

La resistenza in opera del calcestruzzo e la revisione delle NTC 2018

dott. ing. Vincenzo D. VENTURI, libero professionista

Premessa

Le NTC 2018 sono in revisione, è il momento di chiarire come stimare il valore della resistenza in opera del calcestruzzo.

Le NTC 2018 sono attualmente in fase di revisione, è quindi questo il momento di concentrarsi su quegli argomenti e quelle prescrizioni che, nel corso di questi anni, dalla pubblicazione delle NTC 2018, il 17 gennaio 2018, fino ad oggi, hanno generato, fra gli addetti ai lavori, dibattiti e confronti e la cui applicazione ha, spesso, determinato criticità o interpretazioni contraddittorie.

Prima di entrare nel merito dell'argomento della presente nota è necessario premettere che, finalmente, l'impiego del calcestruzzo nelle strutture ha l'approccio, culturale, corretto.

La durabilità è una prestazione, e non una astrusa definizione di un paio di righe nelle norme.

Il mix design, o progetto della miscela, semplice o complesso è uno strumento di calcolo e non una procedura cabalistica.

Il calcestruzzo va "progettato" non solo nei confronti delle sollecitazioni statiche, ma anche di tutte quelle condizioni, ambientali, meteoriche, chimiche e fisiche, che costituiscono l'esercizio dell'opera. Tutto ciò conferma quanto si è consolidato in questi anni nella sempre più frequente proposta di percorsi formativi specialistici, non solo accademici ma anche di aggiornamento professionale, che sono stati, in alcuni casi, estremamente positivi come quello che nei primi anni duemila, e per quasi un decennio, ha visto l'associazione ASCI (Associazione Sperimentatori Calcestruzzi Innovativi) che, sotto la guida del prof. ing. S. Lo Presti, ha formato e certificato centinaia di tecnici i quali, dopo un esame, venivano iscritti all' "*Albo Nazionale dei Tecnologi del calcestruzzo*".

Esperienza che oggi è approdata nella recente, è dello scorso 30 novembre 2023, pubblicazione della UNI PdR 153 che prevede la formazione e la certificazione del personale tecnico preposto alla applicazione di prodotti e sistemi per la riparazione, il rinforzo, la protezione e la manutenzione di strutture di calcestruzzo armato, normale e precompresso.

La UNI PdR 153 ha individuato in tre profili professionali: il "*Caposquadra*", l' "*Assistente di cantiere*", il "*Tecnico Specialista*" i percorsi formativi necessari per garantire la qualità degli interventi, dalla produzione alla posa in opera e vede nella figura di vertice del "*Tecnico Specialista*" quanto di più simile alla fortunata definizione mediatica del "*Tecnologo del calcestruzzo*".

Non si può parlare di resistenza del calcestruzzo in opera se non si sa nulla non solo della durabilità del calcestruzzo ma anche della chimica e del degrado del calcestruzzo e delle caratteristiche tecniche e dei limiti operativi delle attività sperimentali che, in opera, consentono di determinare specifici parametri fisici, chimici e meccanici del calcestruzzo.

Al riguardo, non si può non citare la UNI PdR 56, la prassi di riferimento che ha disciplinato dal maggio 2019 la formazione e la certificazione del personale addetto ai controlli non distruttivi sulle costruzioni esistenti e che, dopo la positiva accoglienza da parte del mercato, ha visto, lo scorso gennaio 2024, evolvere la UNI PdR 56 nella corrispondente norma UNI 11931.

Un evento ancora più dirimente, rispetto alla deregulation che caratterizzava il settore dei controlli in opera, è rappresentato dall'emendamento (*legge n. 55, 14 giugno 2019, pubblicato sulla G.U. n. 140 del 17 giugno 2019*) dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/2001 che, al comma 2, lett. c-bis, ha previsto fra le attività soggette ad autorizzazione le "*Prove e controlli su materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti*".

Solo la sinergia di tutte queste conoscenze e competenze consente di estrapolare e quantificare il livello di degrado, di danneggiamento, di capacità residua di prestazione di un'opera o di un elemento strutturale.

Sono pertanto consapevole che l'argomento che sto proponendo, ovvero la "**stima del valore della resistenza in opera del calcestruzzo**" rappresenta solo uno dei molteplici aspetti che concorrono a

quantificare le criticità e la vulnerabilità di strutture e/o costruzioni in esercizio, elementi indispensabili per garantire la sicurezza d'uso e la pubblica incolumità.

Generalità

In quali casi si deve procedere alla stima della resistenza in opera

Quando si deve procedere alla “**stima del valore della resistenza in opera del calcestruzzo**”?

La risposta a questo quesito richiede di distinguere, schematicamente, almeno tre casi, due dei quali riconducibili alle *nuove costruzioni* ed uno alle *costruzioni esistenti*:

- nelle *nuove costruzioni*, quando è richiesta la soluzione della non conformità conseguente all'esito negativo dei controlli di accettazione (NTC 2018 par. 11.2.5.1 e par. 11.2.5.2), ma la resistenza a compressione in opera è finalizzata a stimare il valore commerciale della classe di resistenza;
- nelle *nuove costruzioni*, quando è richiesta la soluzione della non conformità conseguente all'esito negativo dei controlli di accettazione (NTC 2018 par. 11.2.5.1 e par. 11.2.5.2), ma la resistenza a compressione in opera è finalizzata a stimare la caratteristica meccanica da impiegare nelle verifiche strutturali (NTC 2018 par. 11.2.6);
- nelle *costruzioni esistenti*, quando la resistenza a compressione in opera è finalizzata a stimare la caratteristica meccanica da impiegare nelle verifiche strutturali (NTC 2018 par. 8.5.3 e par. 8.5.4, linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera – settembre 2017 – par. 4);

Prima di entrare nel merito di ciascun caso è opportuno chiarire alcuni aspetti:

il primo, nelle nuove costruzioni la resistenza a compressione in opera viene determinata su campioni *prelevati direttamente* dalle strutture;

- *disturbati*, dall'utensile di taglio, rispetto ai provini convenzionali;
- *decompressi*, dopo l'estrazione;
- *manipolati* (taglio, rettifica,...) prima della prova;

mentre il controllo di accettazione prevede l'applicazione di due disequaglianze ai risultati ottenuti dall'esecuzione della prova su provini convenzionali cubici, o cilindrici, che sono invece:

- *confezionati* in casseri di ridotte dimensioni, in assenza di armature e dopo essere stati correttamente omogeneizzati;
- *compattati* “a rifiuto”, quindi nelle condizioni di massimo addensamento;
- *stagionati* in condizioni di saturazione, quindi in una condizione ottimale per l'idratazione del cemento;
- *prelevati*, salvo specifico e diverso avviso, “a bocca di betoniera” e non dalle strutture;
- *estratti* dai casseri, dopo il confezionamento, senza alcun disturbo;



Figura 1a - 1b - Camera umida (UNI EN 12390-2), casseri cubici (UNI EN 12390-1)

il secondo, sia le nuove costruzioni che le costruzioni esistenti contemplano la stessa richiesta, ovvero “...stimare la caratteristica meccanica da impiegare nelle verifiche strutturali...” ma con riferimenti a procedure previste in due diversi capitoli delle NTC 2018, rispettivamente il par. 11.2.6 ed i parr. 8.5.3 e 8.5.4.



Figura 2a-2b – Prelievo di calcestruzzo mediante carotaggio e profilo di carbonatazione

Ci si attenderebbe una coincidenza sostanziale, di metodo, fra le due procedure, che dovrebbero essere diverse solo per qualche variabile da ricondurre alla specificità dei due casi, p.e. il livello di conoscenza e la rappresentatività delle attività che ne conseguono; la presenza di fenomeni di degrado; la presenza di un quadro fessurativo; le effettive e reali condizioni di esercizio, etc....

È evidente che nella procedura indicata per le *nuove costruzioni*, si può affermare, senza timore di essere smentiti, che il livello di conoscenza è sempre più che dettagliato; infatti sono sempre presenti i disegni strutturali, le relazioni di calcolo, la qualifica dei materiali,...; e che, salvo casi specifici ed eccezionali, si può escludere la presenza di fenomeni di degrado o quella di un quadro fessurativo o che il manufatto abbia subito sollecitazioni più severe o diverse da quelle di esercizio.

La procedura prevista per le *costruzioni esistenti* deve invece risentire delle diversità che caratterizzano, generalmente, il patrimonio edilizio ed infrastrutturale e che sono funzione di molteplici variabili, variabili che rendono, di volta in volta, ogni manufatto un “prototipo”.

Condizione questa che può rendere ogni schematizzazione approssimativa e dove solo la competenza del Professionista incaricato e la specificità di ciascuna opera possono concorrere a definire le procedure sperimentali necessarie alla verifica della vulnerabilità e dove le schematizzazioni delle tabb.C8.5.IV, C8.5.V C8.5. VI, devono essere assunte come riferimenti qualitativi e mai come limiti “prescrittivi”.

In realtà, come si vedrà più avanti, le due procedure sono concettualmente diverse, per le *nuove costruzioni* viene prevista la stima del valore caratteristico della resistenza sperimentale in opera, con riferimento alla UNI EN 13791:2008 mentre per le *costruzioni esistenti* viene prevista l’applicazione dei fattori di confidenza FC, di cui alla tab.8.5.IV, al valor medio determinato sperimentalmente in opera.

In maniera non comprensibile le NTC 2018 assegnano alle *nuove costruzioni* il metodo più rigoroso, e corretto, ovvero la valutazione del valore caratteristico e consentono invece di adottare, per le *costruzioni esistenti*, il valore medio vanificando in tal modo la possibilità di apprezzare la dispersione del campione di risultati sperimentali e la sua corrispondente qualità.

Il terzo, riguarda l’impiego di prove indirette, non distruttive (PnD), nella determinazione della resistenza a compressione del calcestruzzo in opera, impiego suggerito e consentito dalle NTC 2018, e dalle linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera – settembre 2017.



Figura 3a, 3b, 3c, 3d – Controlli non distruttivi sul calcestruzzo armato in opera, Sclerometro, Pull-out, Ultrasuoni e Durezza di barre di armatura

Il ricorso alle PnD in certi casi è opportuno, per la loro evidente non invasività, e il loro impiego è certamente auspicabile quando non devono risolvere Non Conformità o contenziosi ed è quindi richiesto da un Professionista/Progettista che può compensare l'eventuale dispersione dei risultati con un opportuno dimensionamento dell'intervento.

I benefici che derivano dall'impiego delle PnD non consentono però di **considerare le PnD interamente sostitutive delle prove dirette**, di compressione su provini prelevati in opera, la cui numerosità (delle prove dirette) deve rimanere sempre statisticamente rappresentativa e tale da garantire l'elaborazione di una curva di taratura con un grado di correlazione adeguato ed un livello di confidenza accettabile.

Variabili che influenzano la Resistenza del Calcestruzzo in opera

Nelle *nuove costruzioni*, quando è richiesta la soluzione della non conformità conseguente all'esito negativo dei controlli di accettazione (NTC 2018 par. 11.2.5.1 e par. 11.2.5.2), ma è finalizzata a stimare il valore commerciale della classe di resistenza.

È questo il caso più frequente e di maggiore impatto mediatico, dal quale è infatti scaturita, in passato, la definizione di “*calcestruzzo depotenziato*” definizione tanto fortunata, nell’uso comune, quanto scientificamente irricevibile.

Esemplificando, se la qualità della fornitura del calcestruzzo è riconducibile alla miscela qualificata ed autorizzata dal Direttore dei lavori e la verifica è a “*bocca di betoniera*”, la responsabilità della eventuale non conformità è del fornitore/preconfezionatore, se invece la verifica è “*in situ*”, eseguita quindi su calcestruzzo prelevato in opera, si deve considerare che la qualità del calcestruzzo dipende non solo dalla qualità del prodotto fornito ma anche dalle modalità di posa in opera e di compattazione e dalle condizioni meteoriche e di stagionatura.

In questo caso la responsabilità della eventuale non conformità può essere attribuita non solo al fornitore/preconfezionatore ma anche all’impresa che ha curato la posa in opera ed il cosiddetto “curing”..

Tutto ciò premesso è opportuno precisare che le NTC non sono mai riferite ad aspetti commerciali, ragione per cui la presente nota pur rilevando l’incongruenza di applicare criteri di conformità e procedure, contenute nelle NTC 2018, a dinamiche commerciali, e/o di altra natura (p.e. procedimenti giudiziari, ...), conferma che l’eventuale revisione delle NTC 2018 non può contemplare la risposta a questi quesiti, che deve essere, invece, onere e competenza delle Stazioni Appaltanti, degli Stakeholder, che devono disciplinare nel CSA, *lex specialis*, per il tramite della figura del Progettista, le procedure con le quali gestire le Non conformità commerciali e le relative responsabilità e competenze.

Variabili che influenzano la Resistenza del Calcestruzzo in opera

Nelle *nuove costruzioni*, quando è richiesta la soluzione della non conformità conseguente all’esito negativo dei controlli di accettazione (NTC 2018 par. 11.2.5.1 e par. 11.2.5.2), ma è finalizzata a stimare la caratteristica meccanica: *la resistenza caratteristica a compressione, da impiegare nelle verifiche strutturali* (NTC 2018 par. 11.2.6);

Il ricorso alla stima della resistenza in opera, nelle nuove costruzioni, deve essere sempre meditato opportunamente e con la consapevolezza che non deve essere mai intesa come un’attività sostitutiva dei controlli su provini convenzionali cubici, o cilindrici.

Devono sempre essere preventivamente individuate le finalità e gli obiettivi da raggiungere.

Il prelievo in opera è sempre un intervento invasivo, che determina una sia pure limitata soluzione di continuità nell’omogeneità della sezione di calcestruzzo, per cui l’ubicazione dei prelievi deve essere individuata, sulla scorta degli elaborati di progetto, nelle zone meno sollecitate e meno dense di armatura.

Durante il prelievo si può evitare il taglio dell’armatura con il ricorso preliminare a tecniche non distruttive, come il metodo magnetometrico, o pacometrico, nonostante ciò non può essere escluso, a priori, che durante il carotaggio si intercetti, e si tagli, qualche barra.

I metodi non distruttivi possono essere utilizzati singolarmente o in maniera combinata fra loro SonReb (Sonic-Rebound) o SonEx¹ (Sonic-Extraction) ma devono potersi riferire sempre ad una curva di taratura che può essere prevista preventivamente, p.e. nel CSA, oppure può essere realizzata successivamente mediante il prelievo, statisticamente rappresentativo, di almeno 15 campioni (carote) in opera.

I fattori, e quindi i coefficienti, che in estrema sintesi si dovrebbero considerare sono: il coefficiente F_d , previsto nella *circolare CSLLPP n° 7 del 21 gennaio 2019* e già presente nelle *Linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera – settembre 2017*, di cui alla successiva tabella di Fig. 4:

Tabella C11.2.6.L- Fattore di disturbo in funzione della resistenza a compressione delle carote (H/D=1; d=100 mm)

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

Fig. 4 – Fattore di disturbo. (Rif. bibl. circolare CSLPP n° 7 del 21 gennaio 2019)

un altro coefficiente che le NTC potrebbero esplicitare è il coefficiente f_{FE} relativo alla, eventuale, presenza di armatura nel campione (carota) prelevato.

La relazione che segue (Fig. 5) consente di stimare, in maniera cautelativa, il disturbo indotto sul campione dalla presenza e dal taglio della barra.

$$f_{Fe} = 1 + 1,5 \cdot \left[\left(\frac{\Phi}{d} \right) \cdot \left(\frac{d'}{h} \right) \right] \quad [1]$$

dove: - Φ è il diametro del tondino in mm
- d è il diametro della carota in mm
- d' è la distanza del tondo dalla base più vicina della carota in mm
- h è l'altezza della carota in mm.

Fig. 5 – Coefficiente f_{Fe} (Rif. bibl. Concrete tender - prof. ing. L. Coppola)

I valori, opportunamente corretti grazie ai coefficienti F_d e f_{FE} , possono far parte dell'insieme statistico indispensabile per stimare il valore della Resistenza in opera la cui procedura, nello specifico delle NTC 2018, è quella descritta dalla UNI EN 13791:2008 che prevede di scegliere il valore minimo fra i due proposti nel seguito:

7.3.2

Approccio A

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

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k_2 \times s \quad (1)$$

oppure

$$f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4 \quad (2)$$

dove:

s è lo scarto tipo dei risultati di prova oppure 2,0 N/mm², quale che sia il valore maggiore;

k_2 è indicato nelle disposizioni nazionali oppure, in caso di mancata indicazione dei valori, considerato pari a 1,48.



UNI EN 13791:2008

© UNI

Pagina 14

Fig. 6A – Approccio A. (Rif. bibl. UNI EN 13791:2008)

La UNI EN 13791:2008 prevede, nel caso in cui il campione sia numericamente ridotto, anche un Approccio B che compensa la minore rappresentatività statistica con il ricorso a dei coefficienti forfettari decrescenti in funzione della maggiore numerosità del campione di dati:

7.3.3

Approccio B

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

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k \quad (3)$$

oppure

$$f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4 \quad (4)$$

Il margine k dipende dal numero n di risultati di prova, e il valore corrispondente è selezionato dal prospetto 2.

prospetto 2

Margine k associato a piccole quantità di risultati di prova

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

Fig. 6B – Approccio B. (Rif. bibl. UNI EN 13791:2008)

Nel seguito vengono analizzati i risultati riconducibili ai controlli di accettazione eseguiti nell'ambito delle attività di costruzione di un viadotto, nello specifico l'esecuzione di due diverse pile da ponte alte circa 50 m con calcestruzzo di classe C35/45.

È omesso il dettaglio dell'esito delle prove di accettazione eseguite sui provini cubici, convenzionali, che, in entrambi i casi, ha restituito esito negativo.

In conseguenza dei risultati negativi il Direttore dei lavori ha aperto la non conformità e previsto come azione correttiva il prelievo di 18 carote, una per ogni giorno di getto.

Il laboratorio Sidercem, in possesso dei requisiti previsti (autorizzazione MIT, D.P.R. n° 380/2001, art. 59, comma 2, lettera a e lettera c-bis), ha eseguito i prelievi in situ e le prove di laboratorio.

I prelievi sono sempre stati preceduti dal rilievo magnetometrico che ha consentito di evitare il taglio delle barre ($f_{FE} = 1$).

Tutti i campioni sono stati ridotti a provini con rapporto altezza diametro: $h/d = 1$.

Il valore sperimentale della resistenza alla compressione $R_{c,car}$ è stato "corretto" per il solo effetto del disturbo del prelievo (F_d) con i coefficienti di cui alla tabella C11.2.6.I (fig. 4).

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18
$R_{c,car}(1)$	43,5	45,4	46,3	41,9	31,9	36,9	40,0	43,1	39,9	39,6	38,9	38,5	41,4	44,7	39,7	39,9	38,8	43,9
$R_{c,car}(2)$	43,3	45,8	48,6	48,8	46,1	35,9	47,9	32,9	42,2	36,9	45,8	41,7	29,9	41,9	32,8	31,8	44,3	31,8
$F_d(1)$	1,06	1,06	1,04	1,08	1,09	1,08	1,08	1,06	1,09	1,08	1,08	1,08	1,06	1,06	1,08	1,08	1,08	1,06
$F_d(2)$	1,06	1,06	1,04	1,06	1,1	1,04	1,06	1,09	1,1	1,08	1,06	1,06	1,1	1,1	1,06	1,06	1	1,08
f_{FE}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$f_{c,i}(1)=F_d(1) \times R_{c,car}$	46,1	48,1	48,2	45,3	34,8	39,9	43,2	45,7	43,5	42,8	42,0	41,6	43,9	47,4	42,9	43,1	41,9	46,5
$f_{c,i}(2)=F_d(2) \times R_{c,car}$	45,9	48,5	50,5	51,7	50,7	37,3	50,8	35,9	46,4	39,9	48,5	44,2	32,9	46,1	34,8	33,7	44,3	34,3
serie	1	2																
$f_{media, is}$	43,7	43,1																
$f_{min, is}$	34,8	32,9																
s	3,3	6,7																
$f_{ck, is} = f_{min, is} + 4s$	38,8	36,9																
$f_{ck, is} = f_{media, is} - 1.48s$	38,9	33,2																
$R_{ck, is, c} = f_{ck, is} / 0.85$	45,7	39,0																

Fig. 7– Esempi numerici, Approccio A.

Le due serie numeriche, rispettivamente 1 e 2, sono caratterizzate da grandezze statistiche che permettono di fare le seguenti osservazioni:

la prima, il valor medio è, nei due casi, praticamente dello stesso ordine di grandezza:

$$f_{media, is}(1) = 43.7 \text{ MPa};$$

$$f_{media, is}(2) = 43.1 \text{ MPa};$$

la seconda, anche i valori minimi sono praticamente confrontabili e rispettivamente pari a:

$$f_{min, is}(1) = 34.8 \text{ MPa};$$

$$f_{min, is}(2) = 32.9 \text{ MPa};$$

la terza, le differenze significative, che consentono di qualificare nel modo corretto l'indagine, si rilevano nei valori dello scarto quadratico medio, che nel caso della serie 1 è:

$$s(1) = 3.3 \text{ MPa};$$

e della serie 2 è:

$$s(2) = 6.7 \text{ MPa},$$

La verifica di conformità è positiva se è verificata la disuguaglianza:

$$f_{ck, is} \geq 0.85 \cdot R_{ck} = 0.85 \cdot 45 = 38.2 \text{ MPa dove:}$$

fra il valore determinato sperimentalmente di $f_{ck, is}$ e l'85% del valore della resistenza caratteristica di progetto R_{ck} e dove:

$$f_{ck, is} = f_{media, is} - 1.48 \cdot s$$

L'esito della verifica:

serie (1):

$$f_{ck, is} = 43.7 - 1.48 \cdot 3.3 = \mathbf{38.9} \geq 0.85 \cdot R_{ck} = 0.85 \cdot 45 = \mathbf{38.2} \text{ MPa; CONFORME}$$

serie (2):

$$f_{ck, is} = 43.1 - 1.48 \cdot 6.7 = \mathbf{33.2} \geq 0.85 \cdot R_{ck} = 0.85 \cdot 45 = \mathbf{38.2} \text{ MPa; NON CONFORME}$$

è evidente come la maggiore dispersione dei risultati nella serie (2) determini la scelta di un valore più conservativo della resistenza caratteristica di calcolo, $R_{ck, is, c}$ calcolata come nel seguito:

$$R_{ck, is, c} = f_{ck, is} / 0.85, \text{ e quindi rispettivamente:}$$

$$R_{ck, is, c} = f_{ck, is} / 0.85 = 45.8 \text{ MPa della serie (1);}$$

e

$R_{ck, is, c} = f_{ck, is} / 0.85 = 39.1 \text{ MPa}$ della serie (2).

Concludendo, la non conformità si può considerare risolta senza ulteriori sviluppi per la serie (1), per la serie (2) invece il calcestruzzo fornito va declassato alla classe inferiore C30/37 e devono essere eseguite le verifiche di calcolo al valore effettivo, determinato sperimentalmente, di 39.1 MPa in funzione del quale vanno dimensionati anche gli eventuali interventi di rinforzo.

Variabili che influenzano la Resistenza del Calcestruzzo in opera

nelle costruzioni esistenti, quando è finalizzata a stimare la caratteristica meccanica: *la resistenza caratteristica a compressione, da impiegare nelle verifiche strutturali (NTC 2018 par. 8.5.3 e par. 8.5.4, linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera – settembre 2017 – par. 4);*

Se assumiamo ora che le due serie (1 e 2) si riferiscano a due pile di un'opera di uguali caratteristiche della precedente, in esercizio e pertanto classificata come *costruzione esistente*, il percorso che il Professionista, incaricato delle verifiche e del progetto degli eventuali interventi di rinforzo, deve seguire è disciplinato dal *cap. 8 Costruzioni esistenti* delle *NTC 2018*.

Nonostante il *par. 8.5.3 Caratterizzazione meccanica dei materiali* reciti testualmente:

*“I valori di progetto delle resistenze meccaniche dei materiali verranno valutati sulla base delle indagini e delle prove effettuate sulla struttura, **tenendo motivatamente conto dell’entità delle dispersioni**, prescindendo dalle classi discretizzate previste nelle norme per le nuove costruzioni.”*

Approccio che viene confermato nel successivo *par. 8.7.2 Costruzioni in calcestruzzo armato o in acciaio* che prevede:

*“Per il calcolo della capacità di elementi/meccanismi duttili **si impiegano le proprietà dei materiali esistenti, determinate secondo le modalità indicate al § 8.5.3, divise per i fattori di confidenza corrispondenti al livello di conoscenza raggiunto.***

*Per il calcolo della capacità di elementi/meccanismi fragili, **le resistenze dei materiali si dividono per i corrispondenti coefficienti parziali e per i fattori di confidenza corrispondenti al livello di conoscenza raggiunto.**”*

Quanto richiamato sembrerebbe indicare una procedura di gestione dei risultati sperimentali che tenga conto “della entità delle dispersioni” e invece la successiva *circolare n° 7/CSLLPP del 7 gennaio 2019*, in maniera, apparentemente, incomprensibile al *par. C8.5.4.2 Costruzioni di calcestruzzo armato o di acciaio*, prevede:

*“I fattori di confidenza, determinati in funzione del livello di conoscenza acquisito, **vengono applicati ai valori medi delle resistenze dei materiali ottenuti dai campioni di prove distruttive e non distruttive, per fornire una stima dei valori medi delle resistenze dei materiali della struttura, entro l’intervallo di confidenza considerato.**”*

Principio che viene ribadito nel successivo *par. C8.7.2.2 Metodi di analisi e criteri di verifica*, che indica:

*“a. per definire le resistenze dei materiali da utilizzare nelle formule di capacità degli elementi duttili e fragili; **le resistenze medie, ottenute dalle prove in situ e dalle informazioni aggiuntive, sono divise per i fattori di confidenza.**”*

Esemplificando, consideriamo che all'opera, il viadotto, in virtù del ridotto periodo in esercizio, dell'assenza di degrado e di quadro fessurativo, della documentazione tecnica completa ed esauriente, si possa assegnare un livello di conoscenza LC3, cui corrisponde un fattore di confidenza FC = 1, che rappresenta quindi il valore da applicare ai valori medi delle due serie.

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18
Rc,car(1)	43,5	45,4	46,3	41,9	31,9	36,9	40,0	43,1	39,9	39,6	38,9	38,5	41,4	44,7	39,7	39,9	38,8	43,9
Rc,car(2)	43,3	45,8	48,6	48,8	46,1	35,9	47,9	32,9	42,2	36,9	45,8	41,7	29,9	41,9	32,8	31,8	44,3	31,8
Fd(1)	1,06	1,06	1,04	1,08	1,09	1,08	1,08	1,06	1,09	1,08	1,08	1,08	1,06	1,06	1,08	1,08	1,08	1,06
Fd(2)	1,06	1,06	1,04	1,06	1,1	1,04	1,06	1,09	1,1	1,08	1,06	1,06	1,1	1,1	1,06	1,06	1	1,08
f _{FE}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
fc,i(1)=Fd(1)xRc,car	46,1	48,1	48,2	45,3	34,8	39,9	43,2	45,7	43,5	42,8	42,0	41,6	43,9	47,4	42,9	43,1	41,9	46,5
fc,i(2)=Fd(2)xRc,car	45,9	48,5	50,5	51,7	50,7	37,3	50,8	35,9	46,4	39,9	48,5	44,2	32,9	46,1	34,8	33,7	44,3	34,3
	serie	serie	FC =	1	1													
	1	2		f _{media, is} /FC														
f _{media, is}	43,7	43,1		43,7	43,1													
f _{min, is}	34,8	32,9																
s	3,3	6,7																

Fig. 8 – Esempi numerici, applicazione ai valori medi di FC.

È immediatamente evidente come il ricorso ai valori medi, dei risultati sperimentali, non consente in alcun modo la gestione “statistica” dei risultati sperimentali ed impedisce nei fatti di considerare in maniera corretta l’entità delle dispersioni.

Il ricorso al valore medio penalizza la struttura, sia pure non eccessivamente, nel caso della serie (1) e nel caso della serie (2) determina una procedura “non conservativa” nella stima della qualità delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo.

Conclusioni

Non ho la presunzione di poter proporre i termini con cui affrontare la revisione delle NTC 2018 sono però consapevole che una riflessione andrebbe fatta su quanto segue:

- che le NTC devono limitarsi ad indicare le procedure più opportune per classificare, in opera, la qualità dei materiali ai fini delle sole verifiche strutturali;
- che la UNI EN 13791:2008 vada aggiornata alla UNI EN 13791:2019 che consente una migliore valutazione statistica dei risultati sperimentali e che deve essere applicata tanto alle *nuove costruzioni* che alle *costruzioni esistenti*;
- che nelle strutture in esercizio la qualità dei materiali non può prescindere dalla analisi storica, dalle condizioni di degrado, dal quadro fessurativo delle quali bisogna dare opportuno riscontro nelle verifiche e nei calcoli strutturali.

note

¹ Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera mediante procedura innovativa per l’esecuzione standardizzata della prova di estrazione (pull out) con tasselli post-inseriti. Applicazione del metodo Sonex. Dott. Stefano Bufarini, Dott. Vincenzo D’Aria, Prof. Ing. Fabrizio Gara - Atti del Congresso Nazionale dell’Associazione “MATERIALS AND STRUCTURES, TESTING AND RESEARCH (MASTER)”, 14-15 Novembre 2018 - Parma.