



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI TRAPANI

LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO IN OPERA: LE LINEE GUIDA DEL SERVIZIO
TECNICO CENTRALE E RESPONSABILITÀ CIVILE IN CASO DI ACCERTATA NON CONFORMITÀ

Trapani 6 marzo 2019

“Le linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera e la norma UNI EN 13791”

Relatore: Ing. Santo Mineo

CIMENTO S.r.l. – Laboratorio di diagnostica strutturale



MAaterials and **S**tructures **TE**sting and **R**esearch



Premessa

Lo scopo principale delle **prove eseguite sul calcestruzzo in opera** è quello di individuare, con il maggior grado di affidabilità, il **valore della resistenza a compressione** del materiale per poter:

- nel caso di **nuove strutture**:
 - **accettare o meno un'opera** o parte di essa in caso di non conformità di controlli di accettazione (Direttore dei Lavori)
 - **dichiarare collaudabile una struttura** (Collaudatore);



- nel caso di **strutture esistenti**:

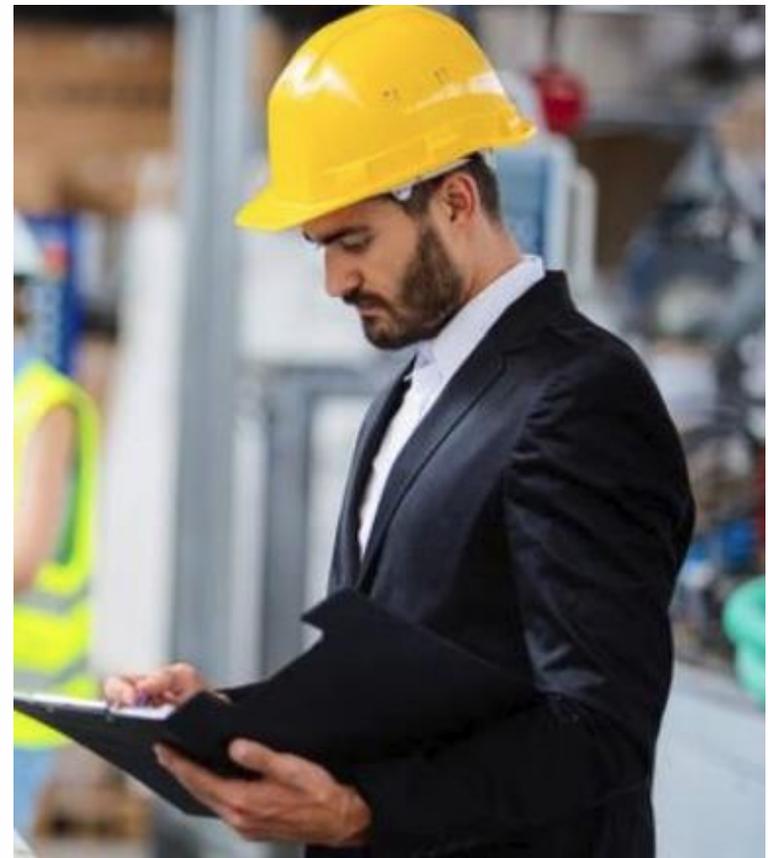
■ **individuare la resistenza di calcolo** da inserire nelle verifiche di sicurezza (Professionista incaricato della verifica di sicurezza di una struttura);

■ **individuare il valore di resistenza residua** a seguito di

aggressioni di tipo chimico (attacco solfatico, reazioni alcali aggregati, etc.) o fisico (incendi, fatica, etc.).



Operare tali scelte implica un alto grado di responsabilità, pertanto ogni procedura posta in essere per risalire al valore della resistenza in opera deve essere eseguita col **più alto rigore tecnico-scientifico applicabile.**



Per determinare le **caratteristiche di resistenza del calcestruzzo in opera** vengono applicate metodologie di **prova distruttive e non distruttive**, secondo procedure normalizzate e richiamate dalle norme tecniche per le costruzioni NTC.



Cosa si intende controllo distruttivo

Per controllo distruttivo o **prova distruttiva (PD)** si intende un esame condotto mediante il prelievo di un campione di materiale da un elemento strutturale e l'**esecuzione di una prova distruttiva** per determinare il valore di una particolare grandezza meccanica del materiale.



Nel caso di calcestruzzo consiste nel prelievo di un campione per sottoporre lo stesso a **prova di compressione sino a rottura**.



Cosa si intende per controlli non distruttivi

Per **controlli non distruttivi** o **prova non distruttiva (PND)** si intende l'insieme di **esami, prove e rilievi** condotti impiegando **metodi che non alterano il materiale** e non richiedono la distruzione o l'asportazione di campioni dalla struttura in esame, o senza comprometterne il suo uso futuro, finalizzati alla ricerca e identificazione di difetti della struttura stessa o di particolari caratteristiche fisiche del materiale di cui la stessa è composta.

Vengono indicati anche con la sigla **NDT**, derivata dall'espressione inglese **Non Destructive Testing**, o la sigla **PnD**, derivata dall'espressione "**Prove non Distruttive**".



Di ampia e consolidata applicazione in **ambito industriale**, in **ambito edilizio e civile** le PnD non hanno avuto la diffusione prevista: la stessa certificazione del personale che esegue le prove è **obbligatoria** per le PnD in ambito industriale ma ancora su base **volontaria** in ambito edilizio e civile.



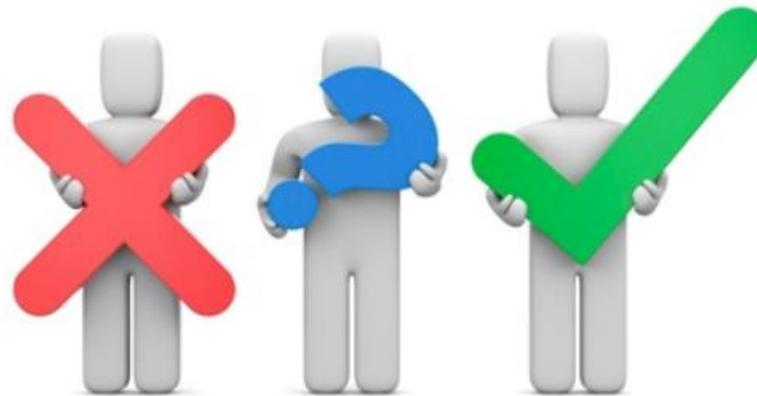
fonte: tec-eurolab.com

Ne consegue un **evidente il ritardo culturale nel settore dell'ingegneria civile sul tema delle PnD ed in generale della diagnostica**, se raffrontato con il campo industriale se non addirittura con il **campo medico** ove la diagnostica per immagini è diventata parte preponderante e fondamentale dell'attività medica.



L'importanza dell'esecuzione delle prove non distruttive da parte di personale qualificato

L'esecuzione di una prova **PnD** ha come obiettivo la **ricerca di difetti o la misura di particolari grandezze fisiche**: dai risultati che ne derivano vengono operate scelte di **ammissibilità o inammissibilità** di un componente o di parte di struttura, con lo scopo di **garantire ed assicurare la sicurezza per l'utenza**.



Ne consegue che **l'operatore PnD**, che poi fornisce il risultato in relazione al quale vengono operate tali scelte, debba possedere una **approfondita conoscenza dei metodi unita all'esperienza maturata sul campo.**



Solo un **serio sistema di certificazione delle qualifiche** può garantire il riconoscimento della competenza tecnica di un operatore PnD.



La certificazione del personale addetto alle PnD, in accordo alla norma UNI EN ISO 9712, prevede un percorso di formazione, il superamento di un esame teorico-pratico, il possesso di esperienza e di idoneità fisica.



La certificazione del personale, con la quale viene attestata da un ente terzo l'abilità dell'operatore PnD ad eseguire le prove nel rispetto della normativa tecnica vigente, secondo un rigido protocollo accettato da tutti gli operatori del settore e con caratteristiche di ripetibilità, costituisce garanzia della qualità del processo e soprattutto dei risultati.



Importantissima novità nel campo della certificazione PnD Civile



MAterials and **ST**ructures **TE**sting and **RE**search

&



UNI/PdR xxx:2019	Certificazione del personale tecnico addetto alle prove non distruttive nel campo dell'ingegneria civile
Sommario	La prassi di riferimento stabilisce le linee guida per la certificazione del personale tecnico addetto alle prove non distruttive (PND) nel campo dell'ingegneria civile, inclusi i beni culturali e architettonici.
Data	2019-02-26



Le **prassi di riferimento UNI/PdR** sono documenti che introducono **prescrizioni tecniche** o modelli applicativi settoriali di norme tecniche, **elaborati sulla base di un rapido processo di condivisione ristretta ai soli autori, e costituiscono una tipologia di documento para-normativo nazionale** che va nella direzione auspicata di trasferimento dell'innovazione e di preparazione dei contesti di sviluppo per le future attività di normazione, fornendo una risposta tempestiva ai mercati in cambiamento.



Le prove distruttive e non distruttive richiamate nelle NTC 2018



Le norme tecniche per le costruzioni richiamano le **prove distruttive e non distruttive** nei capitoli nei quali si tratta di materiale già in opera nella struttura:



Per definire le **caratteristiche meccaniche** di un materiale in opera:

Capitolo 8 - Costruzioni esistenti

8.5.2. Rilievo

8.5.3. Caratterizzazione meccanica dei materiali

Per la formazione del **convincimento della collaudabilità** di un'opera da parte del collaudatore:

Capitolo 9 – Collaudo statico

Per verificare i criteri di **accettabilità di un materiale** in una nuova struttura:

Capitolo 11 – Materiali e prodotti per uso strutturale

11.2. Calcestruzzo

11.2.6. Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera



Le prove su elementi di calcestruzzo in opera per la determinazione della resistenza a compressione in situ

Queste si dividono in due grandi famiglie:

- ***prove distruttive***: consistono nel prelievo in opera, **nell'asportazione, di un campione di materiale** da un elemento strutturale, operazione che arreca un **danno**, seppur contenuto, all'elemento stesso;



- **prove non distruttive e semidistruttive**: consistono nella **misurazione** nell'elemento strutturale in opera di **particolari grandezze fisiche** del materiale, **non arrecando nessun danno** o solo un lievissimo danneggiamento, che **è possibile correlare alla resistenza alla compressione del calcestruzzo**.



fonte: CIMENTO S.r.l.

Le **NTC 2018**, per la modalità di **determinazione della resistenza a compressione in situ**, misurata con tecniche opportune, distruttive e non distruttive, **rimandano**, quale riferimento tecnico, **alle norme della serie UNI EN 12504: “Prove sul calcestruzzo nelle strutture”**

- **UNI EN 12504-1:** *“Carote - Prelievo, esame e prova di compressione”*
- **UNI EN 12504-2:** *“Prove non distruttive - Determinazione dell'indice sclerometrico”*
- **UNI EN 12504-3:** *“Determinazione della forza di estrazione”*
- **UNI EN 12504-4:** *“Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici”*



Le **NTC2018** introducono una **importante novità**: indicano il modo con cui risalire alla **resistenza caratteristica** del calcestruzzo in opera a partire dai risultati delle prove in situ:

*“La resistenza caratteristica in situ va calcolata secondo quanto previsto nella norma **UNI EN 13791:2008**, ai §§ 7.3.2 e 7.3.3, considerando l’**approccio B** se il numero di carote è minore di 15, oppure l’**approccio A** se il numero di carote è non minore di 15, in accordo alle Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo elaborate e pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.”*



Le prove distruttive: uso sapiente e limitato all'indispensabile

Il prelievo di campioni di calcestruzzo indurito mediante carotaggio, che è comunque il metodo di riferimento per la calibrazione (taratura) dei metodi non distruttivi o semi-distruttivi, determina comunque un danno, sia pur localizzato, alla struttura.



Diversi studi condotti in seno al **ReLUIS** (Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica), e in vari dipartimenti delle facoltà di ingegneria italiane hanno accertato che:

- i risultati conseguiti dalle prove di compressione centrata su pilastri a sezione rettangolare e soggetti a carotaggio hanno permesso di evidenziare che **la tecnica di carotaggio produce**, sia nel caso di foro centrato che eccentrico, **disturbo allo stato tensionale e di deformazione**, accompagnato da **significativa riduzione della capacità portante** rispetto al pilastro integro e con ***notevole concentrazione di sforzi sull'apice del foro*** con elevati gradienti di deformazione (1).





Prove di compressione su pilastro integro (sx) e su pilastro carotato (dx)

(Campione-Fossetti-Mangiavillano-Priolo (1))

- la **resistenza massima** degli elementi sottoposti a carotaggio **è minore rispetto alla resistenza massima degli elementi integri e la riduzione è più che proporzionale rispetto alla riduzione della sezione trasversale** a causa delle modalità di collasso dovute alla presenza del foro; (2)
- dall'andamento tensionale che si riscontra **dopo il riempimento del foro**, la sperimentazione condotta ha mostrato che **le tensioni non passano più attraverso la carota**, ma passano lateralmente ad essa. Da ciò si deduce che non si ha un ripristino della situazione precedente al carotaggio.



3 Carotati



6 Integri



2 Carotati e Ripristinati



Prove di compressione su pilastri carotati (sx) integri (centro) e ripristinati (dx)

(Masi-Vona-Cugno (2))

Per poter rimediare alle conseguenze delle operazioni di carotaggio **bisognerebbe:**

- cercare di **carotare il pilastro scarico**, scaricandolo tramite dei martinetti idraulici;
- **riempire** il foro lasciato dalla carota **a pilastro scarico**;
- **ricaricare** il pilastro solamente **a malta indurita**.

Naturalmente operazioni non realizzabili sugli elementi strutturali in opera!



Le indicazioni fornite dal Servizio Tecnico Centrale CSLP



*Consiglio Superiore
dei Lavori Pubblici*

***“Linee guida per la valutazione delle caratteristiche del
calcestruzzo in opera” (Ed. Settembre 2017)***



Una linea guida è un insieme di raccomandazioni sviluppate sistematicamente, sulla base di conoscenze continuamente aggiornate e valide, redatto allo scopo di rendere appropriato, e con un elevato standard di qualità, un comportamento desiderato.

Le linee guida **edite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore LL.PP.** sono **finalizzate alla promozione del miglioramento della qualità dei prodotti e dei processi costruttivi.**

Fra queste vi sono le **“Linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera”** (Ed. Settembre 2017)



Tale documento si aggiunge alla "**collana**" di **Linee guida emanate dal Consiglio Superiore dei lavori pubblici riguardante il calcestruzzo strutturale**:

- *Linee guida sul calcestruzzo strutturale*
- *Linee guida sui calcestruzzi strutturali ad alta resistenza*
- *Linee guida relative alla produzione, al trasporto e al controllo del calcestruzzo preconfezionato*

e contribuisce al **perseguimento di un'azione normativa** tesa a migliorare la sicurezza strutturale, nonché l'affidabilità dei materiali e dei relativi sistemi costruttivi.



Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici **elabora**, attraverso commissioni di studio, **proposte di normativa tecnica nel settore della sicurezza delle costruzioni** anche in zona sismica nonché le relative circolari esplicative.

Il Consiglio Superiore **predispone, altresì, le linee guida** e gli studi tecnici di carattere generale e normativo, nonché di ricerca sperimentale in materia di opere pubbliche, pubblica incolumità e sicurezza delle costruzioni, trasporti, infrastrutture e assetto del territorio.



Tali linee guida rappresentano norme di indirizzo, quindi, non cogenti, che costituiscono strumenti di supporto alle diverse attività che caratterizzano il settore delle costruzioni dalla produzione dei materiali, alla loro messa in opera, ai controlli in corso d'opera e finali.

Tuttavia le linee guida, assieme alle norme UNI EN, dal momento che sono più volte richiamate dalle NTC e dalla Circolare Esplicativa, assumono, nel contesto in cui sono richiamate, valore di cogenza.



Le “Linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera” (Ed. Settembre 2017) si sviluppano in 4 capitoli:

1. GENERALITÀ
2. CONTROLLO DELLA RESISTENZA DEL CALCESTRUZZO IN OPERA
3. VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO IN OPERA MEDIANTE CAROTAGGIO
4. METODI INDIRETTI PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL CALCESTRUZZO IN OPERA



Il documento ha l'obiettivo di :

- **fornire indicazioni finalizzate a normalizzare le procedure;**
- **evitare errori riconducibili a procedure improprie** che possano pregiudicare le attese, in termini di resistenza e di durabilità, alla base del progetto;
- **scongiurare gli errori derivanti dalla inappropriata interpretazione dei risultati delle prove distruttive e non.**



Nello spirito di fornire agli operatori del settore uno strumento conoscitivo e operativo il più possibile organico, funzionale e corretto sotto il profilo tecnico-scientifico, **sono stati evidenziati i limiti e le precauzioni nell'applicazione di ciascuno dei metodi indiretti** per la valutazione della resistenza meccanica in situ che a volte, nell'uso corrente, viene affidata a generici grafici di correlazione forniti dal fabbricante a corredo delle apparecchiature di prova. **Richiamano inoltre l'attenzione** sul paragrafo relativo alle prescrizioni generali per il **collaudo statico che, tra gli accertamenti discrezionali "utili per formarsi il convincimento della sicurezza di un'opera"**, cita il ricorso alle prove non **distruttive.**



Le Linee Guida si applicano prevalentemente al calcestruzzo per uso strutturale, armato e non, ordinario e precompresso, usualmente impiegato nelle costruzioni.



Talune disposizioni, laddove applicabili, restano comunque valide anche per numerosi altri tipi di calcestruzzo conosciuti ed utilizzati quali ad esempio: calcestruzzo leggero, calcestruzzo fibrorinforzato, calcestruzzo autocompattante, calcestruzzo proiettato, ecc.



Gli ambiti di applicazione e quindi le finalità delle Linee Guida fanno riferimento a due diverse fattispecie:

a) il caso in cui, con riferimento al **Capitolo 11** delle vigenti Norme tecniche per le costruzioni, sia necessario verificare l'idoneità di un calcestruzzo messo in opera in relazione ai requisiti richiesti alla struttura, ovvero alla ***resistenza caratteristica prevista in progetto***. In tale fattispecie l'obiettivo è quindi solo quello di **verificare l'accettabilità del calcestruzzo messo in opera controllando che la resistenza caratteristica strutturale in opera sia non inferiore ad una percentuale prestabilita della resistenza caratteristica potenziale prevista in progetto** (0,85 Rck).



b) il caso in cui, con riferimento al **Capitolo 8** delle vigenti Norme tecniche per le costruzioni, **sia necessario determinare il valore della resistenza media** del cls da utilizzare ai fini della valutazione della sicurezza di una struttura esistente.

Nel caso di costruzioni esistenti, non si farà riferimento ai valori caratteristici della resistenza f_{ck} ed R_{ck} , bensì si calcoleranno i valori medi cilindrici $f_{m(n)is}$ o cubici $R_{m(n)is}$, ai quali andranno applicati i “fattori di confidenza” che ridurranno preliminarmente, in base al livello di conoscenza conseguito nelle indagini conoscitive, i valori medi di resistenza dei materiali della struttura esistente.



I metodi più semplici e che arrecano il minor danno alle superfici delle strutture, quali l'***indice di rimbalzo*** e la ***velocità di propagazione***, basati su fattori di correlazione, ***richiedono***, per la stima della resistenza, ***calibrazioni complesse***, mentre ***l'indagine mediante carotaggio, salvo il ricorso ad alcuni coefficienti correttivi, non richiede una vera e propria correlazione*** per l'interpretazione dei dati, anche se ***per contro determina un danno, sia pur localizzato, alla struttura*** ed è, evidentemente, più lenta ed onerosa.

Il carotaggio è comunque il metodo di riferimento per la calibrazione (taratura) di tutti i metodi non distruttivi o semi-distruttivi.



Nella tabella seguente sono riportati, in maniera sintetica ed a scopo esemplificativo, i **vantaggi** e gli **svantaggi** dei più comuni metodi d'indagine.

Metodo di prova	Costo	Velocità di esecuzione	Danno apportato alla struttura	Rappresentatività dei dati ottenuti	Correlazione fra grandezza misurata e resistenza del cls
Carotaggio	Elevato	Lento	Moderato	Buona	Ottima
Indice di rimbalzo	Molto basso	Veloce	Nessuno	Interessa solo la superficie (1)	Debole
Velocità di propagazione di ultrasuoni	Basso	Veloce	Nessuno	Buona, se la prove è ben calibrata. Riguarda tutto lo spessore	Debole Da calibrare caso per caso (2)
Estrazione di inserti	Moderato	Veloce	Limitato	Interessa solo la superficie	Buona (3)
Resistenza alla penetrazione	Moderato	Veloce	Limitato	Interessa solo la superficie	Debole



VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO IN OPERA MEDIANTE CAROTAGGIO

Le linee guida prevedono che le operazioni di **estrazione e lavorazione dei campioni (carote) vengano eseguite secondo le procedure normalizzate** (norma UNI EN 12504-1 e norme della serie UNI EN 12390), e forniscono particolari avvertenze per una **corretta estrazione del campione**, raccomandandone **limiti geometrici ed accorgimenti operativi**, il tutto al fine di evitare di incappare in risultati non coerenti, dispersi e non significativi.



A differenza delle precedenti edizioni delle linee guida, nell'edizione 2017, oltre a riconoscere che la resistenza in opera si differenzia dalla resistenza potenziale ricavata su provini normalizzati (0,85 Rck), **al fine di stimare la resistenza meccanica in situ mediante carotaggi viene riconosciuto l'effetto del disturbo causato dalle operazioni di prelievo mediante carotaggio**: detensionamento del campione, annullamento del confinamento degli aggregati, deterioramento del legame all'interfaccia legante-aggregato dovuto alle azioni meccaniche di prelievo.



Questa riduzione di resistenza deve essere considerata nel calcolo della resistenza strutturale, tramite l'introduzione di un coefficiente moltiplicativo detto **Fattore di disturbo F_d** che decresce all'aumentare della resistenza f_{carota} rilevata sulla specifica carota.

Suggerisce quindi di adottare i valori riportati nella Tabella seguente (tratti da letteratura):

f_{carota} [N/mm ²]	10	20	25	30	35	40
F_d	1.10	1.09	1.08	1.06	1.04	1.00

*Tabella del fattore di disturbo in funzione della resistenza a compressione delle carote
($h/d=1$; $d=100$ mm)*



Le linee guida richiamano inoltre la norma UNI EN 12504-1 la quale prevede che:

- se la **resistenza potenziale è espressa in valori cubici**, l'eventuale determinazione della resistenza strutturale va effettuata su **campioni ricavati da carote aventi rapporto $h/d = 1$** ;
- se invece la **resistenza potenziale è espressa in valori cilindrici**, l'eventuale determinazione della resistenza strutturale va effettuata su **campioni ricavati da carote aventi rapporto $h/d = 2$** .



Pertanto, il valore della resistenza strutturale di ciascuna carota si determina come segue:

$$f_{\text{carota}} * F_d = R_{c,is}$$

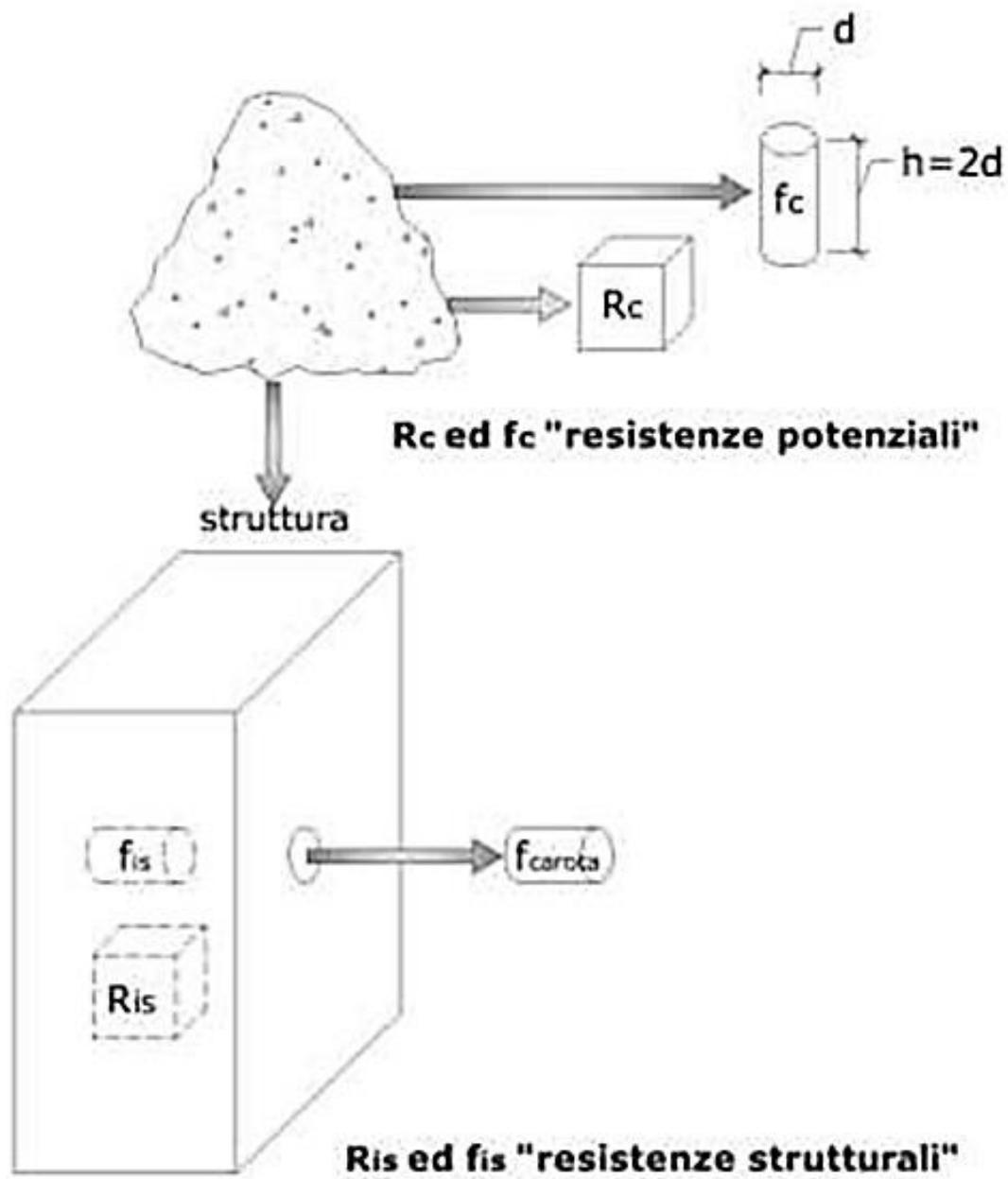
nel caso di provini ottenuti da carote con rapporto $h/d=1$

$$f_{\text{carota}} * F_d = f_{c,is}$$

nel caso di provini ottenuti da carote con rapporto $h/d=2$

(Fd ??? di quale tabella ????)





METODI INDIRETTI PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL CALCESTRUZZO IN OPERA

I *metodi indiretti (PnD)* si basano tutti sul principio della **correlabilità tra parametri misurabili**, riferiti alle porzioni più superficiali del calcestruzzo, e le caratteristiche meccaniche del materiale in opera, **e** più precisamente **la resistenza a compressione**.



In considerazione della ***dispersione che spesso caratterizza l'impiego di tali metodi*** è importante sottolineare come la **riproducibilità e ripetibilità dei risultati sia possibile solo se viene garantita l'esecuzione delle prove da personale qualificato** (e la qualifica viene garantita soltanto dalla certificazione della stessa), con attrezzature efficienti, ovvero regolarmente sottoposte a taratura e manutenzione, nel rigoroso rispetto delle specifiche tecniche di settore.



Metodo Method	N° Certificato N° Certificate	Data di Rilascio Date of Issue	Data di Scadenza Expiry Date
SC	PnD-CIV -0185	20/mag/2016	19/mag/2021
MG	PnD-CIV -0186	20/mag/2016	19/mag/2021
UT	PnD-CIV -0187	20/mag/2016	19/mag/2021
MO	PnD-CIV -0188	20/mag/2016	19/mag/2021

Data/date: 20/mag/2016
 Firma Operatore: Chief Operating Officer
 Giampiero Belcredi

ACCREDIA
 LEV. ITALIANO D'ACCREDITAMENTO

SOQ N° 007A PSM N° 0041
 SGA N° 0100 PMS N° 009C
 PRD N° 009B LAB N° 0001
 SSI N° 006G LAT N° 002

Membro degli Accordi di Mutuo Riconoscimento EA, IAF e ILAC
 Signatory of EA, IAF and ILAC Mutual Recognition Agreements

KIWA CERMET ITALIA S.p.A. - Società con socio unico, soggetta all'attività di direzione e coordinamento di Kiwa Italia Holding Srl
 Via Cadriano, 23 - 40057 Cadriano di Granarolo (BO)

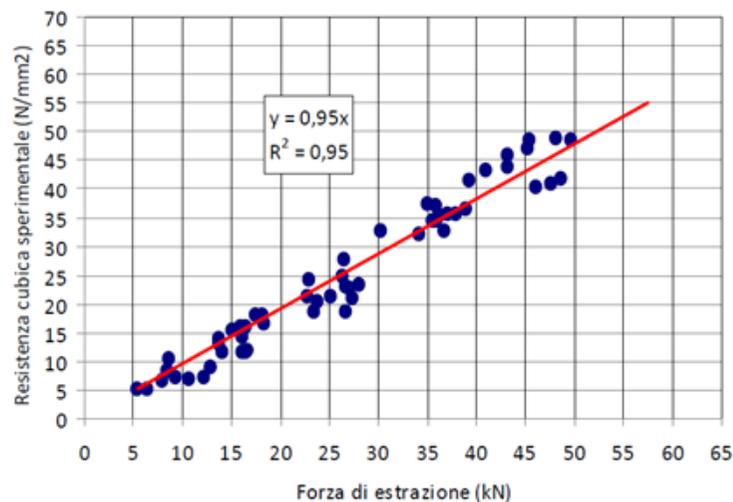


In relazione alle svariate tipologie di calcestruzzi, con caratteristiche tecniche molto diverse fra loro (basti pensare ai calcestruzzi leggeri, calcestruzzi aerati, SCC ecc., ma anche a ***calcestruzzi ordinari ma confezionati con inerti di differente natura***), la correlabilità tra i parametri sopracitati non può essere definita da leggi e formulazioni univoche ma **deve sempre tenere conto delle caratteristiche tecniche del materiale che si va ad investigare.**

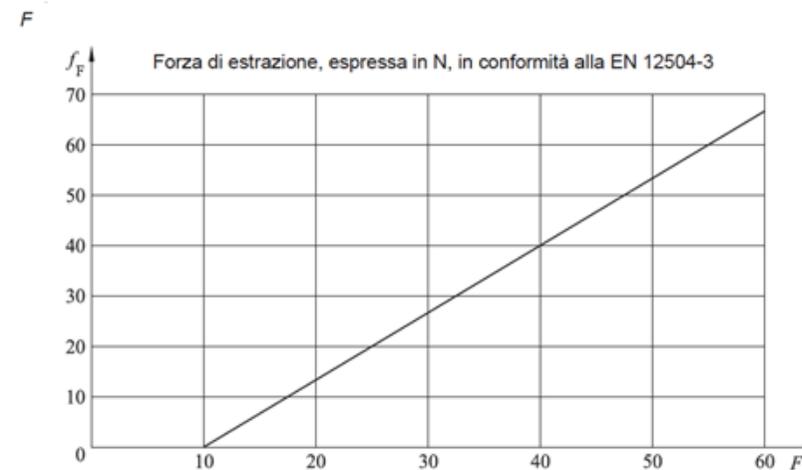


È opportuno, quindi, precisare che *l'uso di questi metodi deve essere limitato ai casi in cui sia nota la legge di correlazione tra il parametro misurato e la specifica tipologia di calcestruzzo in esame*: la stessa norma **UNI EN 13791** fornisce le indicazioni su come ricavare queste correlazioni.

Curva ricavata mediante regressione lineare



Curva di base fornita dalla UNI EN 13791



In assenza di ciò le stime possono servire solo come ***confronto dei risultati con valori noti*** e ad ***evidenziare eventuali anomalie e difformità*** rispetto a valori tipici.

Tabella per una stima qualitativa sulla resistenza del cls mediante ultrasuoni

Velocità (m/sec)	Giudizio
$V < 3000$	Molto scadente
$3000 < V < 3400$	Scadente
$3400 < V < 3900$	Discreto
$3900 < V < 4500$	Buono
$4500 < V$	Ottimo



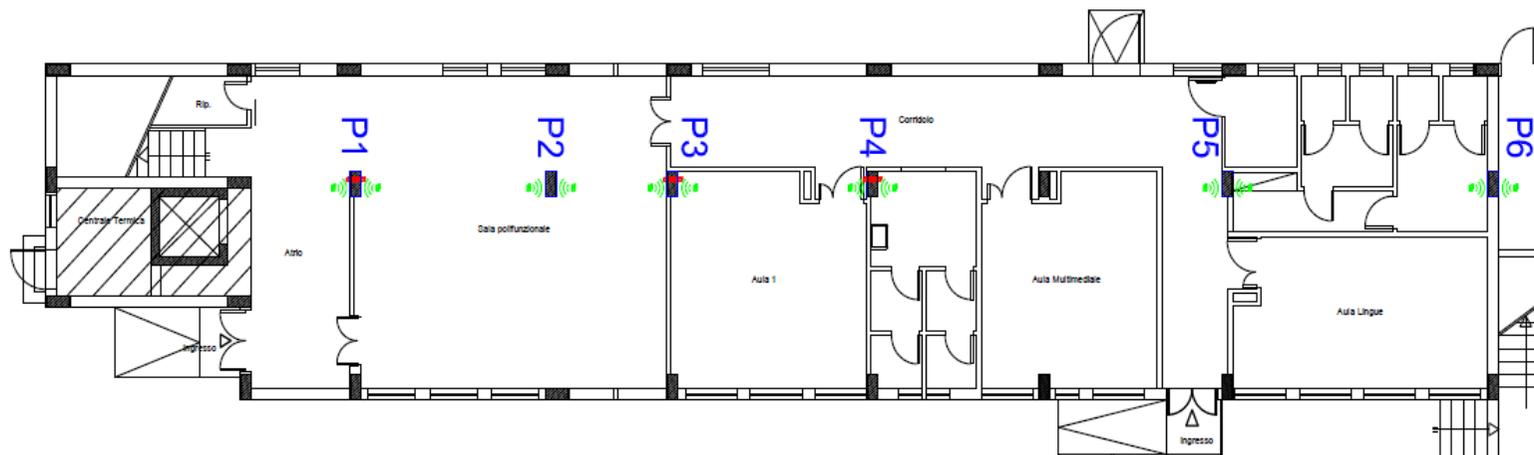
Poiché, come già detto, **la stima della resistenza meccanica in opera mediante i metodi non distruttivi comporta l'utilizzo di correlazioni** tra il parametro non distruttivo proprio del metodo impiegato e la resistenza a compressione del calcestruzzo in esame, **la legge di correlazione può essere determinata utilizzando un adeguato numero di campioni, ottenuti mediante carotaggio, sottoposti ad indagine non distruttiva prima della loro rottura**, oppure facendo uso di correlazioni standard già disponibili in letteratura per il metodo utilizzato. In questo secondo caso i valori di resistenza stimati possono essere resi più affidabili moltiplicandoli per un opportuno coefficiente correttivo desunto dal confronto con un numero ridotto di prove a compressione su provini ottenuti per carotaggio.



I metodi indiretti ***non eliminano la necessità del prelievo di carote, ma la numerosità di queste ultime può essere opportunamente ridotta*** quando si devono valutare grandi volumi di getto.



Una **preliminare campagna** di analisi con metodi indiretti consente di **programmare le posizioni di prelievo** delle carote, anche **sulla base del grado di omogeneità** del volume di calcestruzzo in esame, ed eventualmente di **suddividere l'area in esame in lotti** entro i quali sia possibile definire statisticamente l'omogeneità del calcestruzzo.



E' evidente come **la ripetibilità e riproducibilità**, dei risultati dipendano in gran parte:

- **dalla qualità delle attrezzature** (calibrazione e manutenzione periodica e documentata),
- **dalla esperienza e dalla formazione ed addestramento del personale che esegue le prove,**
- **dal rispetto rigoroso**, da parte di operatori diversi, **di una stessa procedura di prova** definita da norme standard ove esistenti.



Certificato

Kiwa Cermet Italia S.p.A.
Società con socio unico, soggetta
all'attività di direzione e coordinamento
di Kiwa Italia Holding Srl
Via Castrano, 23
40057 Cadriano di Granarolo (BO)
Tel +39 051 499.3.111
Fax +39 051 703.340
E-mail info@kiwacermet.it
www.kiwacermet.it

CERMET



Reg. Numero	PnD-CIV -0185	Revisione	RINNOVO
Data di rilascio	20/05/2016	Data di ultima modifica	20/05/2016
Data di prossimo rinnovo	19/05/2021	Inizio validità (data superamento Esame)	20/05/2016

Sistema di Gestione della Certificazione del Personale sviluppato da
Kiwa Cermet Italia in conformità alla norma ISO/IEC 17024

Si dichiara che il tecnico:

Santo Mineo

Nato a:
Palermo
It:
10/07/1973
Documento di riconoscimento:
AT 7199736

ha superato positivamente il processo di valutazione in accordo ai requisiti dello
schema e pertanto è certificato quale

PERSONALE TECNICO ADDETTO ALLE PROVE NON DISTRUTTIVE (PND)

alle condizioni sotto riportate:

Livello: 3
Per il metodo PND: SOLEROMETRIA (SC)
Per il settore: INGEGNERIA CIVILE, BENI CULTURALI ED ARCHITETTONICI

Il presente certificato viene rilasciato in conformità al Regolamento Kiwa Cermet Italia
PG_PRS_Schema QUALIFICAZIONE E CERTIFICAZIONE DEL PERSONALE
TECNICO ADDETTO ALLE PROVE NON DISTRUTTIVE (PND) NEL CAMPO
DELL'INGEGNERIA CIVILE E SUI BENI CULTURALI ED ARCHITETTONICI

Il mantenimento della certificazione è soggetto a sorveglianza e subordinato al rispetto dei requisiti
contrattuali Kiwa Cermet Italia.
Il presente certificato è costituito da 1 pagina.

Autorizzazione ad operare dal datore di lavoro

Chief Operating Officer
Giampiero Belcredi



MEMBRO DEGLI ACCORDI DI MUTUA RICONOSCIMENTO EA, IAP e ILAC
SIGNATORY OF EA, IAP AND ILAC MUTUAL RECOGNITION AGREEMENTS

ISO 9001
PND N° 0008
PND N° 0009
PND N° 0010
PND N° 0011
PND N° 0012
PND N° 0013
PND N° 0014
PND N° 0015
PND N° 0016
PND N° 0017
PND N° 0018
PND N° 0019
PND N° 0020
PND N° 0021
PND N° 0022
PND N° 0023
PND N° 0024
PND N° 0025
PND N° 0026
PND N° 0027
PND N° 0028
PND N° 0029
PND N° 0030
PND N° 0031
PND N° 0032
PND N° 0033
PND N° 0034
PND N° 0035
PND N° 0036
PND N° 0037
PND N° 0038
PND N° 0039
PND N° 0040
PND N° 0041
PND N° 0042
PND N° 0043
PND N° 0044
PND N° 0045
PND N° 0046
PND N° 0047
PND N° 0048
PND N° 0049
PND N° 0050
PND N° 0051
PND N° 0052
PND N° 0053
PND N° 0054
PND N° 0055
PND N° 0056
PND N° 0057
PND N° 0058
PND N° 0059
PND N° 0060
PND N° 0061
PND N° 0062
PND N° 0063
PND N° 0064
PND N° 0065
PND N° 0066
PND N° 0067
PND N° 0068
PND N° 0069
PND N° 0070
PND N° 0071
PND N° 0072
PND N° 0073
PND N° 0074
PND N° 0075
PND N° 0076
PND N° 0077
PND N° 0078
PND N° 0079
PND N° 0080
PND N° 0081
PND N° 0082
PND N° 0083
PND N° 0084
PND N° 0085
PND N° 0086
PND N° 0087
PND N° 0088
PND N° 0089
PND N° 0090
PND N° 0091
PND N° 0092
PND N° 0093
PND N° 0094
PND N° 0095
PND N° 0096
PND N° 0097
PND N° 0098
PND N° 0099
PND N° 0100

A tale garanzia quindi è ***necessario*** che tutti gli operatori che eseguono le prove, intesi sia come personale di società specializzate di settore che come singoli professionisti, siano in possesso dei requisiti sopradescritti, documentati e certificati.



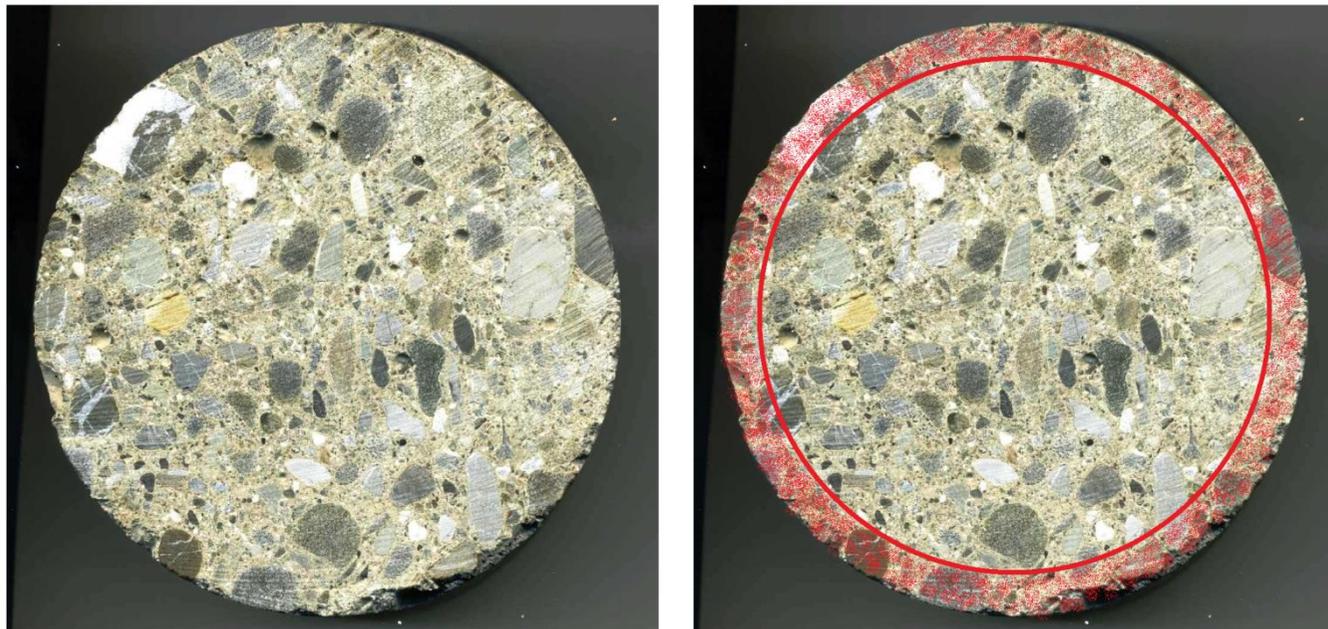
Valutazione della resistenza del cls in opera

L'aspetto che immediatamente viene all'occhio è che vi è un sostanziale differenza tra le due famiglie di prove: **le prove distruttive (PD)**, ovvero i carotaggi, **sono onerose, invasive e producono comunque un danno all'elemento strutturale**, e pertanto non è possibile estendere la stessa ad un gran numero di elementi strutturali: **le prove non distruttive (PnD)**, meno onerose e che **non arrecano danno all'elemento, è possibile estenderle ad un gran numero di elementi strutturali**, ma da sole non sono applicabili per definire direttamente le caratteristiche meccaniche dell'elemento, e **necessitano comunque di correlazione con prove distruttive.**



Tuttavia i risultati ottenuti dalle **prove a compressione** sugli elementi prelevati mediante carotaggio, **sono affetti da due importanti incertezze:**

- la prima legata all'operazione di carotaggio in se: ***fenomeni di danneggiamento del campione in fase di prelievo*** e trasporto o diffusa fessurazione del materiale



La zona esterna al cerchi rosso è stata disturbata dall'operazione di carotaggio: la sezione resistente risulterà inferiore di quella nominale della carota

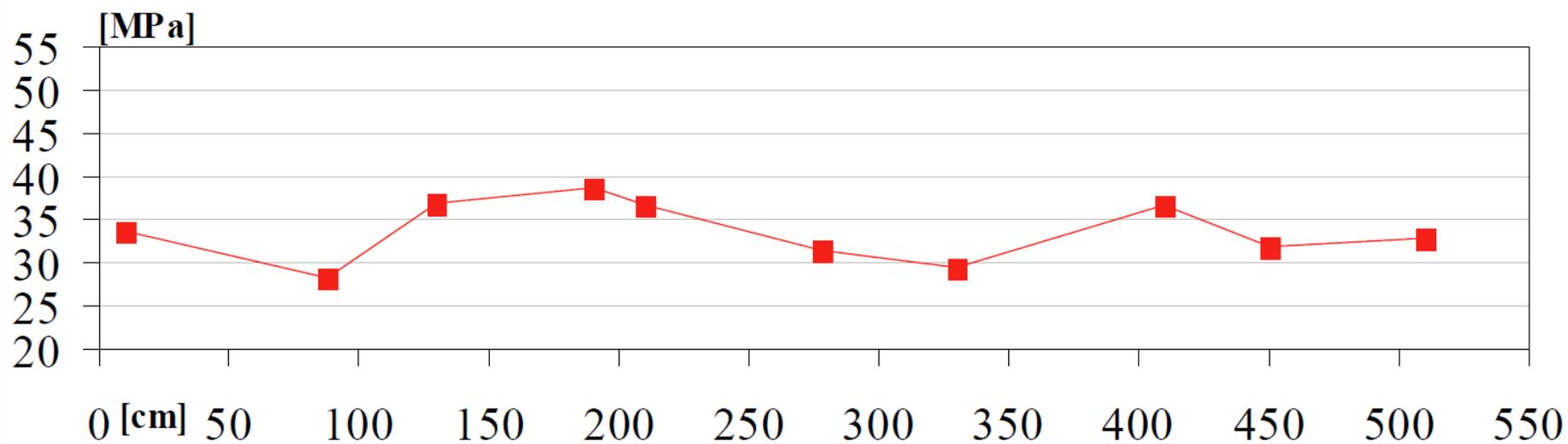
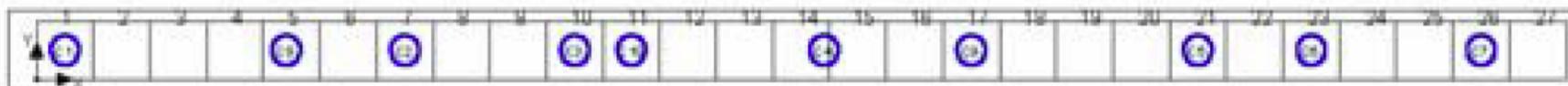
Fonte: CIMENTO S.r.l.



- la seconda legata alla ***variabilità della resistenza a compressione*** del calcestruzzo ***lungo uno stesso elemento strutturale*** (trave, pilastro)

Ne consegue che **il campione** prelevato con la prova distruttiva **possa rivelarsi non rappresentativo** del materiale di cui si cercano le caratteristiche meccaniche.





Distribuzione delle resistenze a compressione f_c su carote estratte da una trave (3)

(Masi, Dolce, Vona, Nigro, Pace, Ferrini)



Le **prove non distruttive**, invece, se da sole consentono soltanto una comparazione qualitativa del materiale in esame, **consentendo** fra l'altro **l'individuazione in una stessa struttura di classi omogenee di calcestruzzo**, l'uso delle stesse può risultare estremamente utile per:

- **pianificare una corretta campagna di prelievi individuando i punti rappresentativi per il campionamento** sia in un singolo elemento strutturale, sia in aree di calcestruzzo omogenee;



- **verificare se il risultato su carota è verosimile** o affetto dalle incertezze legate all'operazione di carotaggio (operazioni non corrette di prelievo e trattamento del campione);



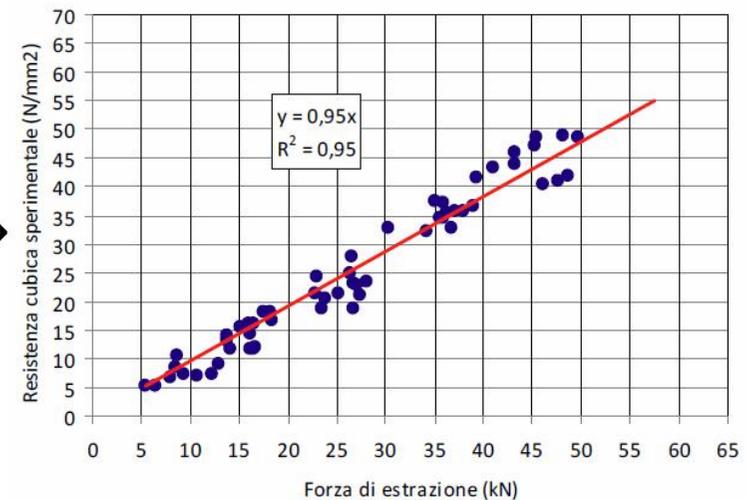
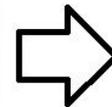
f_c

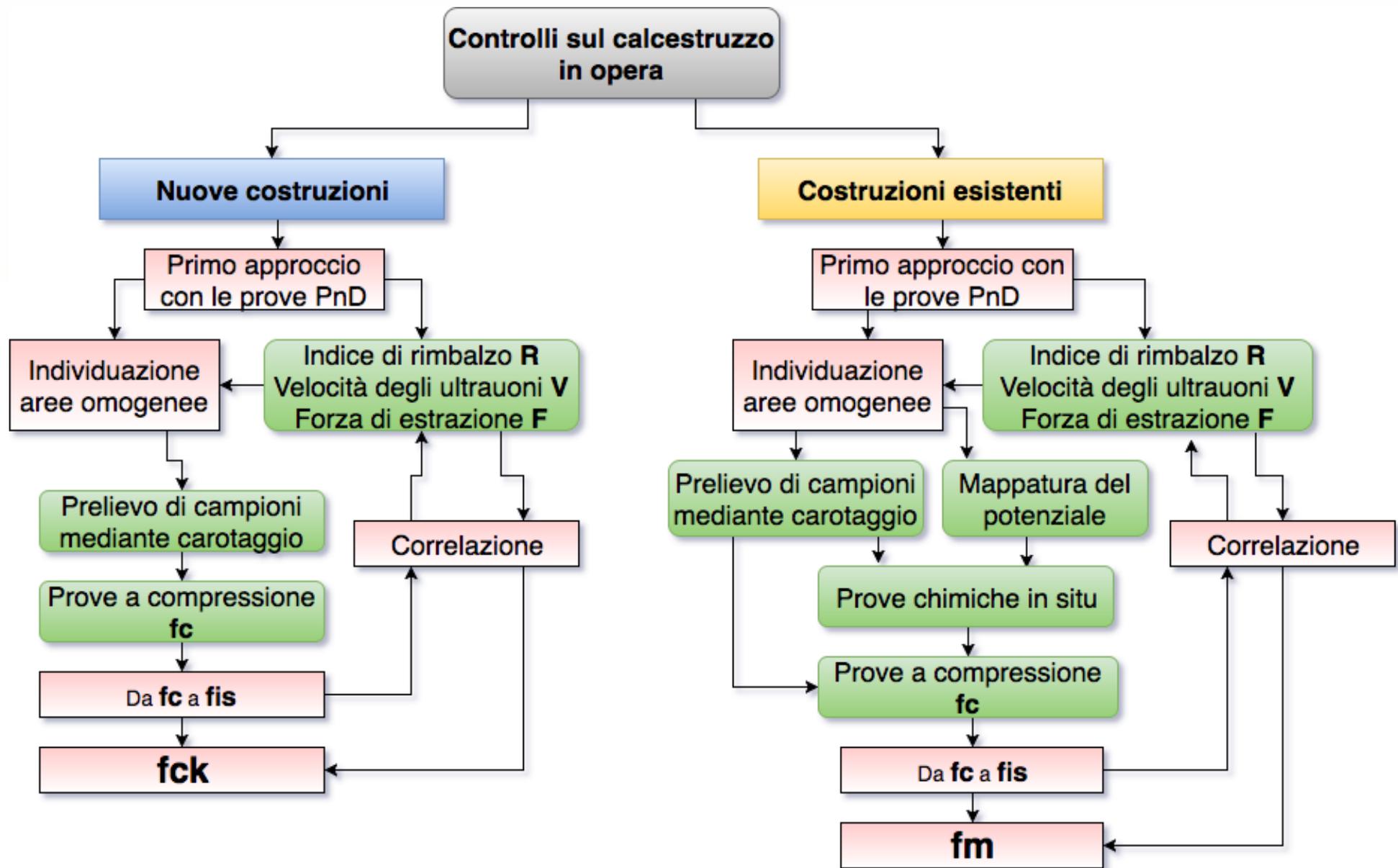


- risalire ad una correlazione **Valori Pnd – Resistenza in situ** (dalla resistenza su carota) che ampliando la popolazione dei risultati della campagna di indagine **consentono una migliore individuazione della resistenza di calcolo** da utilizzare nelle verifiche di sicurezza.

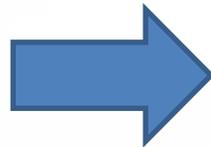


+





La valutazione della resistenza caratteristica a compressione in sito mediante metodi indiretti (prove non distruttive): la Norma UNI EN 13791:2008 richiamata dalle NTC 2018



NORMA
EUROPEA

Valutazione della resistenza a compressione in sito
nelle strutture e nei componenti prefabbricati di
calcestruzzo

UNI EN 13791

GENNAIO 2008

In accordo con le linee guida del Servizio Tecnico Centrale (in rosso le
modifiche riportate nelle linee guida)



La norma **UNI EN 13791**:

- ⇒ **fornisce metodi e procedimenti per la valutazione della resistenza a compressione in sito del calcestruzzo** nelle strutture e nei componenti di calcestruzzo prefabbricato;
- ⇒ **fornisce principi e linee guida per la definizione delle relazioni** esistenti tra risultati di prova ottenuti con metodi di prova indiretti e resistenza su carote prelevate in sito;
- ⇒ **fornisce linee guida per la valutazione della resistenza a compressione** in sito nelle strutture o nei componenti di calcestruzzo prefabbricato **mediante metodi indiretti o combinati**.



La valutazione della resistenza a compressione in sito rilevata direttamente da ***prove su carote costituisce il metodo di riferimento.***



La valutazione della ***resistenza a compressione in sito***, tuttavia, può essere rilevata anche ***indirettamente mediante prove di diverso*** tipo oppure mediante una combinazione di metodi di prova diversi.



RESISTENZA CARATTERISTICA A COMPRESSIONE IN SITO RISPETTO ALLA CLASSE DI RESISTENZA A COMPRESSIONE

Resistenza caratteristica minima a compressione in sito per le classi di resistenza a compressione della EN 206-1

Classe di resistenza a compressione secondo la EN 206-1	Rapporto di resistenza caratteristica in sito rispetto alla resistenza caratteristica dei provini normalizzati	Resistenza caratteristica minima in sito N/mm ²	
		f _{ck} , is, cyl	f _{ck} , is, cube
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



VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA CARATTERISTICA A COMPRESSIONE IN SITO MEDIANTE PROVE SU CAROTE (UNI EN 13971)

I provini, ossia le carote di cls indurito, devono essere prelevate, esaminate e preparate in conformità alla EN 12504-1 quindi sottoposte a prova in conformità alla EN 12390-3.

La valutazione della resistenza a compressione in sito *per motivi statistici e di sicurezza* dovrebbe servirsi del maggior numero possibile di carote.

La valutazione della resistenza a compressione in sito di una particolare zona di prova deve basarsi su almeno 3 carote. (4 secondo le linee guida)

Devono essere considerate tutte le implicazioni strutturali derivanti dal prelievo di carote, come indicato nella EN 12504-1.

In relazione alla numerosità delle carote rilevate, il valore della resistenza caratteristica in situ viene determinata secondo due approcci: **approccio A (statistico)** e **approccio B (forfettario)**.



L'approccio A (**statistico**) si applica quando sono disponibili almeno 15 carote.

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k_2 \times s$$

oppure

$$f_{ck,is} = f_{is,lowest} + 4$$

dove:

- **n** è il numero di campioni prelevati;
- **f_{m(n),is}** è il valore medio della resistenza a compressione degli n campioni
- **f_{is,lowest}** è il valore minore fra le resistenze degli n campioni
- **s** è lo scarto tipo dei risultati di prova (oppure 2,0 N/mm², quale che sia il valore maggiore **presente nella norma ma non nelle linee guida**);
- **k₂** è indicato nelle disposizioni nazionali oppure, in caso di mancata indicazione dei valori, considerato pari a **1,48** (**confermato dalle linee guida**).



L'approccio B (**forfettario**) si applica quando sono disponibili da 3 (**4**) a 14 carote.

La resistenza caratteristica in sito stimata della zona di prova è il valore più basso tra:

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k$$

oppure

$$f_{ck,is} = f_{is,lowest} + 4$$

Il margine **k** dipende dal numero **n** di risultati di prova, secondo la seguente tabella:

n	k
Da 10 a 14	5
Da 7 a 9	6
Da 3 a 6	7

(Da 4 a 6 secondo le linee guida)



VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA CARATTERISTICA A COMPRESSIONE IN SITO MEDIANTE METODI INDIRETTI

Le *prove indirette* rappresentano delle *alternative alle prove su carota* per valutare la resistenza a compressione in sito del calcestruzzo in una struttura *o possono integrare* i dati ottenuti da un numero esiguo di carote.

I metodi indiretti sono per natura semidistruttivi o non distruttivi.

Le prove con metodo indiretto consistono nella misurazione di una proprietà diversa dalla resistenza. Pertanto, *è necessario poi stabilire una relazione tra risultati delle prove indirette e resistenza a compressione delle carote.*



Alternativa 1 - Correlazione diretta con carote

Vengono descritti i procedimenti applicabili su una base generale alla valutazione della resistenza a compressione in sito, ***qualora si definisca per il calcestruzzo in questione una relazione specifica tra resistenza a compressione in sito e risultati di prova ottenuti mediante metodo indiretto.***

L'alternativa 1 richiede almeno 18 risultati di prova su carota per definire la relazione tra resistenza a compressione in sito e risultato di prova ottenuto mediante metodo indiretto.

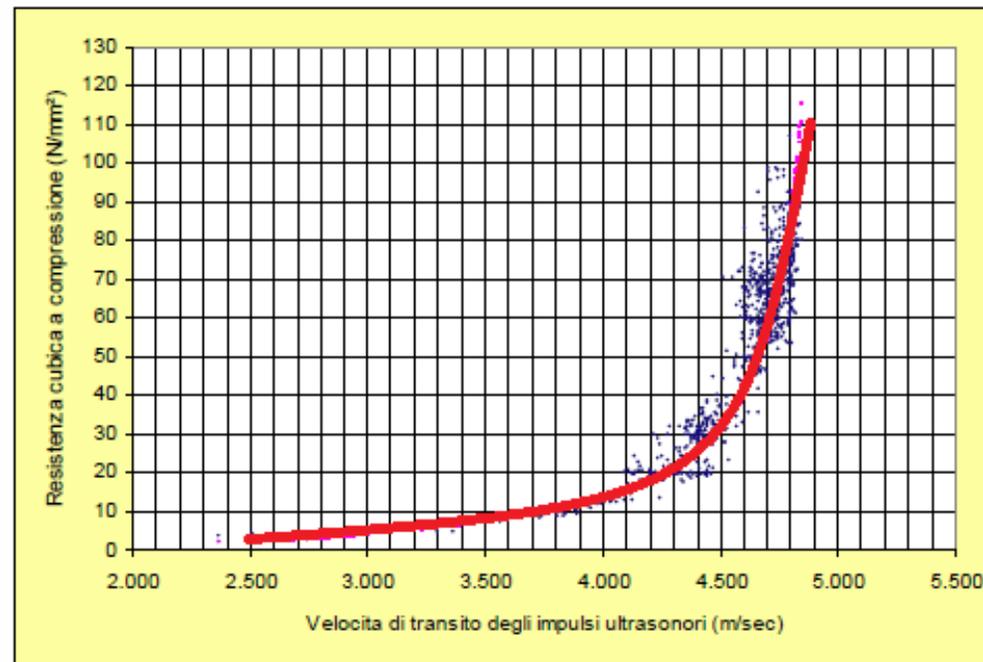


L'apparecchiatura, il procedimento di prova e l'espressione dei risultati devono essere in conformità alla EN 12504-1 per le prove su carota e alla EN 12504-2, EN 12504-3 e alla EN 12504-4 quando si misura l'indice sclerometrico, la forza di estrazione o la velocità degli impulsi ultrasonici.

Per definire una relazione specifica tra la resistenza a compressione in sito e il risultato di prova ottenuto mediante metodo indiretto deve essere eseguito un programma di prova completo, basato su almeno 18 coppie di risultati: 18 risultati di prova su carota e 18 risultati di prova indiretta, che trattano tutto il campo di interesse.



La definizione della relazione consiste nella **determinazione della curva o retta di miglior approssimazione**, determinata mediante **analisi di regressione** sulle coppie di dati ottenuti dal programma di prova. Il risultato della prova indiretta è considerato come variabile e la resistenza a compressione in sito stimata come funzione di tale variabile.



Una volta definita la relazione, o meglio **la correlazione per un determinato calcestruzzo**, per la valutazione della resistenza caratteristica a compressione in sito si applicano le condizioni seguenti:

- **la valutazione** di ciascuna zona di prova deve essere basata **su almeno 15 punti di prova**;
- lo scarto tipo **s** deve essere il valore calcolato dai risultati di prova **o 3,0 N/mm²**, quale che sia il valore più alto.

La resistenza caratteristica a compressione in sito della zona di prova è il valore più basso tra:

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - 1,48 \times s$$

oppure

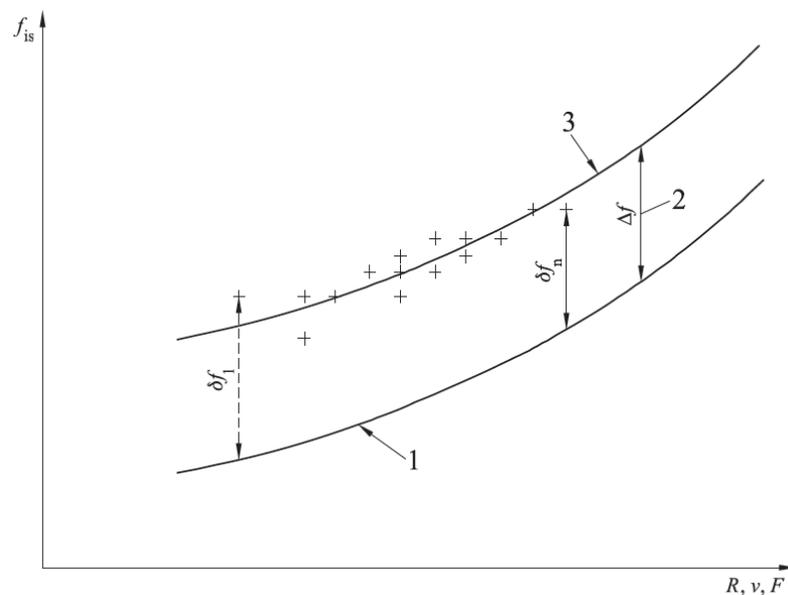
$$f_{ck,is} = f_{is,lowest} + 4$$

dove **s** è lo scarto tipo dei risultati di prova.



Alternativa 2 - Utilizzo di una relazione determinata da un numero limitato di carote e una curva di base

Prove *sclerometriche*, prove della *velocità degli impulsi ultrasonici* e prove di *estrazione* possono essere utilizzate per la valutazione della resistenza a compressione in sito *tracciando una curva di base*, fornita dalla norma, e *traslandola* al livello appropriato determinato mediante prove su carota.



Per valutare una popolazione formata da calcestruzzi normali confezionati con uno stesso gruppo di materiali e processo di fabbricazione, selezionare una zona di prova ed ***almeno***

9 coppie di risultati di prova:

i risultati di prove su carota e risultati di prove indirette rilevati in uno stesso punto di prova ***sono utilizzati per ottenere il valore***

Δf (variazione)

mediante il quale la curva di base necessita di essere ***traslata*** (verso l'alto) per definire la relazione tra misurazioni indirette e resistenza a compressione in sito.



Alternativa 2 - Modalità operative

Selezionare una zona di prova contenente ***almeno 9 punti di prova***.

- a) In ciascun punto di prova ***calcolare un risultato di prova*** sclerometrica in conformità alla EN 12504-2, della forza di estrazione in conformità alla EN 12504-3 o di velocità degli impulsi ultrasonici in conformità alla EN 12504-4.
- b) In ciascun punto di prova, ***prelevare e sottoporre a prova una carota*** in conformità alla EN 12504-1.
- c) ***tracciare la resistenza in sito su carota (asse y) rispetto ai risultati di prove indirette*** illustrati (per ogni coppia di coordinate resistenza su carota – risultato prova indiretta tracciare un punto)



d) Per ciascun punto di prova **determinare la differenza** nella resistenza in sito tra valore misurato sulla carota e valore riportato sulla curva di base:

$$\delta f = f_{is} - f_{R, v o F.}$$

e) **Calcolare la media** $\delta f_{m(n)}$, per i risultati 'n' e lo scarto tipo campione, s.

f) Calcolare di quanto la curva di base dovrebbe essere variata, Δf , da:

$$\Delta f = \delta f_{m(n)} - k_1 \times s$$

dove k_1 dipende dalla numerosità di coppie appaiate di resistenza da carota e risultato PnD.

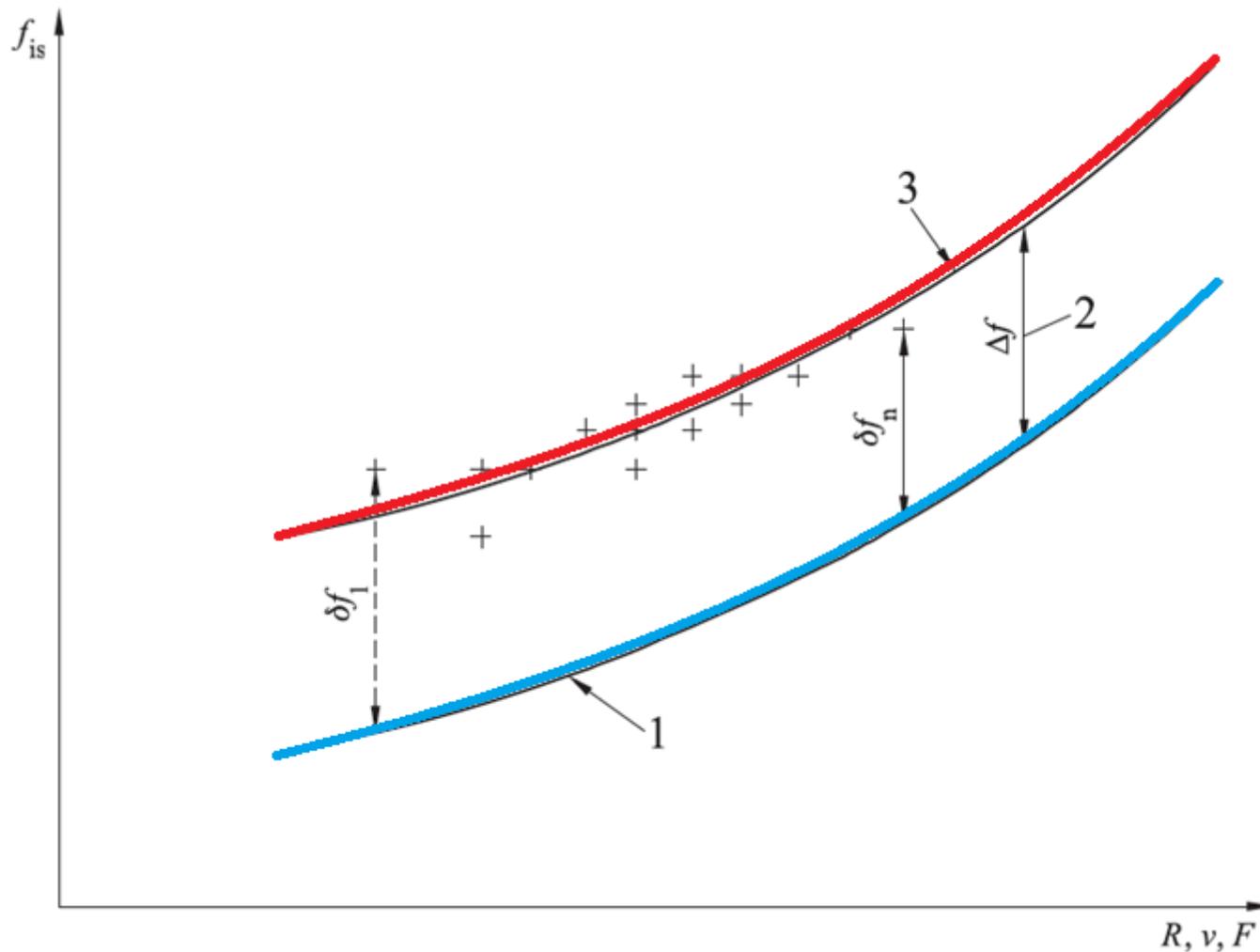


Tabella dei valori di k_1 in funzione del numeri di coppie di risultati

Numero di risultati di prova appaiati	Coefficiente
n	k_1
9	1,67
10	1,62
11	1,58
12	1,55
13	1,52
14	1,50
15	1,48



Procedimento per la traslazione della curva di base generica



1-curva di base (blu), 2-valore della variazione, 3- curva traslata (rossa)

La **curva di base** per ciascuna PnD è stata definita in una posizione artificialmente bassa in modo da consentire una variazione sempre positiva.

Trovata la Δf variare, o meglio **traslare la curva di base di Δf verso l'alto** per ottenere la relazione tra metodo di prova indiretto e resistenza a compressione in sito del calcestruzzo specifico sottoposto a indagine.

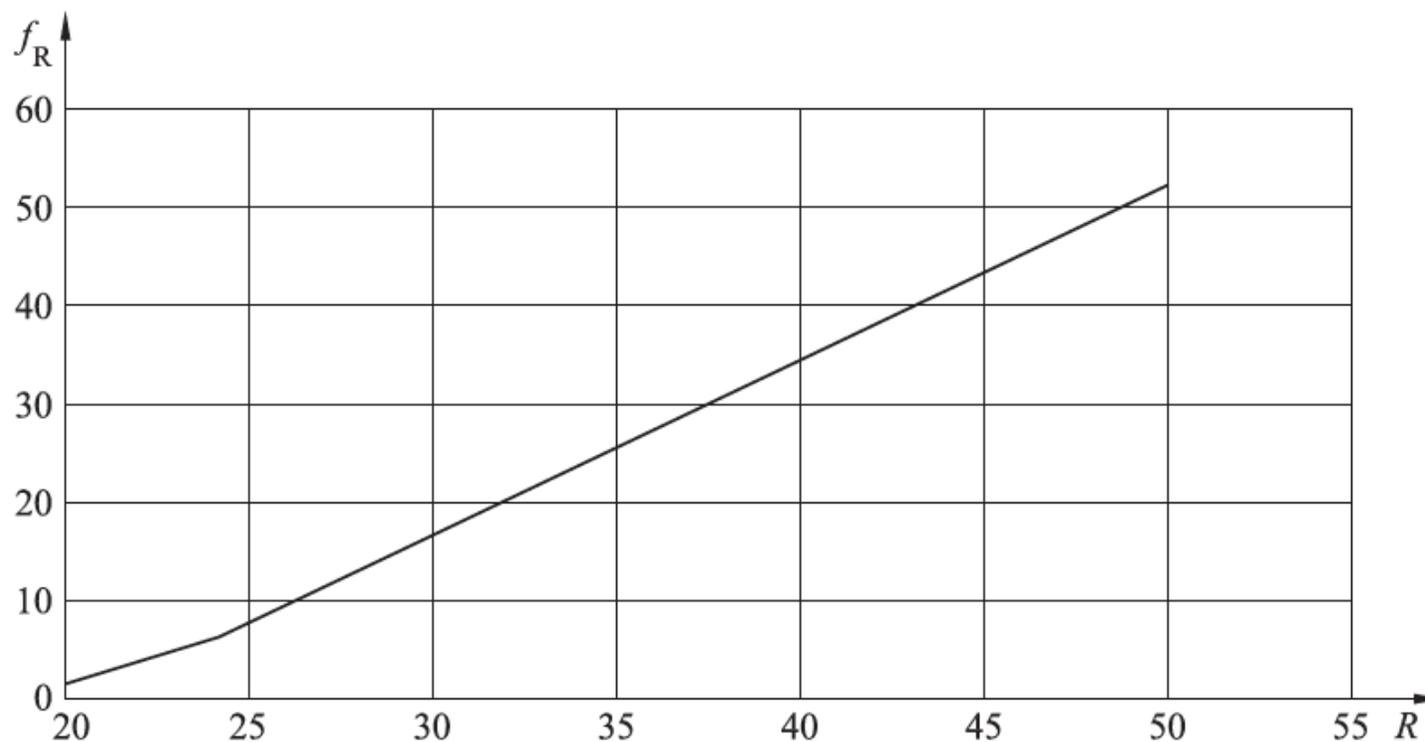
Di seguito le curve di base fornite dalla norma per ogni tipologia di prova indiretta



Curva di base per prova sclerometrica

Legenda

R Indice sclerometrico in conformità alla EN 12504-2



Equazione della curva

$$f_R = 1,25 \times R - 23 \quad 20 \leq R \leq 24$$

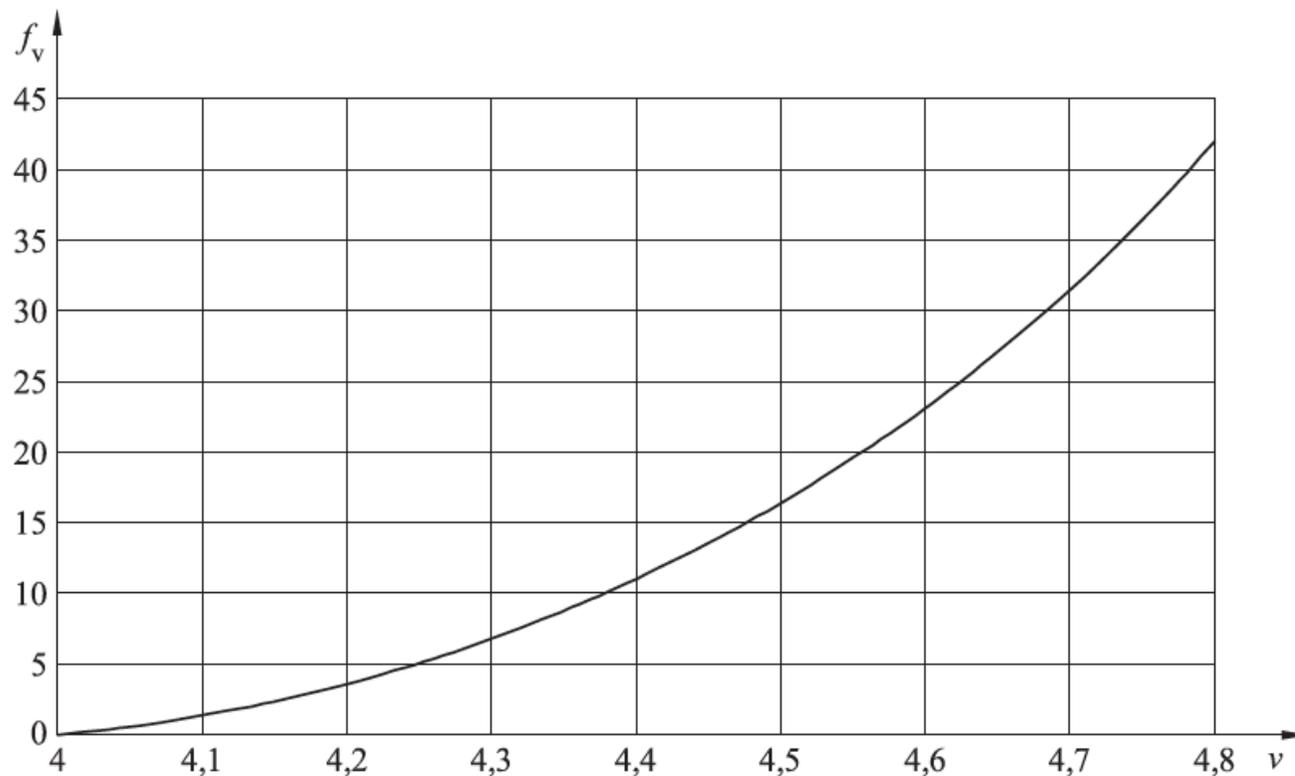
$$f_R = 1,73 \times R - 34,5 \quad 24 \leq R \leq 50$$



Curva di base per prova della velocità degli impulsi ultrasonici

Legenda

v Velocità degli impulsi ultrasonici in Km/s in conformità alla EN 12504-4



Equazione della curva

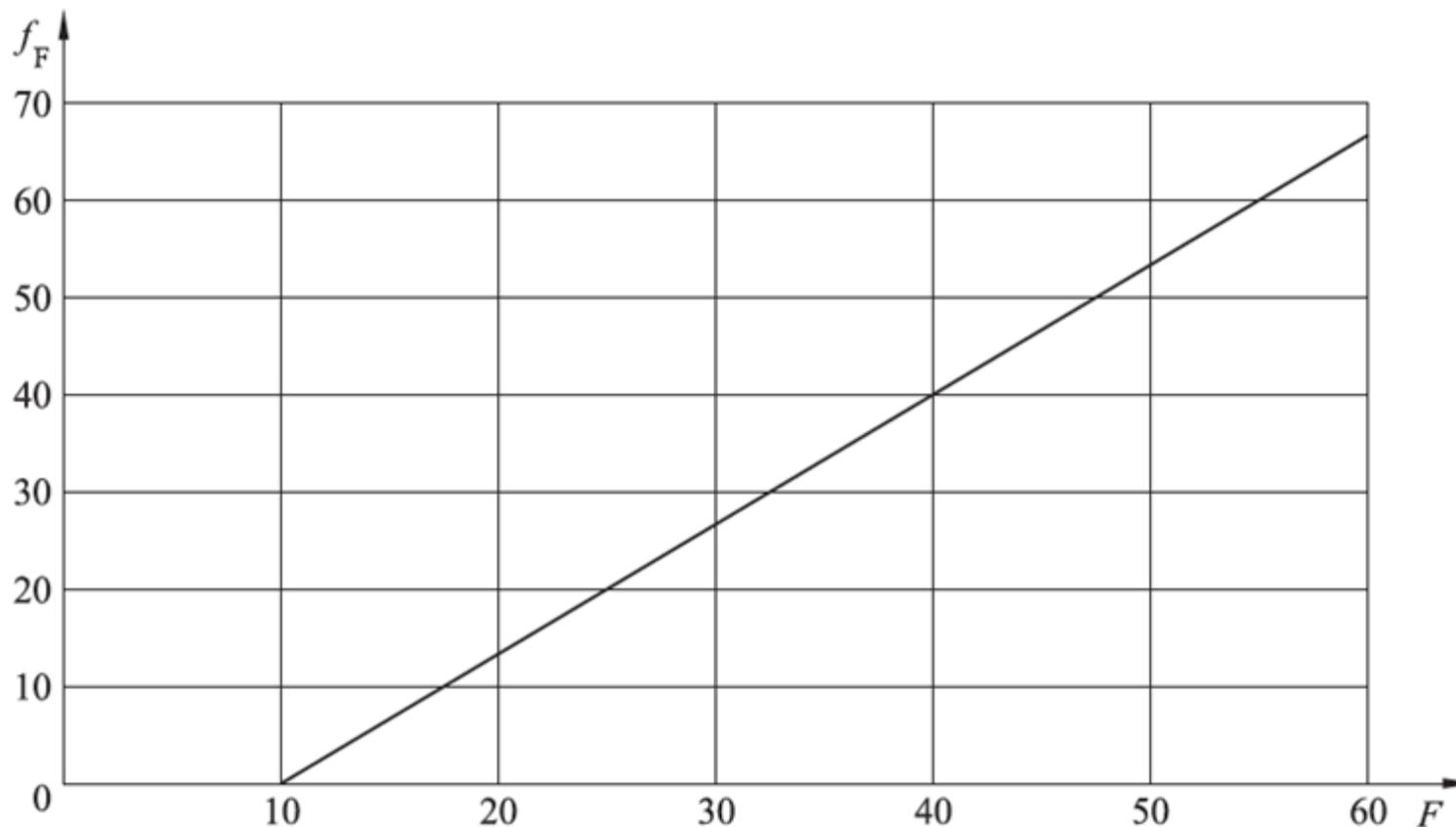
$$f_v = 62,5 \times v^2 - 497,5 \times v + 990 \quad 4,0 \leq v \leq 4,8$$



Curva di base per prova di forza di estrazione

Legenda

F Forza di estrazione, espressa in **kN**, in conformità alla EN 12504-3



Equazione della curva

$$f_F = 1,33 \times (F - 10) \quad 10 \leq F \leq 60$$



Una volta ***definita la curva*** che fornisce la relazione tra valore della prova indiretta utilizzata e resistenza in situ determinata da carotaggio, ***a partire dal valore della prova indiretta si ricava la resistenza a compressione in sito, f_{is} .***

Si procede, pertanto, come già illustrato per l'alternativa 1:

- la ***valutazione*** di ciascuna zona di prova deve essere basata su ***almeno 15 punti di prova***;
- lo scarto tipo ***S*** deve essere il valore calcolato dai risultati di prova o $3,0 \text{ N/mm}^2$, quale che sia il valore più alto.



La resistenza caratteristica a compressione in sito della zona di prova è il valore più basso tra:

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - 1,48 \times s$$

oppure

$$f_{ck,is} = f_{is,lowest} + 4$$

dove:

s è lo scarto tipo dei risultati di prova.



**È possibile scaricare questa presentazione
dalla sezione**

FREEDOWNLOAD

del sito

www.diagnosticastrutturale.it



Bibliografia

- MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI - DECRETO 17 gennaio 2018. - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici Servizio Tecnico Centrale - LINEE GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO IN OPERA (Edizione Settembre 2017)
- Norme della serie UNI EN 1504
- Norma UNI EN 13971

Articoli Scientifici

- (1) Giuseppe Campione, Marinella Fossetti, Maria Letizia Mangiavillano e Salvatore Priolo – *“Influenza del carotaggio sullo stato tensionale e deformativo di elementi compressi”* – Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica Università di Palermo
- (2) Angelo Masi, Marco Vona, Valentina Cugno - *“Stima mediante carotaggio della resistenza in situ del calcestruzzo: analisi dei risultati ed effetti sulla capacità portante degli elementi indagati.”* - Dipartimento di Strutture, Geotecnica, Geologia applicata all’ingegneria, Università degli studi della Basilicata, viale dell’Ateneo Lucano, Potenza, Italia
- (3) A. Masi, M. Dolce, M. Vona, D. Nigro, G. Pace, M. Ferrini *“Indagini sperimentali su elementi strutturali estratti da una scuola esistente in c.a.”* - Università di Basilicata, Campus Macchia Romana, Potenza & Regione Toscana
 - Menditto, Bufarini, D’Aria, Porco *“RIFLESSIONI SUL METODO COMBINATO ULTRASUONI-SCLEROMETRO (SONREB)”* Università Politecnica delle Marche, Università della Calabria

Sitografia

www.diagnosticastrutturale.it

www.masteritalia.org

