

Seminario

# GLI EDIFICI PRODUTTIVI COLPITI DA INCENDIO

Verona, 29 giugno 2023

PROVE E CONTROLLI IN SITO

Ing. Antonio LUCCHESI  
(LMO Ingegneri Associati - Roma)



## Approccio all'esame delle strutture esistenti

- ❖ Premesse
- ❖ Esame visivo ed ispezione, acquisizione e studio della documentazione
- ❖ Conoscenza della struttura (indagini e prove in sito)
- ❖ Caratterizzazione meccanica dei materiali
- ❖ Verifiche tecniche
- ❖ Progettazione degli interventi

## Antiche costruzioni

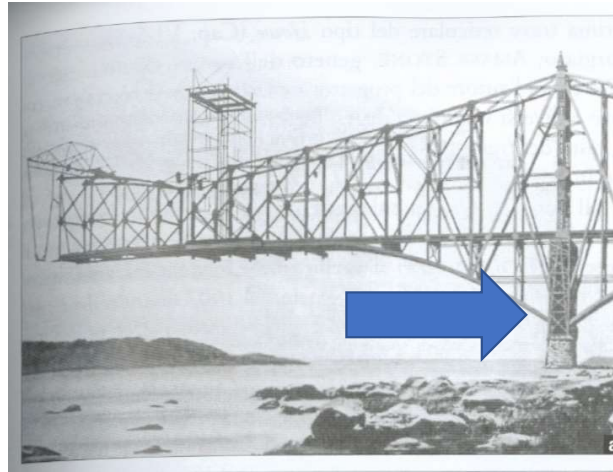


Intuito: “mirabile e ineguagliabile virtù dell’uomo”.

prof. Piero Pozzati

nella sua ultima lezione all’Università di  
Bologna (3 giugno 1992) sul tema

*Proliferaazione delle normative e tecnicismo*



## Ponte di Quebec Canada 1917

da: "Terra sull'acqua" – L.F. Troyano









1971: Viene pubblicata la legge n.1086 (la prima vera legge organica sulle costruzioni).

Dalla legge 1086/71 ad oggi si sono succedute decine di leggi e norme. Sembra essersi scatenata una corsa alla normazione:

- Norme
- Circolari
- Linee guida

Dopo una serie di eventi catastrofici si comincia a tentare di disciplinare il settore delle **Costruzioni esistenti**

A queste si aggiungono:

- Leggi Regionali
- Ordinanze Protezione Civile

Si discute molto, negli ultimi anni, su quale sia il limite oltre il quale le norme tecniche devono limitare le “prescrizioni”, puntando più sulle “prestazioni” da richiedere alle strutture, lasciando libero il progettista di effettuare le proprie analisi adottando i metodi ritenuti più adatti e idonei, ovvero condurlo per mano fornendo gli strumenti, anche di calcolo, con i quali procedere; strumenti dei quali spesso, tuttavia, il progettista ignora le motivazioni di base e l’impostazione.



*“Le regole hanno nobili motivazioni: l’intento di tutelare la sicurezza strutturale e porgere un aiuto; di portare coerenza e chiarezza in un quadro frammentario e alle volte confuso ... Ma un numero di regole eccessivo comporta ... :*

*l’impoverimento dell’autonomia e della creatività, in quanto l’opera del progettista è irretita dalle norme; la difficoltà di discernere ciò che veramente conta; la sensazione di avere, al riparo delle norme, responsabilità assai alleviate; la difficoltà non infrequente di rendersi conto dei ragionamenti che giustificano certe regole, rischiando di considerare queste alla stregua di algoritmi, ossia di schemi operativi che, una volta appresi, il pensiero non è più chiamato a giustificare.*

*Ma tra le varie conseguenze, una delle più temibili è l’attenuazione del senso di responsabilità...*

prof. Piero Pozzati

nella sua ultima lezione all’Università di Bologna (3 giugno 1992) sul tema  
*Proliferazione delle normative e tecnicismo*

## *Cosa possono fare le leggi e le regole tecniche?*

### *Legalità*

???

### *Controlli*

Il tema del controllo tecnico delle opere è di essenziale importanza ai fini della qualità delle opere stesse. In tal senso particolare importanza hanno gli accertamenti e le prove di laboratorio.

### *Qualità e rintracciabilità dei materiali*

Le norme dedicano all'argomento particolare attenzione (Cap. 11).

### *Sviluppo delle professionalità*

Le regole tecniche costituiscono uno strumento ma anche un buon motivo di crescita culturale e professionale. (Ordini professionali, formazione, qualificazione del personale).

## Capitolo 8 – Costruzioni esistenti

Conoscenza della costruzione (non solo strutturale)

Livelli di conoscenza

Verifiche di sicurezza

Competenza professionale (Errori di valutazione e di intervento)

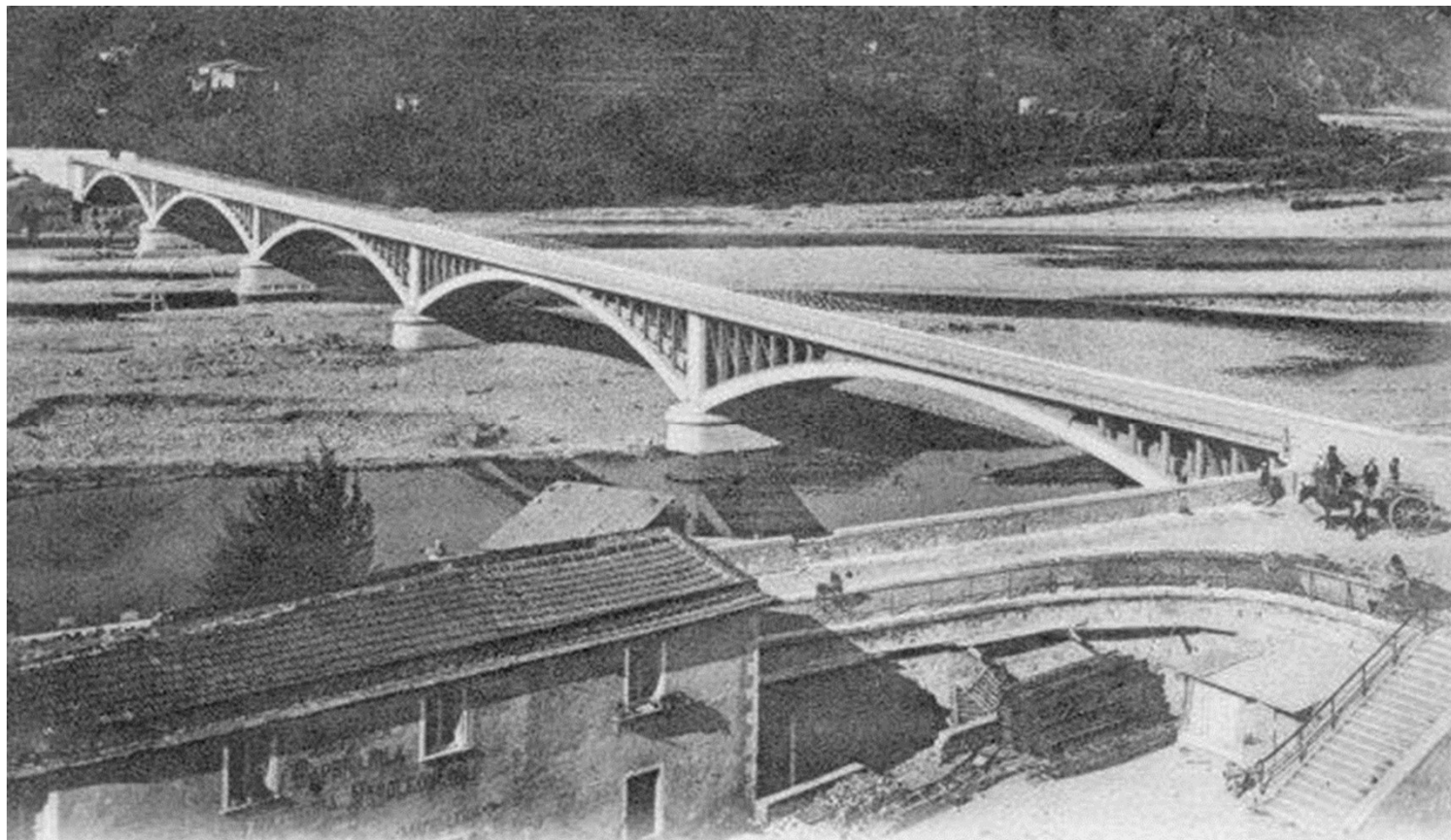








*Il processo della conoscenza della struttura e dei luoghi su cui essa sorge parte preliminarmente dalla raccolta della documentazione disponibile sulla storia della struttura e degli interventi che esso ha subito, delle relazioni inerenti precedenti ispezioni effettuate dagli enti gestori, delle notizie, testimonianze e materiale fotografico reperibile presso abitazioni e organizzazioni del luogo e delle informazioni sulle caratteristiche geomorfologiche del sito e delle zone limitrofe.*



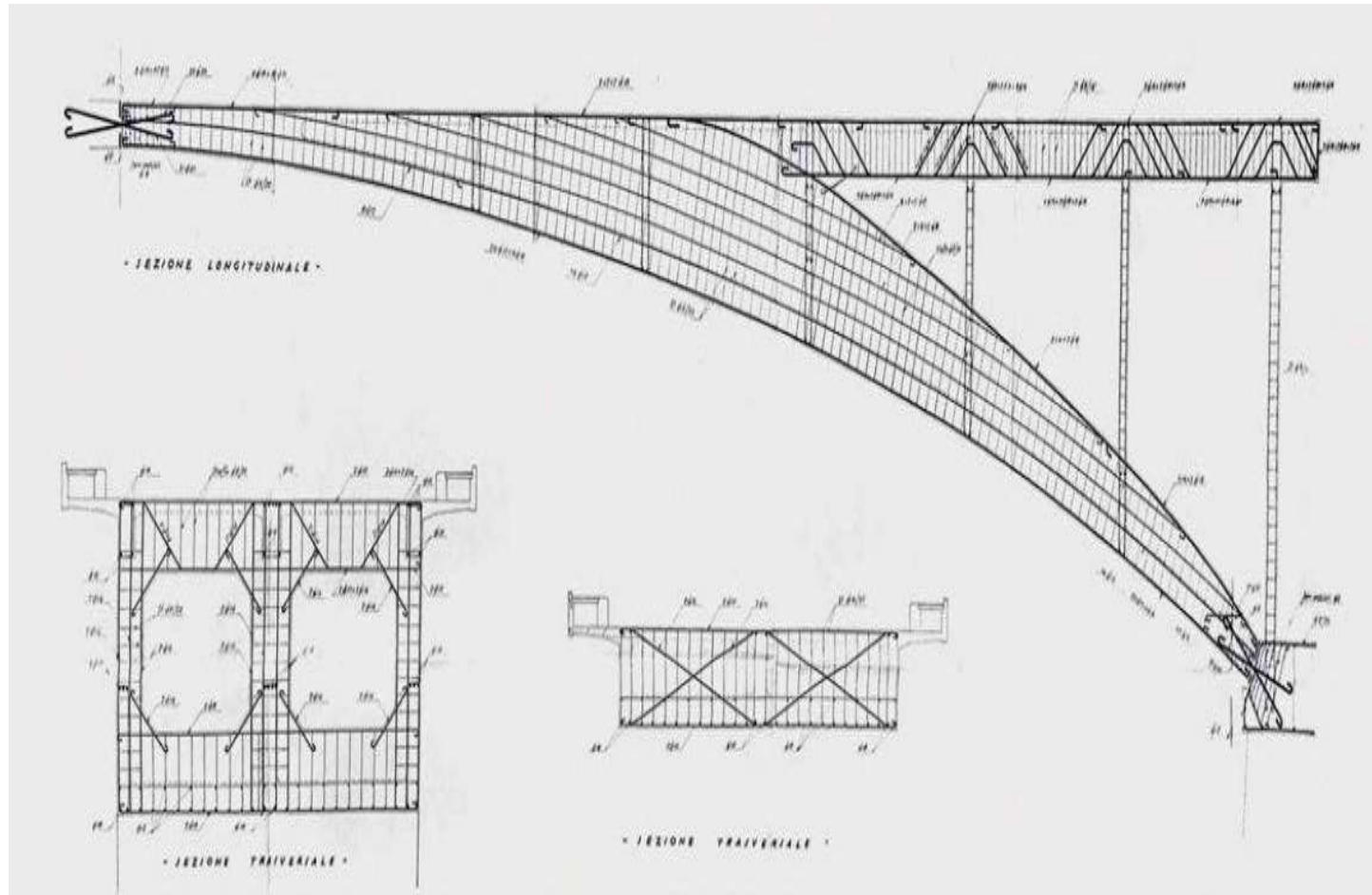






fig. 1 - Vista generale del ponte



fig. 2 - Carico B, costituito da due rulli e due autocarri  
a pieno carico, sulla chiave dell' arcata -  
 $P_{tot} = 73,4 \text{ tonn.}$



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

ISTITUTO DI SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

LABORATORIO SPERIMENTALE

VIA EUDOSSIANA N. 18 - TELEFONO 480-106

## PROVE DI CARICO DEL PONTE SUL FIUME MAGRA

### FRA CAPRIGLIOLA ED ALBIANO

#### RELAZIONE

Il giorno 20 ottobre 1949, in occasione delle prove di collaudo del ponte sul fiume Magra fra Caprigliola ed Albiano, il Centro Studi dei ponti di Cemento Armato dell' Istituto di Scienza delle Costruzioni dell' Università di Roma ha eseguito una serie di misure di deformazione e di tensione. Tali esperienze, oggetto della presente relazione, sono state eseguite dagli Assistenti dell' Istituto stesso Sigg. Ingg. A. Carè, G. Ceradini, D. Gentiloni-Silverj ed A. Samueli. Erano presenti alle prove l' Ing. Riccardo Arrigoni, Ingegnere Capo dell' Ufficio del Genio civile di Massa, e l' Ing. Luigi Trombella dello stesso ufficio.

Il ponte di cui trattasi è costituito da cinque arcate di cemento armato impostate su quattro pile intermedie di calcestruzzo, fondate ad aria compressa, e su due spalle di estremità di calcestruzzo ( fig. I ). Le arcate, che furono distrutte durante la guerra, sono state ricostruite sulle vecchie pile e spalle rimaste indenni. Nella ricostruzione è stata allargata la sede stradale e si è tenuto conto, nei calcoli statici, di più elevati carichi mobili. Mentre le arcate del vecchio ponte erano continue e solidali con le pile, per la ricostru-

Le misure sono state eseguite:

per il carico A posto con gli assi posteriori dei rulli compressori in corrispondenza delle sezioni 6,4,2,0,2',4',6' del ponte, e per il carico B in chiave ed alle reni.

Ad ogni misura a ponte carico è stata fatta succedere sistematicamente una misura a ponte scarico, per individuare eventuali deformazioni permanenti, per eliminare l'influenza della temperatura e per controllare il regolare funzionamento degli apparecchi.

#### Calcoli di confronto

I valori delle grandezze misurate sono stati sistematicamente confrontati con quelli derivanti dai calcoli. In questi e nella elaborazione delle misure estensimetriche è stato assunto il valore del modulo di elasticità  $E_{ass} = 350.000 \text{ kg/cm}^2$ . I calcoli sono stati eseguiti tenendo conto della elasticità delle pile e delle fondazioni.

#### Risultati delle misure

##### Misure eseguite con il carico A

Nella tavola II sono riportati i diagrammi delle frecce d'inflexione dell'arco per le varie posizioni del carico A e le relative rotazioni delle sezioni adiacenti alle cerniere; nella tavola III sono riportate le linee d'influenza delle rotazioni delle cerniere, relative al carico A e riferite alla posizione dell'asse posteriore dei rulli compressori.

Dall'esame di dette tavole si rileva che:

- 1) l'andamento dei diagrammi connettenti i valori misurati è regolare, il che dimostra l'attendibilità delle misure eseguite;
- 2) la cerniera di chiave ha subito rotazioni piccolissime, comportandosi quindi, nel corso delle prove, come praticamente bloccata;
- 3) le cerniere delle imposte hanno ruotato, ma le rotazioni misurate sono sensibilmente inferiori a quelle calcolate;
- 4) anche le frecce d'inflexione misurate sono sempre inferiori a quelle calcolate. L'andamento generale dei diagrammi connettenti i valori misurati non differisce notevolmente da quello dei diagrammi calcolati: tuttavia l'influenza dei momenti che nascono nelle cerniere per effetto del loro parziale bloccaggio è sensibile.















# Approccio probabilistico della sicurezza

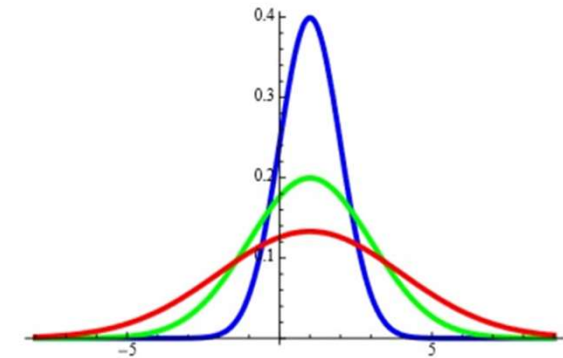
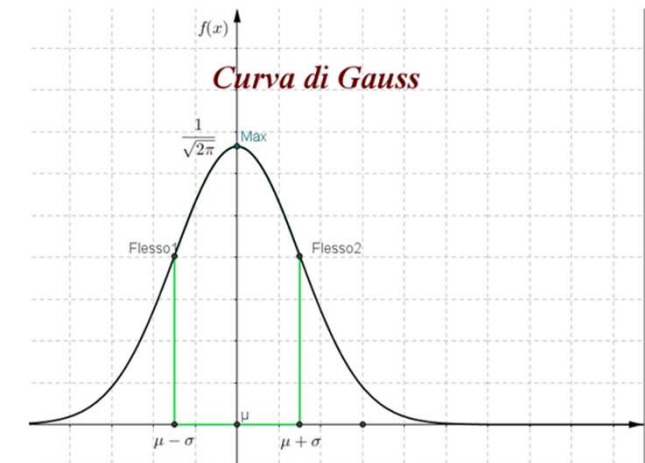


Grafico di  $f(x) = \frac{1}{3\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-1)^2}{18}}$  in rosso,  $f(x) = \frac{1}{2\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-1)^2}{8}}$  in verde,  $f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-1)^2}{2}}$  in blu, nell'intervallo  $(-8, 9)$ .

Azioni controllate dall'uomo (statiche)

Azioni non controllate dall'uomo (eventi naturali, variabili, dinamiche)





**Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici  
Servizio Tecnico Centrale**

**LINEE GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELLE  
CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO IN OPERA.**

*LUGLIO 2017 (PUBBLICATE IN OTTOBRE 2017)*

## Principali aggiornamenti che hanno interessato **la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera**

### **1.2 Finalità**

E' necessario chiarire, prima di passare ai contenuti del documento, che gli ambiti di applicazione e quindi le finalità delle presenti 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 (attualmente, tale percentuale, come nel seguito precisato, è pari a  $0,85 R_{ck}$ ). Per questo caso, si fa riferimento al successivo paragrafo 3.2.

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. In tale caso gli aspetti specifici sono riportati al successivo paragrafo 3.3.

## LA RESISTENZA DEL CLS IN OPERA (Lavori in corso o appena terminati)

La resistenza del calcestruzzo nella struttura dipende dalla resistenza del calcestruzzo messo in opera, dalla sua posa e costipazione, dalle condizioni ambientali durante il getto e dalla maturazione.

Nel caso in cui:

- a) le resistenze a compressione dei provini prelevati durante il getto non soddisfino i criteri di accettazione della resistenza caratteristica prevista nel progetto, oppure
  - b) sorgano dubbi sulle modalità di confezionamento, conservazione, maturazione e prova dei provini di calcestruzzo, oppure
  - c) sorgano dubbi sulle modalità di posa in opera, compattazione e maturazione del calcestruzzo, oppure
  - d) si renda necessario valutare a posteriori le proprietà di un calcestruzzo precedentemente messo in opera,
- si può procedere ad una valutazione delle caratteristiche di resistenza attraverso una serie di prove sia distruttive che non distruttive.

Tali prove non sono, in ogni caso, sostitutive dei controlli di accettazione, ma potranno servire al Direttore dei Lavori od al Collaudatore per formulare un giudizio sul calcestruzzo in opera.

### 11.2.6. CONTROLLO DELLA RESISTENZA DEL CALCESTRUZZO IN OPERA

Il valore caratteristico della resistenza del calcestruzzo in opera (definita come resistenza caratteristica in situ,  $R_{ckis}$  o  $f_{ckis}$ ) è in genere minore del valore della resistenza caratteristica assunta in fase di progetto  $R_{ck}$  o  $f_{ck}$ . Per i soli aspetti relativi alla sicurezza strutturale e senza pregiudizio circa eventuali carenze di durabilità, è accettabile un valore caratteristico della resistenza in situ non inferiore all'85% della resistenza caratteristica assunta in fase di progetto. Per la modalità di determinazione della resistenza a compressione in situ, misurata con tecniche opportune (distruttive e non distruttive), si potrà fare utile riferimento alle norme UNI EN 12504-1, UNI EN 12504-2, UNI EN 12504-3, UNI EN 12504-4. 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. (2007)



E' stato inserito, nella parte iniziale, un glossario dei principali simboli utilizzati, al fine di uniformarli il più possibile, dal valore della Resistenza cubica  $R_c$  al valore caratteristico  $R_{ck}$ , alla resistenza strutturale in sito  $R_{is}$ , alla resistenza cilindrica della carota  $f_{carota (h/d)}$  distinguendo fra carote con rapporto  $h/d = 2$  e carote con rapporto  $h/d = 1$ .

Al Capitolo 3, dove si affronta il tema della valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo mediante carotaggio, nel corso della rilettura della precedente linea guida, si è sviluppato sul tema – fra i diversi componenti del Gruppo di lavoro, ognuno con specifica professionalità nel settore – un interessante dibattito che ha portato, ad esempio, a considerare con la dovuta attenzione l'effetto del disturbo sulla resistenza delle carote, causato dalle operazioni di prelievo: detensionamento del campione, annullamento del confinamento degli aggregati, deterioramento del legame all'interfaccia legante-aggregato dovuto alle azioni meccaniche di prelievo.

Si è quindi convenuto che la resistenza alla compressione, determinata su carota, è penalizzata dalla riduzione in quota parte del contributo proveniente dagli aggregati presenti sulla superficie laterale della carota.

Questa riduzione di resistenza – si è precisato esplicitamente sulla Linea Guida - deve essere considerata nel calcolo della resistenza strutturale, tramite l'introduzione di un coefficiente moltiplicativo detto **Fattore di disturbo  $F_d$** . Dopo ampie discussioni è stato quindi attribuito un valore al fattore  $F_d$ , mediante una apposita tabella, variabile in senso decrescente da 1,10 per calcestruzzi più scadenti con resistenza compresa fra 10 e 20 N/mm<sup>2</sup> fino ad 1,00 per calcestruzzi con resistenza superiore a 40 N/mm<sup>2</sup>.

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

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

Per valori intermedi si effettua l'interpolazione lineare, mentre per valori di  $f_{carota}$  superiori a 40 N/mm<sup>2</sup> il valore di  $F_d$  resta pari a 1.

Proseguendo nell'aggiornamento della precedente linea guida, numerose perplessità, sfociate in interessanti dibattiti, sono poi sorte nell'affrontare talune problematiche relative, ad esempio, al rapporto 0,83 che tradizionalmente lega la resistenza cilindrica a quella cubica, alla elaborazione dei risultati ottenuti con le carote ai fini della determinazione della resistenza caratteristica del calcestruzzo in sito ( $R_{ck, is}$ ), fino all'affidabilità delle prove semi-distruttive e non-distruttive in sito, in particolare all'esistenza di un rapporto di correlazione fra il valore della velocità degli ultrasuoni nel calcestruzzo e la resistenza.

Per poter dare risposte il più possibile concrete a tali dubbi, si è stabilito di effettuare una sperimentazione sul calcestruzzo certamente limitata in termini quantitativi, quindi non in grado di consentire la determinazione di una specifica relazione di tipo empirico che leghi in maniera univoca la resistenza su cubetto e la resistenza su carota e che sia condivisibile a livello nazionale, sufficiente tuttavia per confrontare i risultati ottenuti con i metodi attualmente più diffusi ed utilizzati in questo tipo di operazione.

I risultati ottenuti sono stati alquanto dispersi.

Sulla base di tali risultati, fu deciso di eseguire una seconda sperimentazione (iniziata nell'aprile 2015), sostanzialmente con le medesime procedure, ed alla quale hanno partecipato n° 10 laboratori su tutto il territorio nazionale.

Anche la seconda sperimentazione ha mostrato una estrema dispersione dei risultati. Si noti infatti come il rapporto fra resistenza cilindrica/resistenza cubica, diversamente dal valore previsto 0,83, oscilla fra 0,74 e 1,05. Analogamente, il valore della velocità degli ultrasuoni riscontrata a Napoli pari a 4542,60 m/s su un calcestruzzo 37,25 N/mm<sup>2</sup> è addirittura maggiore di quella riscontrata a Catania, di 4171,27 m/s su un calcestruzzo 56,88 N/mm<sup>2</sup>.

## I RISULTATI DELLE PROVE

Istituto	Resistenza a compressione cilindri fcm (N/mm <sup>2</sup> )	Resistenza a compressione cubetti Rcm (N/mm <sup>2</sup> )	fcm/Rcm	Resistenza media stimata sclerometro (MPa)	Velocità ultrasuoni carote H/D=2 ortogonali al getto Vm (m/s)	Velocità ultrasuoni carote H/D=2 parallele al getto Vm (m/s)	Velocità ultrasuoni carote H/D=2 totali Vm (m/s)	Resistenza a compressione carote ortogonali al getto fmcara (N/mm <sup>2</sup> )	Resistenza a compressione carote parallele al getto fmcara (N/mm <sup>2</sup> )	Resistenza a compressione carote totali fmcara (N/mm <sup>2</sup> )	Velocità ultrasuoni muro con metodo diretto Vm (m/s)
ICS NA	39,10	37,25	1,05	36,10	4567,07	4673,00	4593,55	28,68	27,82	28,47	4542,60
Tecnocontrolli BO	49,18	50,93	0,97	42,20	4294,47	4303,40	4296,70	45,67	44,32	45,33	4180,73
Tecnometer TE	41,40	50,07	0,83	41,13	4294,47	4303,40	4277,35	34,29	32,86	33,93	4331,60
Enco TV	43,91	48,02	0,91	39,01	4820,33	4966,20	4856,80	43,23	37,96	41,91	4745,42
Tecnopiemonte VC	33,95	42,52	0,80	42,40	3909,27	3946,00	3918,45	38,39	39,68	38,71	3790,33
Premac RC	44,17	50,52	0,87	40,45	4221,77	4335,96	4250,32	39,65	40,53	39,87	3994,86
Tecnoprove BR	40,69	43,87	0,93	37,87	4327,53	4388,20	4342,70	30,47	31,82	30,81	4277,13
Sidercem CT	42,22	56,88	0,74	49,66	4131,40	4196,60	4147,70	45,93	46,92	46,18	4171,27
Geolab PA	42,08	45,18	0,93	38,31	4598,25	4555,92	4587,67	38,31	37,77	38,18	4735,01
Univ. BS	39,73	41,88	0,95	36,94	4388,00	4395,20	4389,80	37,50	38,83	37,78	4292,40
max			1,05	49,66	4820,33	4966,20	4856,80	45,93	46,92	46,18	4745,42
min			0,74	36,10	3909,27	3946,00	3918,45	28,68	27,82	28,47	3790,33
Media			0,90	40,41	4355,26	4406,39	4366,10	38,21	37,85	38,12	4306,14
s.q.m.			0,08	3,70	244,19	262,57	248,38	5,56	5,45	5,47	288,33

Prove di rottura a 28 giorni di maturazione

Ortogonale al getto

Ortogonale al getto



Sulla base dei risultati ottenuti, sono stati apportati alle linee guida di cui trattasi, una serie di modifiche, condivise da tutto il gruppo di lavoro.

In primo luogo, tenendo conto dei risultati ottenuti sul rapporto  $F_c/R_c$ , (in termini di resistenza cubica) si è deciso di consigliare l'impiego di carote caratterizzate da rapporto  $h/d = 1$ , così da escludere l'utilizzo del fattore di correzione 0,83.

In tal modo, definita come “resistenza strutturale” o “in sito” ( $R_{is}$  e  $f_{is}$ ) la resistenza del calcestruzzo in opera, misurata mediante il prelievo di una serie significativa di carote, e “resistenza potenziale” ( $R_c$  e  $f_c$ ) quella misurata sui campioni convenzionali, correttamente confezionati e maturati, in linea con le norme tecniche si precisa che si può assumere – secondo la letteratura tecnica-specialistica ed in mancanza di una sperimentazione specifica – che la resistenza strutturale sia non inferiore a 0,85 volte la resistenza potenziale del calcestruzzo messo in opera.

In sintesi, in termini concettuali il confronto fra resistenza strutturale e resistenza potenziale risulta positivo se:

$$R_{is} \geq 0,85 R_c \quad \text{oppure} \quad f_{is} \geq 0,85 f_c$$

Al Capitolo 4 si affrontano i metodi indiretti per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo in opera, prendendo in considerazione i metodi più consolidati nella pratica: l'indice di rimbalzo, gli ultrasuoni, l'estrazione di tasselli metallici inseriti nel calcestruzzo (pull-out) e l'infissione di sonde metalliche.

Metodo di prova	Costo	Velocità di esecuzione	Danno apportato alla struttura	Rappresentatività dei dati ottenuti	Qualità della Correlazione fra la grandezza misurata e la resistenza
<b>Carotaggio</b>	Elevato	Lento	Moderato	Buona	Ottima
<b>Indice di rimbalzo (sclerometro)</b>	Molto basso	Veloce	Nessuno	Interessa solo la superficie	Debole
<b>Velocità di propagazione di ultrasuoni</b>	Basso	Veloce	Nessuno	Buona (se la prova è ben condotta) Riguarda tutto lo spessore	Da calibrare
<b>Estrazione di inserti</b>	Moderato	Veloce	Limitato	Interessa solo la superficie	Buona (se la prova è ben condotta)
<b>Resistenza alla penetrazione</b>	Moderato	Veloce	Limitato	Interessa solo la superficie	Moderata

## VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO IN OPERA MEDIANTE CAROTAGGIO

Si devono prendere in considerazione le seguenti avvertenze:

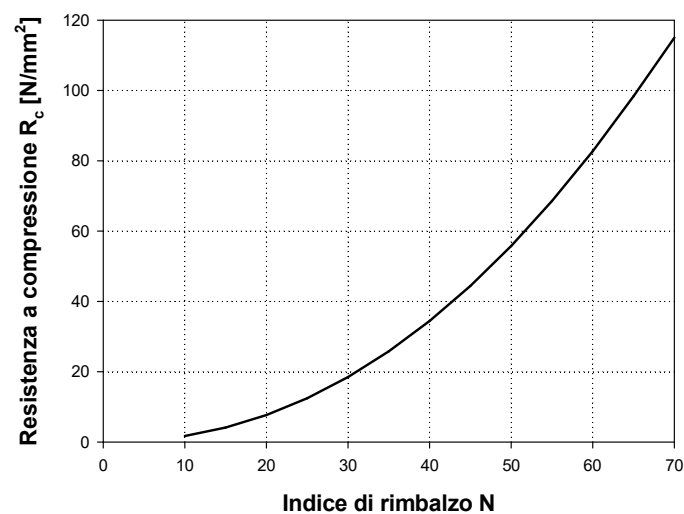
- il diametro delle carote deve essere almeno superiore a tre volte il diametro massimo degli aggregati (i diametri consigliati sono compresi tra 75 e 150 mm);
- le carote destinate alla valutazione della resistenza non dovrebbero contenere ferri d'armatura, (si devono scartare i provini contenenti barre d'armatura inclinate o parallele all'asse). Qualora ciò non potesse essere evitato ci si deve aspettare che si verifichi una riduzione nella resistenza;
- per ottenere la stima attendibile della resistenza di un'area di prova devono essere prelevate e provate almeno quattro carote (consigliabile sei);
- il rapporto lunghezza/diametro (snellezza) dei provini deve essere possibilmente compresa fra 1 e 2; si deve generalmente evitare, salvo casi particolari, che i provini abbiano snellezza inferiore a 1 o superiore a 2; per i motivi che vedremo più avanti, è consigliabile effettuare i controlli su carote di snellezza pari a 1;
- i campioni estratti devono essere protetti nelle fasi di lavorazione e di deposito rispetto all'essiccazione all'aria (vasca o camera di maturazione);
- nel programmare l'estrazione dei campioni, si deve tener conto che la resistenza del calcestruzzo dipende dalla posizione o giacitura del getto.

*Il prelievo deve essere effettuato da laboratori autorizzati*

## Stima delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo in opera mediante l'indice di rimbalzo (o sclerometrico)

Il metodo dell'indice di rimbalzo utilizza lo sclerometro per misurare l'energia elastica assorbita dal calcestruzzo a seguito di un impatto. L'energia assorbita dal calcestruzzo è correlata alla rigidità e alla resistenza meccanica mediante relazioni empiriche.

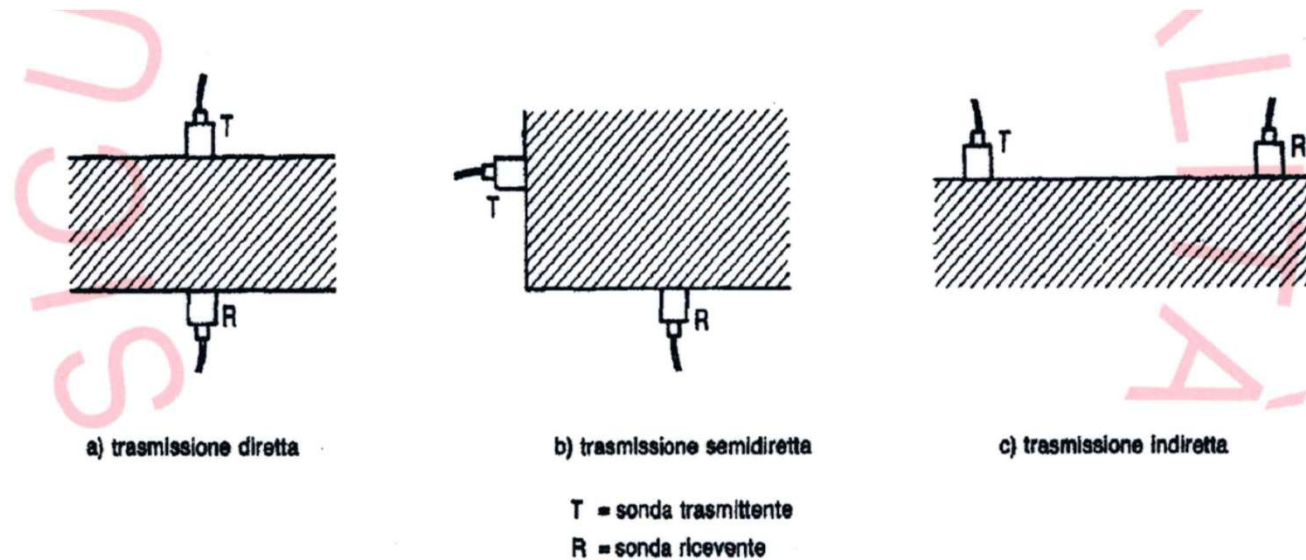
Il metodo consiste nel provocare l'impatto di una massa standardizzata contro la superficie del materiale sottoposto a prova e nel misurare l'altezza del rimbalzo (Indice di rimbalzo N)





## Stima delle caratteristiche meccaniche in opera mediante la velocità di propagazione di micro-impulsi (ultrasonici)

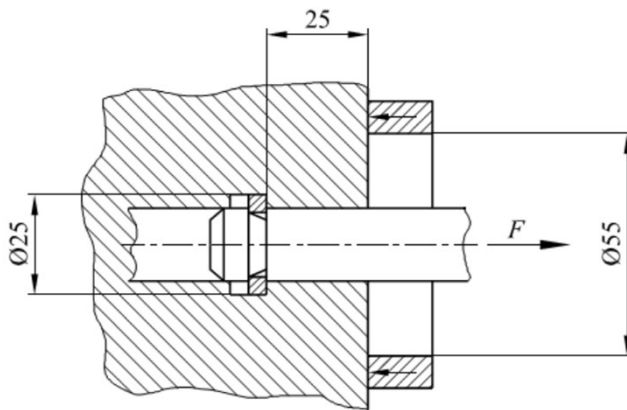
Il metodo basato sulla misura della velocità di propagazione di ultrasuoni consiste nello studio della propagazione di onde elastiche longitudinali all'interno del calcestruzzo. Caratteristica del metodo è quella di tener conto delle proprietà meccaniche globali del materiale.



*(Metodi di misura della velocità di propagazione delle onde vibrazionali)*

## Stima delle caratteristiche meccaniche in opera in base alla forza di estrazione (pull-out)

Il metodo è basato sulla misura della forza necessaria ad estrarre dal calcestruzzo un inserto metallico standardizzato. Gli inserti metallici possono essere installati nel calcestruzzo al momento del getto, predisponendoli nelle casseforme, o inseriti in fori effettuati nel calcestruzzo indurito. La forza è applicata mediante un martinetto idraulico collegato all'inserto ed un anello di reazione che contrasta con la superficie del calcestruzzo. Durante l'operazione viene estratto un cono di materiale e, pertanto, la prova è parzialmente distruttiva.



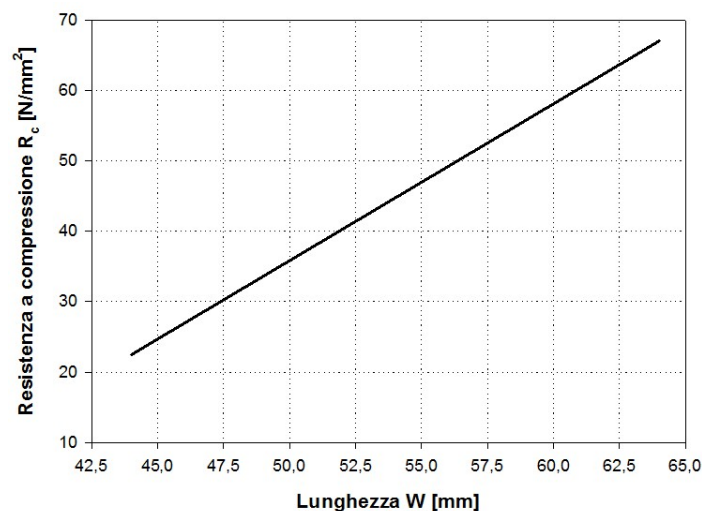
## Stima delle caratteristiche meccaniche in opera in base alla forza di estrazione (pull-out)



## Stima delle caratteristiche meccaniche in opera in base alla profondità di penetrazione di Sonde

Nella tecnica basata sulla resistenza alla penetrazione, si misura la profondità di penetrazione nel calcestruzzo di un'asta d'acciaio infissa con energia prestabilita. Il dispositivo impiegato è una speciale pistola (sonda Windsor) che utilizza una carica esplosiva normalizzata. La profondità di penetrazione della sonda è un indicatore della resistenza del calcestruzzo. Nel momento in cui la sonda si infigge nel calcestruzzo, una parte della sua energia cinetica si dissipa per attrito tra la sonda ed il calcestruzzo, mentre parte frattura e schiaccia il calcestruzzo. Generalmente la regione in cui il calcestruzzo è danneggiato ha approssimativamente la conformazione di un cono.

L'elaborazione delle misure eseguite nel corso di prove d'infissione consiste nel calcolo della media dei valori di  $W$  di ciascuna zona.





### Calcestruzzo – Punto 11.2.6 Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera

Il valor medio della resistenza del calcestruzzo in opera (definita come resistenza strutturale) è in genere inferiore al valor medio della resistenza dei prelievi in fase di getto maturati in condizioni di laboratorio (definita come resistenza potenziale). È accettabile un valore medio della resistenza strutturale, misurata con tecniche opportune (distruttive e non distruttive) e debitamente trasformata in resistenza cilindrica o cubica, non inferiore all'85% del valore medio definito in fase di progetto.

Per la modalità di determinazione della resistenza strutturale si potrà fare utile riferimento alle norme UNI EN 12504-1:2002, UNI EN 12504-2:2001, UNI EN 12504-3:2005, UNI EN 12504-4:2005 nonché alle *Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo* pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Concludendo, per il cls la relazione che lega la resistenza in opera alla resistenza convenzionale è data, rispettivamente per campioni cubici e cilindrici, da:

$$R_{cis} > 0,85 R_c$$

$$f_{cis} > 0,85 f_c$$

dove:

$$R_{cis} = f_{carota} \times F_d \times 1/0,83 \quad \text{per carote con rapporto } H/D=2$$

$$R_{cis} = f_{carota} \times F_d \quad \text{per carote con rapporto } H/D=1$$

Nel caso di rapporti altezza/diametro compresi fra 2 e 1, il coefficiente 0,83 dovrà essere modificato con interpolazione lineare (ma è sconsigliabile).

Riguardo il predetto fattore 0,83 è opportuno precisare che una serie di studi recenti ha dimostrato come lo stesso presenti un rilevante margine di variabilità in relazione ai diversi tipi di calcestruzzo. Per tale motivo, come già accennato, nelle indagini di cui trattasi è preferibile utilizzare carote con rapporto  $H/D=1$ , per le quali il coefficiente non viene applicato.

Se attraverso un'indagine effettuata mediante il prelievo di un certo numero di carote, si mira alla stima della resistenza strutturale, da confrontare con la resistenza potenziale attesa in base alla resistenza caratteristica prevista in progetto, è preferibile determinare il valore "caratteristico" della resistenza strutturale in sito fornita dalle carote (cubica  $R_{ck, is}$  o cilindrica  $f_{ck, is}$ ). Quest'ultima può essere confrontata direttamente con l'85 % del valore della resistenza caratteristica di progetto.



*Grazie per l'attenzione*

*Ing. Antonio Lucchese*



L.M.O. Ingegneri Associati