



Corso di aggiornamento professionale

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA E VERIFICA SISMICA DI EDIFICI IN C.A.

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Parma
21-23 giugno 2010

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 introdotte dall'O.P.C.M. 3274/03

Indicazioni contenute nel Testo integrato dell'Allegato 2 – Edifici all'OPCM 3274 come modificato dall'OPCM 3431 del 3/5/05.

Le fonti da considerare per l'acquisizione dei dati necessari sono:

- ⇒ **Documenti di progetto**, con particolare riferimento a relazioni geologiche, geotecniche e strutturali ed elaborati grafici strutturali;
- ⇒ Eventuale documentazione acquisita in tempi successivi alla costruzione;
- ⇒ **Rilievo strutturale** geometrico e dei dettagli costruttivi;
- ⇒ **Prove in situ e in laboratorio**.

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)

Le norme distinguono	
3 LIVELLI DI CONOSCENZA	
Edifici esistenti per la scelta del metodo di analisi e dei valori del FC	
<u>Livello di conoscenza</u>	<u>conoscenza</u>
LC1	Limitata
LC2	Adeguate
LC3	Accurate

⇒ 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-clt)

Livello di Conoscenza	Geometria (caratteristiche)	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 limitate verifiche in situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e limitate prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2		Disegni costruttivi incompleti con limitate verifiche in situ oppure estese verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con limitate prove in-situ oppure estese prove in-situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi con limitate verifiche in situ oppure esaustive verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in situ oppure esaustive 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

EDIFICI ESISTENTI in C.A.
Indagini conoscitive – indicazioni supplementari (C8A.1.B.5 NTC)
Geometria: <ol style="list-style-type: none"> 1. Caratteristiche geometriche degli elementi strutturali, ossia dimensioni di travi, pilastri e setti 2. Larghezza delle ali di travi a T; 3. Tessitura dei solai; 4. Identificazione degli elementi resistenti alle forze orizzontali; 5. Possibili eccentricità di travi e pilastri ai nodi. Dettagli costruttivi: <ol style="list-style-type: none"> 1. Quantità di armatura longitudinale in travi, pilastri, setti; 2. Passo delle staffe e loro chiusura, diametri; 3. Armatura e dettagli dei nodi strutturali; 4. Quantità di armatura longitudinale che contribuisce al momento negativo di travi a T; 5. Lunghezze di appoggio e condizioni di vincolo degli elementi orizzontali; 6. Spessore del copriferro; 7. Lunghezza di sovrapposizione delle barre.

EDIFICI ESISTENTI in C.A.
INDICAZIONI SUL CAMPIONAMENTO
<p>Le norme tuttavia precisano che le quantità della Tab. C8A.1.3 hanno solo valore indicativo, e vanno adattate ai singoli casi, tenendo conto di 2 aspetti ulteriori:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ai fini delle prove sui materiali 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, che devono essere tarate su quelle distruttive. 2. il numero di provini da estrarre e sottoporre a prova può essere variato in aumento o in diminuzione, in relazione alle caratteristiche di omogeneità del materiale.

CAMPIONAMENTO
<p>⇒ Aspetto fondamentale nella impostazione della campagna di indagini è costituito dal CAMPIONAMENTO, ovvero dalla 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;</p> <p>⇒ <u>Primo requisito del campionamento: la RAPPRESENTATIVITA'</u> dello stato complessivo dell'edificio, in grado di riflettere la VARIABILITA' delle caratteristiche strutturali;</p> <p>⇒ Quanto più la struttura è eterogenea tanto più le indagini devono essere accurate e approfondite;</p> <p>⇒ NON ESISTE IL "NUMERO GIUSTO" delle indagini da eseguire;</p> <p>⇒ Deve essere valutato caso per caso, ed è solitamente un compromesso ragionevole tra precisione richiesta, somme e tempi disponibili, invasività consentita.</p>

CAMPIONAMENTO
<p>⇒ La scelta dei punti di indagine deve essere casuale, senza privilegiare zone particolari, magari solamente più comode da raggiungere, affinché i risultati ottenuti siano statisticamente rappresentativi delle proprietà del materiale in situ;</p> <p>⇒ 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;</p> <p>⇒ 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;</p> <p>⇒ La calibrazione dei metodi PND consente di estendere queste ultime, ad un numero quanto si voglia elevato di punti.</p>

CAMPIONAMENTO
Localizzazione negli elementi strutturali <p>⇒ Per ciò che attiene la rappresentatività del campione all'interno dei singoli elementi strutturali, è necessario evitare quelle zone dove il calcestruzzo presenta caratteristiche diverse da quelle medie, come ad esempio si verifica in corrispondenza dei pilastri;</p> <p>⇒ Tipicamente infatti la resistenza varia lungo l'altezza diminuendo dal basso verso l'alto;</p> <p>⇒ Si possono registrare variazioni del 20-30%;</p> <p>⇒ Se non diversamente specificato è preferibile che le prove sui pilastri siano localizzate a metà altezza.</p>

CAMPIONAMENTO
<p><u>Piano di indagine: un compromesso ragionevole!</u></p> <div> <div> LIMITAZIONI <ul style="list-style-type: none"> ➤ Limiti di spesa ➤ Accessibilità ➤ Danno accettabile ➤ Limiti di tempo </div> <div> ESIGENZE <ul style="list-style-type: none"> ➤ Estensione del campionamento ➤ Rappresentatività ➤ Affidabilità delle indagini </div> </div> <p>⇒ DEFINIZIONE CAMPAGNA DI INDAGINE</p>

Indagini sulle strutture in c.a.

- **Prelievo di campioni (acciaio, cls)**
- **Prove di laboratorio**
- **Prove in situ.**
- **La fase di indagine sperimentale è solitamente preceduta da una fase di "rilievo statico" della struttura.**

Casistica ricorrente di indagine

- ⇒ Rilievo statico della struttura (misure geometriche, rilievi pacometrici, saggi diretti sulle armature);
- ⇒ Prelievo di campioni di cls a mezzo carotaggio;
- ⇒ Prelievo di barre di armatura;
- ⇒ Prove di laboratorio sui campioni di cls (resistenza a compressione, modulo elastico, resistenza a trazione indiretta, prove chimiche);
- ⇒ Prove di trazione sugli acciai (snervamento, rottura, all.% a rottura);
- ⇒ Prove non distruttive (ultrasuoni, sclerometriche, pull-out, Windsor) in situ, con esecuzione delle stesse preliminarmente negli stessi punti in cui si procederà all'estrazione delle carote, ai fini della taratura delle stesse.
- ⇒ Determinazione di correlazioni tra PD e PND;
- ⇒ Estensione delle PND ad un più elevato numero di elementi strutturali;
- ⇒ Prove di carico su elementi strutturali, orizzontamenti, strutture di fondazione;
- ⇒ saggi in fondazione con pozzetti esplorativi, con determinazione delle dimensioni, estrazione campioni, PND;
- ⇒ sondaggi geognostici e caratterizzazione dei terreni mediante prove di laboratorio.

SCELTA DEL TIPO DI INDAGINE

- ⇒ Le ragioni che conducono alla scelta di una determinata prova piuttosto che a un'altra nascono da valutazioni che attengono alla precisione richiesta, ai costi, ai danni consentiti, e ai tempi di esecuzione;
- ⇒ Spesso la scelta è condizionata dalla possibilità di produrre danni anche se solo di natura estetica;
- ⇒ Per tali limitazioni la scelta si orienta spesso sui metodi non distruttivi, limitando il più possibile quelle distruttive;
- ⇒ Essendo le PND metodi indiretti il loro utilizzo ai fini della valutazione quantitativa della resistenza è molto delicato e **non può prescindere da una FASE PRELIMINARE DI CALIBRAZIONE con metodi distruttivi**;

SCELTA DEL TIPO DI INDAGINE

- ⇒ 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**.
- ⇒ Vanno adottati metodi non distruttivi che limitino l'influenza della carbonatazione degli strati superficiali sui valori di resistenza del calcestruzzo.

CAROTAGGIO

Metodo: prelievo di campioni cilindrici di cls indurito mediante carotatrici 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 rettificazione 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

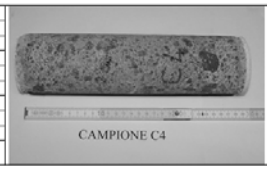
Prelievo

- ⇒ La localizzazione dipende dalle finalità delle prove.
- ⇒ Criterio fondamentale da adottare nel corso delle operazioni di estrazione è ridurre al minimo il danneggiamento;
- ⇒ Un adeguato posizionamento della carotatrice è indispensabile per estrazione di campioni regolari, con sezione costante e asse perfettamente rettilineo;
- ⇒ I danni intrinseci alla modalità di estrazione sono legati alla coppia torcente esercitata dal carotiere, alla direzione di perforazione, all'età di stagionatura, alla dimensione dell'inerte.

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 carbonatazione



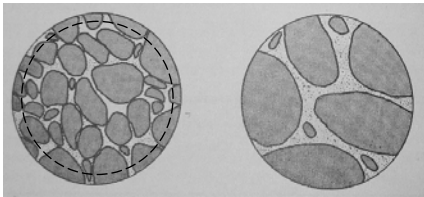
CAROTAGGIO

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

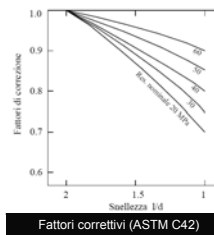


- ⇒ L'effetto del taglio e dell'azione torcente provoca maggiori danni su sezioni con inerti piccoli, che perdono la loro connessione lungo il contorno;
- ⇒ La sezione resistente non coincide con quella geometrica;
- ⇒ Danni molto limitati per inerti grossi che continuano a mantenere salda la connessione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

CAROTAGGIO

Rapporto h/d

- ⇒ Al crescere del rapporto h/d si misurano resistenze decrescenti;



- ⇒ L'effetto della snellezza sulla resistenza è minimo quando h/d=2, valore consigliato;
- ⇒ La variazione della resistenza con la snellezza non è lineare;
- ⇒ La UNI EN 12504 prevede l'adozione di 2 rapporti h/d preferenziali:

- h/d=2 se il risultato deve essere paragonato con la res. cilindrica;
- h/d=1 se il risultato deve essere paragonato con la res. cubica.

CAROTAGGIO

Inclusione di armature

- ⇒ A volte i campioni estratti presentano inclusioni di solito per carotaggi su elementi con armature su più file, difficili da individuare con il pacometro;
- ⇒ Se non è possibile evitare di eseguire prove su campioni con inclusioni, bisogna tener conto di coefficienti correttivi;

$$\frac{R_{corretto}}{R_{misurato}} = \left[1 + 1,5 \left(\frac{d_b \cdot h}{d_c \cdot l} \right) \right]$$

d_b = diametro barra;
 d_c = diametro carota;
 h = dist. asse barra – bordo carota
 l = lunghezza carota

CAROTAGGIO – Altri fattori influenti

Direzione di perforazione

- ⇒ Per carotaggi ortogonali al getto si registrano riduzioni della resistenza tra il 5 e l'8% per cls di classe 25 MPa;

Localizzazione

- ⇒ La resistenza non è uniforme lungo l'altezza dei getti, e si riduce dal basso verso l'alto;

Umidità

- ⇒ Provini in condizione di saturazione presentano riduzioni della resistenza compresi tra il 10 e il 15% rispetto a condizioni asciutte;

CAROTAGGIO – Microcarote

Stima della resistenza cubica locale del cls in sito attraverso MICROCAROTAGGIO (UNI 10766)

- ⇒ Si utilizza un **carotiere da 28 mm**;
- ⇒ Il metodo è annoverato tra quelli non distruttivi (meglio semi-distruttivi);
- ⇒ Da ogni microcarota si estraggono **almeno 3 provini con h=d**;
- ⇒ Dal valor medio di tutte le determinazioni (min 12), si ottiene la $R_{CL, med}$
- ⇒ Infine la resistenza cubica locale R_{CL} si ottiene a partire dalla $R_{CL, med}$ previa calibrazione.

CAROTAGGIO – Microcarote

Calibrazione

- ⇒ Si preparano 5 impasti con resistenze distribuite tra 20 e 40 MPa e dimensioni degli inerti tra 16 e 25 mm;
- ⇒ Si confezionano 10 cubi (spigolo 150 mm) per ogni impasto;
- ⇒ Su 5 cubi si esegue la prova di compressione a 28 gg $\Rightarrow R_{c, med}$
- ⇒ Sui rimanenti 5 si estraggono microcarote (min 3/cubo) $\Rightarrow R_{cl, med}$
- ⇒ Si calcolano i parametri **a** e **b** della retta di regressione

$$R_{c, med} = a + b \cdot R_{cl, med}$$

Utilizzando tali coefficienti, si può stimare la res. cubica locale R_{CL}

$$R_{CL} = 0.93 \cdot a + b \cdot R_{cl, med}$$

CAROTAGGIO – Microcarote

Limiti di applicabilità

- ⇒ Il microcarotaggio rappresenta una tecnica utile in tutti quei casi in cui non sia possibile prelevare carote con dimensioni normali (almeno pari a 50 mm);
- ⇒ Per calcestruzzi aventi resistenze basse (< 20 MPa) il danneggiamento che subiscono le superfici durante le operazioni di estrazione e di taglio, rendono il metodo non idoneo;
- ⇒ Le procedure previste dalla norma europea EN 13791 per la determinazione della resistenza a compressione in situ attraverso metodi diretti e indiretti non contemplano l'utilizzo di microcarote (in generale diametri inferiori a 50 mm).

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** $t = \pm 0.5mm$

➡ **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

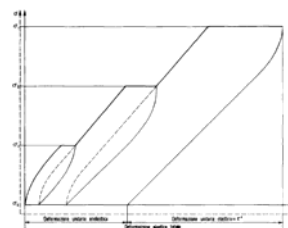
Modulo di elasticità secante (UNI 6556)

- ⇒ 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 $\sigma_3 = 1/3 \sigma_R$
- ⇒ 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



$$E_{1/3 \text{ sec}} = \Delta \sigma_i / \Delta \epsilon_{el,i}$$

$\Delta \sigma_i$ 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 COMPRESSIONE (UNI EN 12390-3)

Cont.	Data Prova	Dimensioni (*)	Sez.	Peso specifico	Carico unitario di rottura
		d [cm]	h [cm]	[kg/m³]	[N/mm²]
CT-SR 059-1C	07/11/06	10.47	28.60	86.10	563
CT-SR 059-2C	07/11/06	10.49	28.42	86.43	2412
CT-SR 059-3C	07/11/06	10.46	28.72	85.83	2423

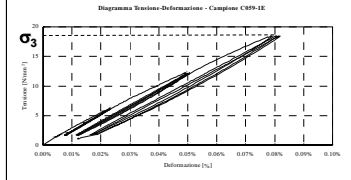
Note: (*) determinate secondo UNI EN 12390-3 App. B. I campioni verificano le tolleranze di perpendicolarità, rettilineità, planarità secondo UNI EN 12390-1 App. A

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

Cont.	Data Prova	Dimensioni (*)	Sez.	Peso specifico	Tensione di rottura	Tensione massima di prova	Modulo Elastico Secante
		d [cm]	h [cm]	[kg/m³]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]

CT-SR 059-1E	13/11/06	10.51	28.97	86.76	2408	51.7	18.6
CT-SR 059-2E	13/11/06	10.41	28.92	85.11	2441	57.1	18.6
CT-SR 059-3E	13/11/06	10.49	28.55	86.43	2408	58.5	18.6

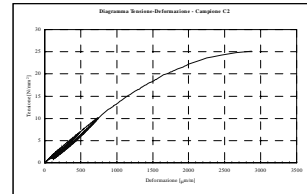
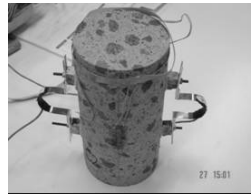
Note: (*) determinate secondo UNI EN 12390-3 App. B. I campioni verificano le tolleranze di perpendicolarità, rettilineità, planarità secondo UNI EN 12390-1 App. A.



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

CAROTAGGIO – Prove di laboratorio

Provino strumentato per misura di deformazioni longitudinali e trasversali



CAROTAGGIO

STIMA DELLA RESISTENZA CUBICA

Metodo del Cestelli-Guidi

⇒ Dato di partenza: R_{cil} (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**

$$R_{cub,situ} = 1.20 * R_{cil} \quad (1.20 = 1/0.83) \text{ D.M. 9/1/96}$$

⇒ 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

STIMA DELLA RESISTENZA CUBICA

Metodo della Concrete Society

⇒ Dato di partenza: R_{cil} (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

$$R_{cub,situ} = 1.25 * R_{cil}$$

RESISTENZA CUBICA

$$R_{cub,conv} = 1.30 * R_{cub,situ}$$

CAROTAGGIO

STIMA DELLA RESISTENZA CUBICA

Metodo delle British Standard 1881 part. 120

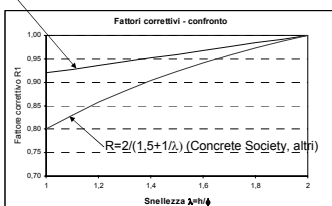
⇒ Dato di partenza: R_{cil} (res. cilindrica carota, fornita dal Laboratorio Ufficiale)

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

$$R_{cil} = R_l * R_{car}$$

$$R_{cub,situ} = 1.25 * R_{cil}$$

$R_l(\lambda) = 0.08\lambda + 0.84$ (fattore correttivo BS1881)



Fatt. corr.	Concrete Society, al.	BS 1881
R_l	$2/(1.5 + 1/\lambda)$	$0.08\lambda + 0.84$
$\lambda = H/\Phi = 1$	0.80	0.92
$\lambda = H/\Phi = 2$	1.00	1.00

CAROTAGGIO

STIMA DELLA RESISTENZA IN SITO

Linee guida Regione Basilicata (ottobre 2005)

Per convertire le resistenze ottenute sulle carote in resistenze in-situ

$$f_{car,i} \rightarrow f_{cis,i} = f_{car,i} * (C_{h/D} * C_{dia} * C_a * C_d)$$

$C_{h/D}$ = coeff.te corr. per rapporti $h/D \neq 2$
 C_{dia} = coeff.te corr. relativo al diametro
 C_a = coeff.te corr. relativo alla presenza di armature incluse
 C_d = coeff.te corr. relativo al disturbo

d [mm]	C_{dia}
50	1.06
100	1.00
150	0.98

Φ [mm]	C_a
10	1.03
20	1.13

$$f_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^N f_{cis,i}}{N} \rightarrow f_{cd}$$

calcolata in funzione dei valori di f_c e del coeff. di sicurezza γ parziale relativi al LC acquisito e al tipo di verifica da effettuare.

CAROTAGGIO

STIMA DELLA RESISTENZA CARATTERISTICA IN SITO

Normativa europea EN13791/2007

Approccio A

$N \geq 15$ $f_{ck, is}$ minore tra.....

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{ck, is} = f_{c, med, is} - 1.48 \cdot \delta \\ f_{ck, is} = f_{c, min, is} + 4 \end{array} \right.$$

dev. St.

.....la classe di resistenza si ottiene dalla Tab.1 della EN206-1 utilizzando la resistenza caratteristica cilindrica in situ stimata

Approccio B

$35 \leq N \leq 14$ $f_{ck, is}$ Il minore tra.....

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{ck, is} = f_{c, med, is} - k \\ f_{ck, is} = f_{c, min, is} + 4 \end{array} \right.$$

(diminuisce al crescere di N)

n	k
10-14	5
7-9	6
3-6	7

CAROTAGGIO

RESISTENZA CARATTERISTICA IN SITO

Normativa europea EN13791/2007

.....Minimi dei valori caratteristici della resistenza a compressione in situ in relazione alle classi di resistenza secondo la EN206-1, Tab.1

Compressive strength class according to EN 206-1	Ratio of in-situ characteristic strength to characteristic strength of standard specimens	Minimum characteristic in-situ strength N/mm ²	
		$f_{c, s, inf}$	$f_{c, s, min}$
C8/10	0.85	7	9
C12/15	0.85	10	13
C16/20	0.85	14	17
C20/25	0.85	17	21
C25/30	0.85	21	26
C30/37	0.85	26	31
C35/45	0.85	30	38
C40/50	0.85	34	43
C45/55	0.85	38	47
C50/60	0.85	43	51
C55/67	0.85	47	57
C60/75	0.85	51	64
C70/85	0.85	60	72
C80/95	0.85	68	81
C90/105	0.85	77	89
C100/115	0.85	85	98

NOTE 1: The in-situ compressive strength may be less than that measured on standard test specimens taken from the same batch of concrete.
NOTE 2: The ratio 0.85 is part of γ_c in EN 1992-1-1: 2004.

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'inserito 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-INSERTO

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 CON INSERTO PRE-INSERTITO - Esecuzione della prova

- Il carico viene incrementato gradualmente fino a produrre la rottura
- Si misura la forza di estrazione F_0
- E' possibile determinare la tensione media di estrazione:

$$f_p = F_0 / A$$

$$A = \frac{\pi}{4} (d_3 + d_2) \sqrt{(d_3 - d_2)^2 + 4h^2}$$

superficie laterale del tronco di cono

La **forza di estrazione media**, riferita ad una zona con caratteristiche omogenee, si ottiene dall'estrazione di un

Numero minimo di inserti = 6 (UNI 9536)

- La distanza minima tra 2 inserti $\geq 6d_2$
- La distanza minima tra un inserto e il bordo libero $\geq 3d_2$

PROVE DI ESTRAZIONE (PULL-OUT)

METODO CON INSERTO PRE-INSERTITO – LOK TEST

Peculiarità del metodo

- E' un metodo di estrazione molto diffuso, conforme ad ASTM C900;
- E' mirato a indagare la qualità superficiale del cls, cui è legata la **durabilità dell'opera**;
- La profondità dell'indagine è fissata a 25 mm (evitare le armature)

Dimensioni degli elementi

- Diametro dello stelo di acciaio = 11 mm;
- Diametro del disco = 25 mm, spessore 8 mm;
- Diametro interno dell'anello = 55 mm

La sperimentazione condotta in Danimarca negli anni '60 ha consentito di fissare il diametro dell'anello di contrasto in 55 mm per far sì che la retta di correlazione abbia pendenza di 45°.

Esempio: Ad una forza di estrazione di **1kN** corrisponde una resistenza cilindrica di **1MPa**

PROVE DI ESTRAZIONE (PULL-OUT)

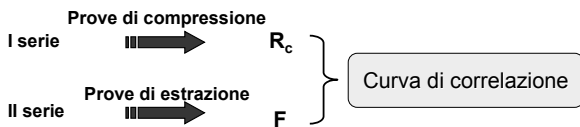
METODO CON INSERTO PRE-INSERTITO - Calibrazione

Secondo UNI 9536

Si confezionano e si portano a maturazione **2 serie di provini cubici** (una delle quali con inserti pre-insertiti)

L'indagine viene eseguita su almeno 4 rapporti A/C

Per ciascun rapporto A/C si confezionano **4+4 provini** (min.)



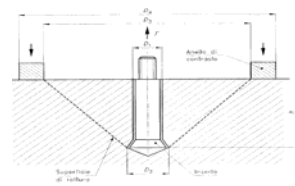
Note:
Tali prove di calibrazione forniscono coefficienti di correlazione superiori a 0,95.

PROVE DI ESTRAZIONE (PULL-OUT)

METODO PER FORATURA

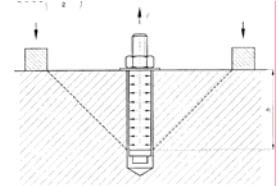
L'inserto è costituito da un elemento metallico che può essere:

1. a espansione geometrica (caso a)



L'inserto si adatta alla cavità del foro senza provocare stati di tensione nel cls. La profondità utile dell'inserto non deve essere minore di 35 mm. Per cls con aggregati di diam. max > 32mm è necessario impiegare inserti più lunghi di 35 mm.

2. a espansione forzata (caso b)



L'inserto si adatta alla cavità del foro, cilindrica in tutta la lunghezza, mediante l'applicazione di una coppia di serraggio, creando un'espansione forzata uniforme su tutta la superficie cilindrica, cui corrisponde uno stato di tensione normale compresa tra 0,1 e 1 MPa.

PROVE DI ESTRAZIONE (PULL-OUT)

METODO PER FORATURA - Esecuzione della prova

- Esecuzione foro cilindrico del cls seguita nel caso a) da un tratto sottoquadro che consente l'espansione libera dell'inserto;
- Installazione dell'inserto e collegamento del dispositivo di carico;
- Il carico viene incrementato gradualmente fino a produrre la rottura del cls con velocità tra 0.8 e 1.2 kN/s;
- Si misura la forza di estrazione F mediante indicatore di picco.

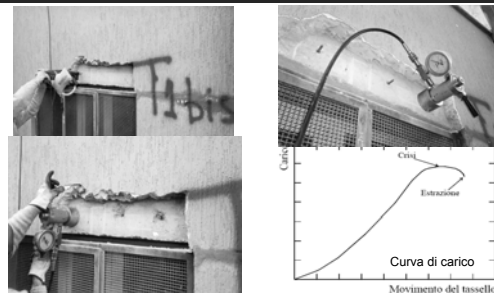
La **forza di estrazione media**, riferita ad una zona con caratteristiche omogenee, si ottiene dall'estrazione di un

Numero minimo di inserti = 3 (UNI 10157)

- La distanza minima tra 2 inserti $\geq 5h$;
- La distanza minima tra un inserto e il bordo libero $\geq 3h$.

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

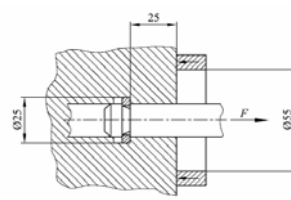


Fase di estrazione



Coni di estrazione

PROVE DI ESTRAZIONE (PULL-OUT) METODO PER FORATURA – Prova secondo EN 12504-3



Diametro esterno dell'anello di contrasto 70mm

- La distanza minima tra 2 inserti ≥ 200 mm;
- La distanza minima tra un inserto e il bordo libero ≥ 100 mm;
- Lo spessore minimo del cls deve essere 100 mm;
- Velocità di prova: 0.5 kN/s

- La posizione degli inserti deve essere tale che le armature siano fuori dalla superficie di rottura conica prevista;

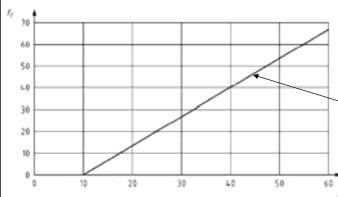
Il numero delle prove necessarie per rappresentare una zona dipende da:

1. Variabilità prevista del cls:

2. Scopo della prova e accuratezza richiesta.

PROVE DI ESTRAZIONE (PULL-OUT) Valutazione della resistenza cilindrica in situ

La Normativa europea EN13791 propone una curva base di correlazione tra



Forza di estrazione F
Resistenza iniziale f_F

$$f_F = 1.33 \cdot (F - 10) \quad 10 \leq F \leq 60$$

Le prove devono essere eseguite in accordo alla EN 12504-3

Per ciascuna prova (min. 9 prove):

1. Si misura la forza di estrazione F
2. Si estraggono carote sui medesimi punti e si eseguono prove di compressione

(curva di corr.) $\Rightarrow f_F$ (res. iniziale)

(in laboratorio) $\Rightarrow f_{c,ls}$ (res. cilindrica in situ)

PROVE DI ESTRAZIONE (PULL-OUT) Valutazione della resistenza cilindrica in situ

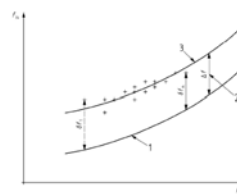
Per ciascuna prova si calcola:

$$\delta f = f_{c,ls} - f_F$$

δf_{med} (valor medio)
 δ (dev. standard)

Si determina

$$\Delta f = \delta f_{med} - k_1 \cdot \delta \quad (k_1 \text{ diminuisce al crescere di } N)$$



Fattore correttivo con cui traslare la curva di correlazione iniziale

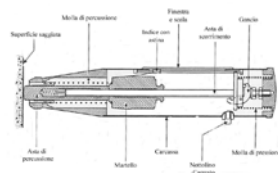
Infine, per avere la stima della resistenza cilindrica in situ:

$$f_{c,ls} = f_F + \Delta f$$

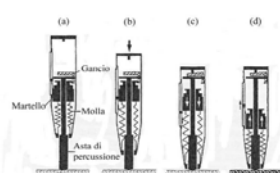
PROVE DI DUREZZA SUPERFICIALE (SCLEROMETRO)

PRINCIPIO DEL METODO

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)

Durezza superficiale e resistenza

I calcestruzzi poco rigidi e resistenti assorbono più energia nell'urto, rispetto a calcestruzzi più rigidi e resistenti, fornendo un valore più basso dell'indice di rimbalzo.

Poiché è possibile per due calcestruzzi con diversa composizione avere la stessa resistenza ma rigidità diversa, si possono ottenere due differenti indici di rimbalzo anche a parità di resistenza.

Ma è anche possibile che due calcestruzzi con diversa resistenza abbiano lo stesso indice di rimbalzo, se la rigidità del meno resistente è maggiore di quella del più resistente.

In conclusione

L'indice sclerometrico è sì correlato alla resistenza del cls ma anche agli altri fattori elencati che influiscono sulla rigidità, pertanto

Una correlazione tra le 2 grandezze è possibile previa calibrazione dello strumento **su provini dello stesso cls di quello da testare.**

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 eseguite.
- 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)

ESECUZIONE DELLA PROVA

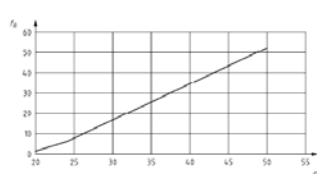
Metodo utilizzato presso Laboratorio Uff. Prove Materiali – Univ. CT

- Vengono eseguite 12 battute per ciascuna area.
- Vengono quindi scartate le 2 misure estreme.
- Ordinando i dieci valori rimanenti in senso crescente vengono inizialmente scartati i valori che presentano uno scarto maggiore di 5 divisioni dal valore minimo.
- Sui valori rimanenti, in numero non minore di 5, viene calcolato un valore medio provvisorio che viene quindi confrontato con i risultati non considerati.
- Quelli tra questi che mostrano uno scarto minore di 5 divisioni rispetto alla media provvisoria vengono utilizzati, insieme a quelli già considerati prima, per il calcolo della media definitiva.

PROVE DI DUREZZA SUPERFICIALE (SCLEROMETRO)

Valutazione della resistenza cilindrica in situ

La Normativa europea EN13791 propone una curva di correlazione tra



- Indice sclerometrico R
 - Resistenza iniziale al rimbalzo f_R
- $$f_R = 1.25 \cdot R - 23 \quad 20 \leq R \leq 24$$
- $$f_R = 1.73 \cdot R - 34.5 \quad 24 \leq R \leq 50$$

Per ciascuna prova (min. 9 prove):

1. Si misura l'indice sclerometrico R (curva di corr.) $\Rightarrow f_R$ (res. iniziale)
2. Si estraggono carote sui medesimi punti e si eseguono prove di compressione (in laboratorio) $\Rightarrow f_{c,ls}$ (res. cilindrica in situ)

PROVE DI DUREZZA SUPERFICIALE (SCLEROMETRO)

Valutazione della resistenza cilindrica in situ

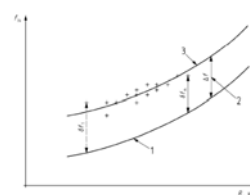
Per ciascuna prova si calcola:

$$\delta f = f_{c,ls} - f_R$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta f_{med} \quad (\text{valor medio}) \\ \delta \quad (\text{dev. standard}) \end{array} \right.$$

Si determina

$$\Delta f = \delta f_{med} - k_1 \cdot \delta \quad (k_1 \text{ diminuisce al crescere di } N)$$



Fattore correttivo con cui traslare la curva di correlazione iniziale

Infine, per avere la stima della **resistenza cilindrica in situ**:

$$f_{c,ls} = f_R + \Delta f$$

PROVE DI DUREZZA SUPERFICIALE (SCLEROMETRO)

Calibrazione (secondo UNI 9189)

Si confezionano e si portano a maturazione almeno **10 provini cubici**

L'indagine deve fornire almeno 3 rapporti A/C (min 30 provini):

