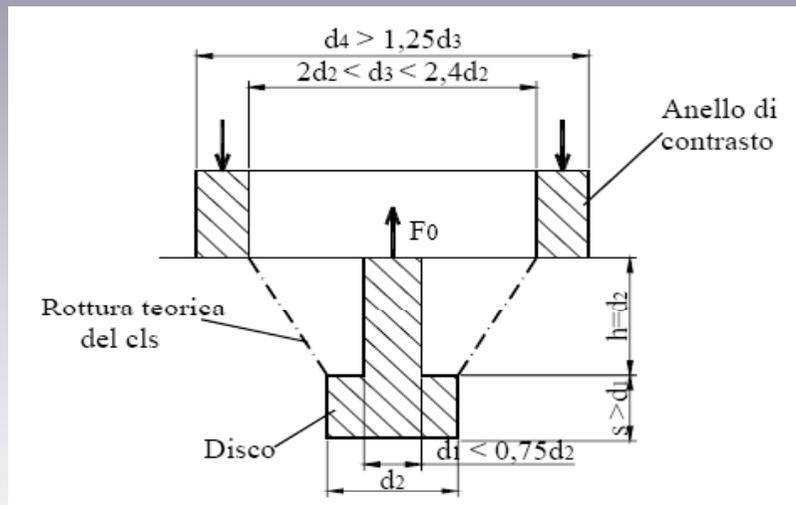
Tipi di prova:

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

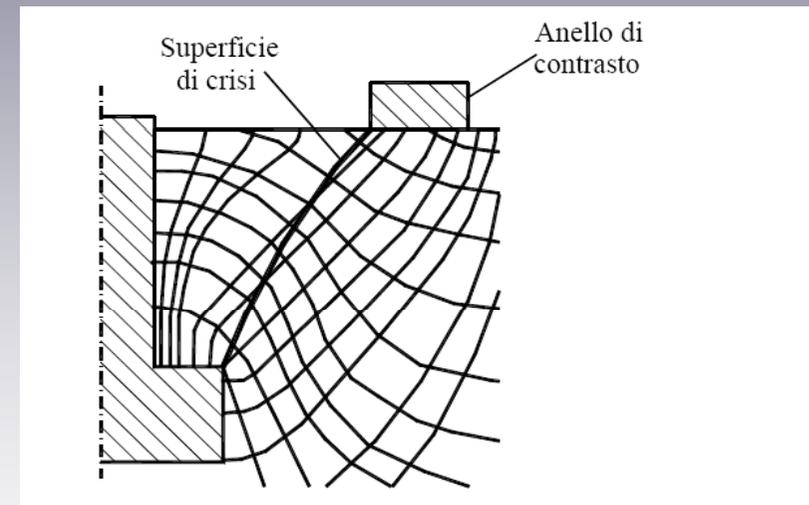
PROVE DI ESTRAZIONE (PULL-OUT)

METODO CON INSERTO PRE-INSERITO

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



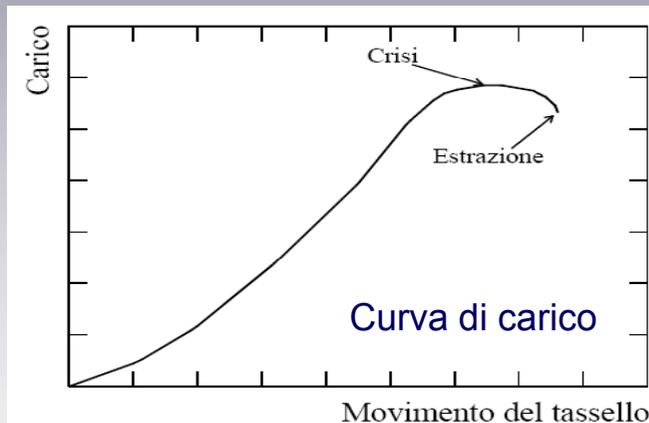
Rapporti dimensionali



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



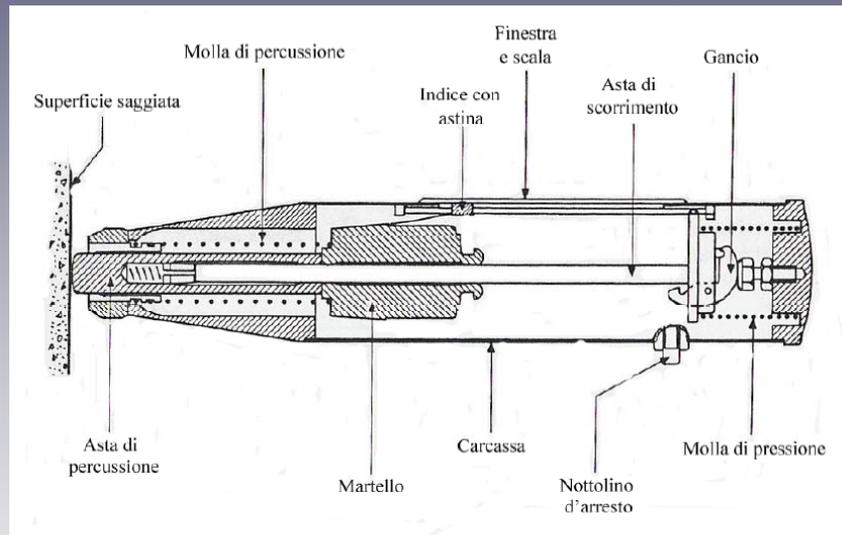
Coni di estrazione

PROVE DI DUREZZA SUPERFICIALE (SCLEROMETRO)

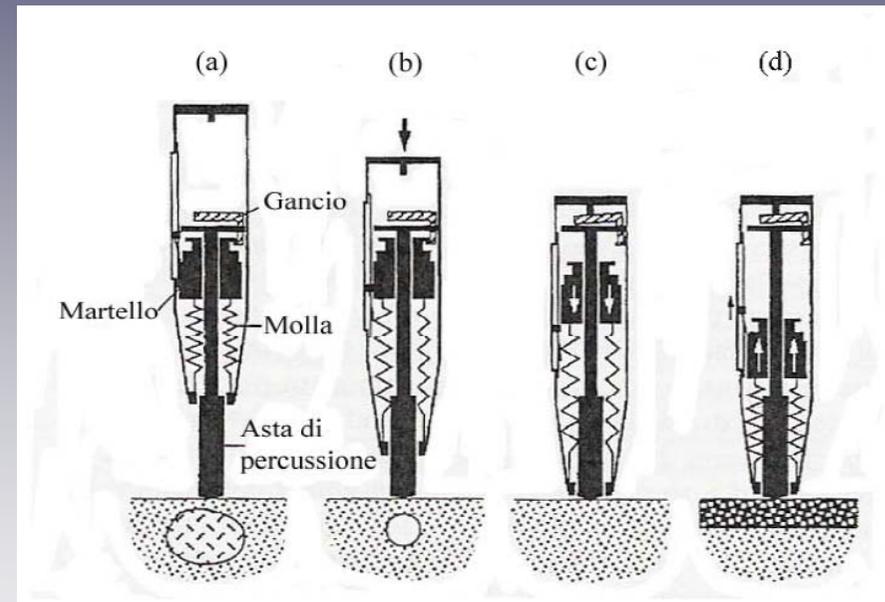
PRINCIPIO DEL METODO

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);



Prove sclerometriche

I fase



I

Prove di compressione

II fase



R_c

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).

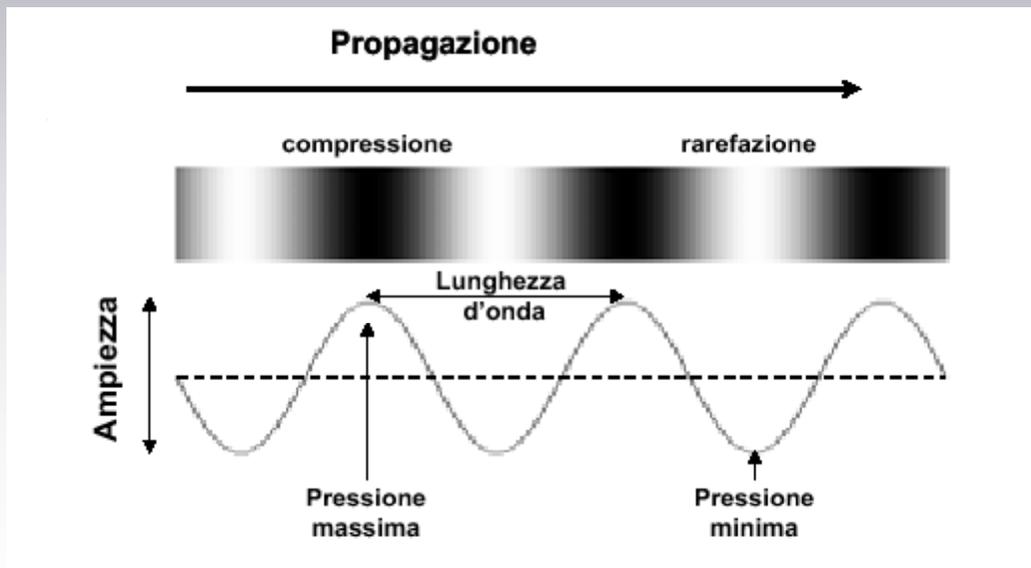
□ PROVE ULTRASONICHE (UNI 9524; EN 12504/4)

- 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)



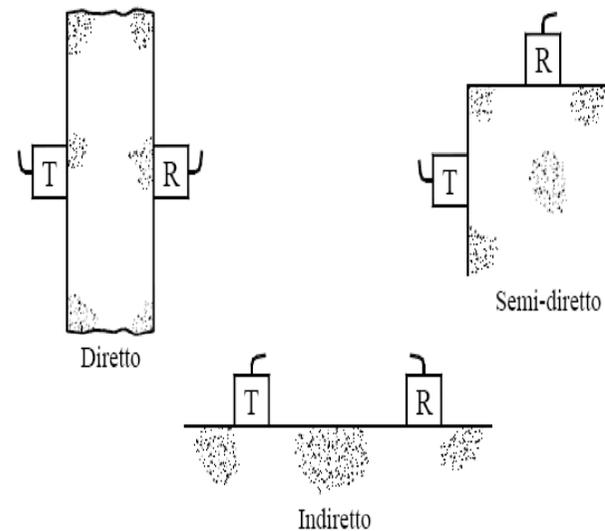
Rilevatore ad ultrasuoni

□ 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-clc 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. s	Tempo T	Prova singola	Media elemento	Media 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	-----
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		

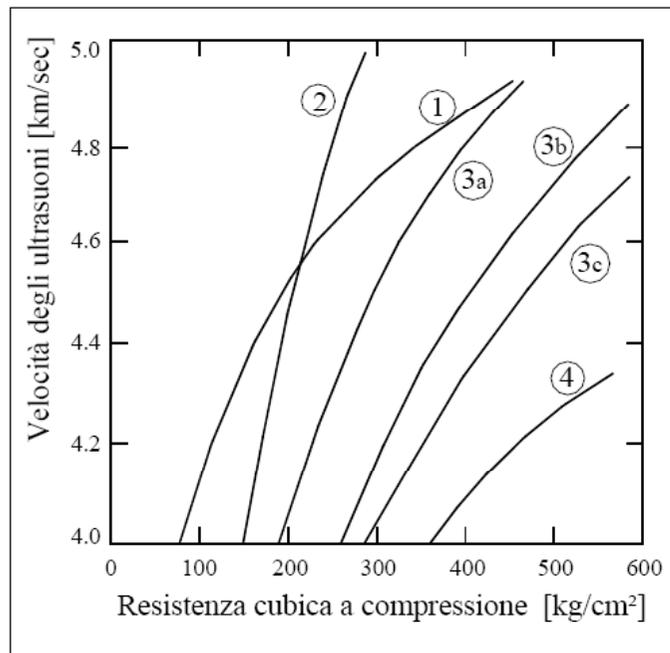
□ PROVE ULTRASONICHE (UNI 9524; EN 12504/4)

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.**

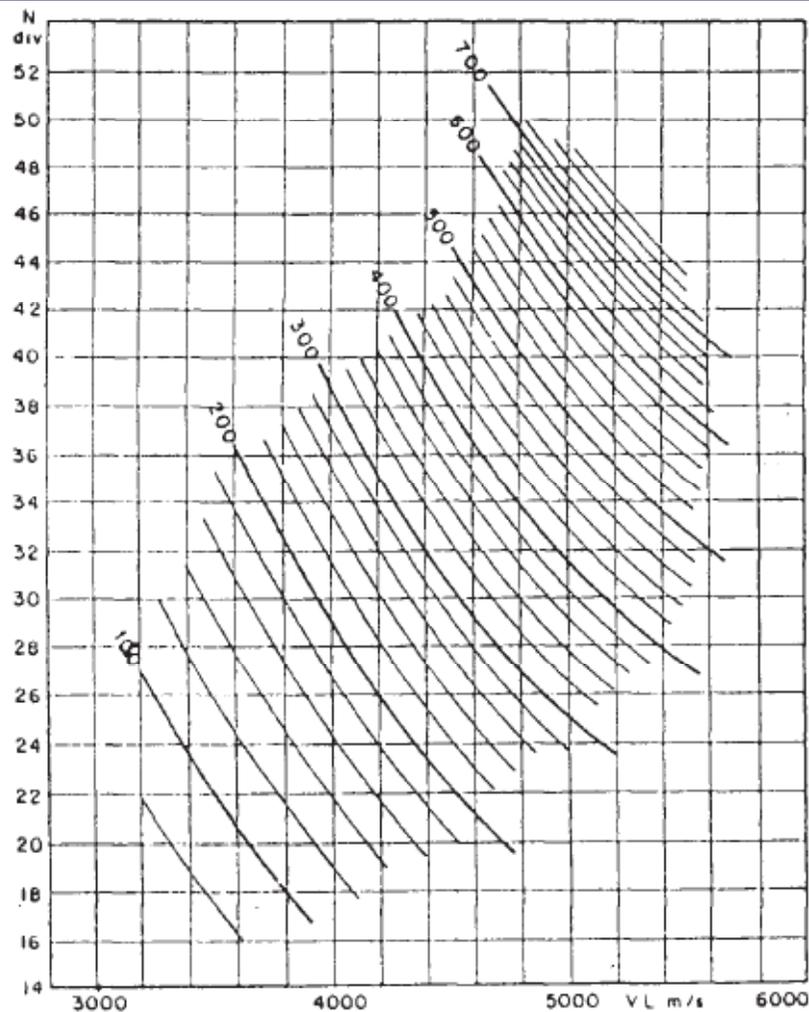
□ METODI COMBINATI - SONREB

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.