

## Interpretazione della Norma in merito al controllo della qualità del calcestruzzo in sito mediante carotaggio

di Vito Alunno Rossetti, Antonella Ferraro

### Premessa

Il controllo della qualità del calcestruzzo, e in particolare della resistenza a compressione, è una fase essenziale per la sicurezza di una struttura. Oltre all'aspetto sicurezza, che ovviamente riveste una rilevanza prioritaria, il controllo della qualità del calcestruzzo, sia in fase di getto che in opera, è finalizzato a verificare che il materiale fornito sia conforme a quello richiesto/specificato. Quest'ultimo aspetto, prettamente commerciale/contrattuale, è molto importante nelle dispute sulla qualità del calcestruzzo in nuove strutture. Tuttavia le Norme Tecniche e gli altri riferimenti normativi (Circolare, Linee Guida e Norme UNI), oltre a dare indicazioni non del tutto equivalenti, trascurano quasi del tutto questo aspetto, sviluppando esclusivamente quello strutturale. Per questo motivo, nell'ambito dei frequenti contenziosi, si verifica spesso che il requisito di accettabilità strutturale venga erroneamente applicato anche alla qualità del calcestruzzo in fornitura. In tale contesto, ha un ruolo cruciale l'operato dei laboratori, in particolare per quanto concerne la determinazione della resistenza a compressione del calcestruzzo in sito mediante carotaggio. Questi purtroppo, non sempre eseguono il prelievo e la prova a compressione delle carote con l'accuratezza che potrebbe essere ottenuta applicando rigorosamente le

modalità descritte nelle norme UNI, determinando spesso risultati non corretti. Gli Autori della presente nota hanno già affrontato parte di questo argomento<sup>1</sup>. Nel seguito si evidenziano le principali difficoltà che si incontrano nell'applicazione dei riferimenti normativi vigenti, qualora si voglia verificare la qualità del calcestruzzo in sito e in fornitura mediante prove di compressione su carote, distinguendo i due aspetti di cui sopra, spesso confusi, allo scopo di dare un contributo al loro chiarimento.

### Metodiche di valutazione della qualità del calcestruzzo

Nei paragrafi seguenti si analizza il modo in cui deve essere valutata la qualità del calcestruzzo, sia alla fornitura sia in sito. Si tratta di un argomento complesso sotto vari punti di vista, anche perché i riferimenti normativi non sono completamente esaustivi. Nel discutere i diversi aspetti, per maggiore chiarezza, ci si avvale di una rappresentazione schematica riportata in Figura 1.

### Controllo di qualità del calcestruzzo durante la fornitura

Il calcestruzzo, nonostante le implicazioni sulla sicurezza, è probabilmente l'unica merce scelta e pagata in base ad una caratteristica, la resistenza a compressione, che non può essere controllata all'atto dell'ac-

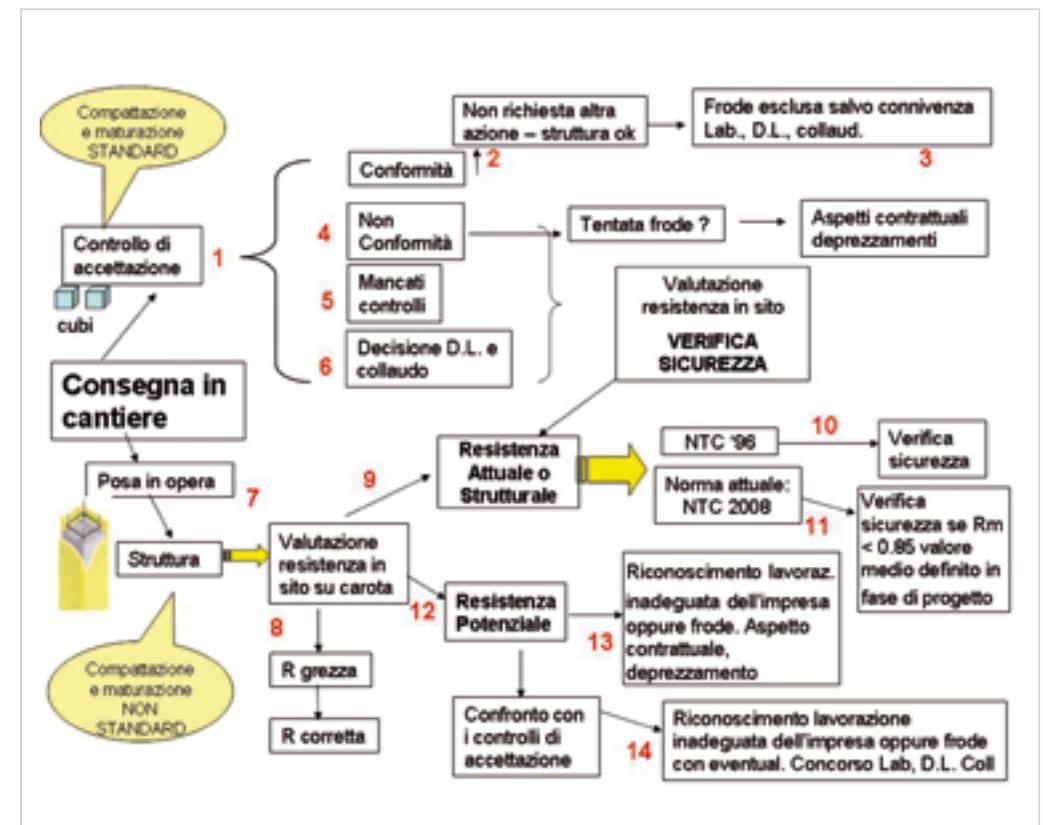


Fig. 1 - Fasi del controllo del calcestruzzo, in fornitura e in sito.

quisto e dell'impiego; la Norma (Norme Tecniche DM 14.01.2008), prevede pertanto che si esegua il "Controllo di accettazione" (1 nello schema, di Figura 1) che consente di riconoscere tale caratteristica, dopo 28 giorni dalla posa in opera nelle strutture del conglomerato fornito. Detto controllo si esegue su provini di calcestruzzo prelevati a piè d'opera, compattati e maturati nel modo standard previsto dalla normativa, che risulta anche il modo ottimale, così da sviluppare la cosiddetta "resistenza potenziale". Se il controllo di accettazione effettuato, obbligatorio per il Direttore dei Lavori, risulta positivo, il calcestruzzo è conforme e come

previsto dalla Normativa, non si richiedono ulteriori azioni di controllo o verifiche. In tal caso, entrambi gli aspetti sono automaticamente soddisfatti, sia la sicurezza strutturale sia i rapporti contrattuali/commerciali tra il produttore di calcestruzzo e l'impresa (2 nello schema). La necessità del controllo della qualità del calcestruzzo in sito nasce quando i controlli di accettazione mancano o non sono positivi oppure sorgano dubbi sulla qualità e rispondenza del calcestruzzo ai valori di resistenza determinati nel corso della qualificazione della miscela.

Alla luce dei numerosi casi di processi generati da ipotesi di "calcestruzzo depoten-

<sup>1</sup> Si veda l'articolo: V. ALUNNO ROSSETTI, A. FERRARO "Normativa e controllo di qualità del calcestruzzo: dalla produzione alla verifica in sito" IN CONCRETO n. 76, pagina 72, Maggio 2007

ziato”, come si è espressa fantasiosamente la stampa, in questa nota il panorama si è esteso anche alle possibilità di compiere frode nelle forniture di conglomerato; pertanto potrebbe essere possibile il seguente scenario:

- qualora il controllo di accettazione risulti positivo la frode non può essere esclusa; infatti per l'impresa sarebbe possibile realizzarla se fossero conniventi il Laboratorio e/o la Direzione Lavori e/o il Collaudatore (3);
- qualora il controllo di accettazione risulti frequentemente o sistematicamente negativo (calcestruzzo non conforme, punto 4 dello schema), se ne dedurrebbe l'incapacità dell'impresa di produrre o rifornirsi di un conglomerato idoneo. Si potrebbe anche configurare un maldestro tentativo di frode; *deve essere verificata la sicurezza;*
- se per qualsiasi motivo mancano i controlli di accettazione (5); *deve essere verificata la sicurezza;*
- anche se i controlli di accettazione sono positivi, se per qualsiasi motivo il Direttore dei Lavori o il Collaudatore lo ritengono necessario, possono decidere (6) che venga *verificata la sicurezza*. *Per la verifica della sicurezza è necessaria la determinazione della resistenza in sito del calcestruzzo (8).*

#### **Controllo di qualità del calcestruzzo in sito; resistenza strutturale e potenziale**

Poiché il calcestruzzo nelle strutture non è compattato e tanto meno maturato in condizioni ottimali, ma con le modalità che l'impresa vuole e riesce ad attuare (7), la resistenza in sito risulta di regola inferiore a quella dei cubi standard dei controlli di accettazione: questo aspetto è ben evidenziato dalle Nor-

me Tecniche. Inoltre le modalità di misura della resistenza in sito invariabilmente interferiscono con la resistenza e quindi si richiedono sempre correzioni rispetto al valore determinato. Ai fini della normativa da un lato, e per gli aspetti contrattuali (non contemplati dalla norma) dall'altro, si debbono pertanto determinare due valori:

- 1) la resistenza in sito, **strutturale**, (definita anche attuale, NTC 2005), che rende possibile la verifica della sicurezza;
- 2) la resistenza **potenziale**, ovvero quella che il calcestruzzo in sito avrebbe fornito qualora determinata con il metodo standard; questa rende possibile valutare la corrispondenza della qualità del calcestruzzo a quanto pattuito contrattualmente, o al contrario l'esistenza di una non conformità o, eventualmente una frode.

Con riferimento al metodo che fornisce i risultati più attendibili, ovvero al carotaggio<sup>2</sup>, si deve procedere prelevando delle carote, ricavarne dei provini, schiacciarli ottenendo una resistenza grezza delle carote, apportare le opportune correzioni, ricavando il valore della resistenza corretta (8), e da questa la resistenza attuale o strutturale (9) (media o caratteristica) oppure, mediante opportune formule, da scegliere tra quelle reperibili in letteratura, si può valutare la resistenza potenziale (12).

#### **Utilizzo della resistenza strutturale**

Per comprendere più facilmente la necessità di valutare la resistenza strutturale e l'utilizzo del valore individuato secondo la nuova normativa, evitando di confonderla con la resistenza potenziale, è opportuno rifarsi alla norma, del 1996 (punto 10 dello schema). Secondo questa, se per uno o più motivi tra quelli elencati al punto 2.1 precedente “una prescrizione del controllo di accetta-

zione non risulta rispettata occorre procedere ad un controllo teorico e/o sperimentale della struttura interessata” sulla base della resistenza ridotta del conglomerato, procedendo poi a diverse azioni a seconda del livello di sicurezza riscontrato. Anche secondo la Normativa attuale (11), l'opera non conforme ai controlli di accettazione non può essere accettata e si deve procedere “ad un controllo teorico e/o sperimentale della sicurezza della struttura di interessata” (NTC '08, par. 11.2.5.3).

Tuttavia l'esecuzione del controllo della sicurezza non è più automaticamente obbligatoria e slegata come in precedenza dal valore trovato della resistenza in sito; la qualità del calcestruzzo in sito è giudicata **accettabile (si ricorda che la procedura si attua ai fini strutturali) senza la verifica della sicurezza in base alla resistenza ridotta**, se la resistenza media in opera non è inferiore all'85% del valore medio definito in fase di progetto (NTC '08 – par. 11.2.6). Le precedenti considerazioni sono del tutto elementari; si è comunque ritenuto necessario svilupparle allo scopo di chiarire che “**l'accettabilità**” della resistenza del calcestruzzo in opera, di cui parla la norma, è circoscritta nell'ambito della valutazione della **sicurezza della struttura**, mentre non può costituire una scorciatoia per la valutazione della qualità del calcestruzzo in fornitura, ovvero la resistenza potenziale. In altre parole un'eventuale carenza della resistenza in sito rispetto al valore dell'85% del valore medio definito in fase di progetto, non deve assolutamente essere messa in relazione (come a volte si verifica) con la resistenza potenziale.

Un esempio può chiarire questo concetto:

- un confezionatore fornisce un calcestruzzo di buona qualità; ▶

<sup>2</sup> Vito ALUNNO ROSSETTI “Il Calcestruzzo – materiali e tecnologia”, McGraw-Hill, 2007, pagina 298

- l'impresa non lo compatta in modo accurato, la massa volumica è molto bassa, e altrettanto la resistenza a compressione (<85% Rc di progetto).

È ovvio e palese che la valutazione della qualità del calcestruzzo in fornitura (la resistenza potenziale) è indispensabile per la corretta attribuzione della responsabilità, mentre il semplice riferimento al valore limite ammesso porta a conclusioni errate! Certamente un maggiore sviluppo di questo argomento nelle NTC o per lo meno maggiori chiarimenti, sarebbero stati utili per la corretta soluzione dei contenziosi che coinvolgono il fornitore del calcestruzzo.

Sembra però palese l'intento del Legislatore di astenersi dall'intervenire in questa problematica; ciò trova spiegazione nel fatto che nella Norma si vuole confermare il massimo interesse nell'aspetto strutturale, mentre non si ritiene opportuno intervenire in situazioni forse confuse, in cui:

- la qualità del calcestruzzo in sito può dipendere sia dalla qualità del prodotto fornito sia dalle modalità operative dell'impresa;
- non esiste a tutt'oggi un metodo generalmente accettato per la valutazione della resistenza potenziale a partire dalla resistenza su carote;
- neppure la UNI EN 13791 dà indicazioni applicabili.

#### Utilizzo della resistenza potenziale

Dal valore delle resistenze cubiche in sito corrette, è possibile ricavare, utilizzando formule reperibili in letteratura<sup>3</sup>, la resistenza potenziale (12), ovvero la resistenza che il calcestruzzo usato in opera avrebbe rag-

giunto qualora compattato e maturato in modo standard, con le modalità dei controlli di accettazione.

La valutazione della resistenza potenziale a partire dalla resistenza in sito riveste evidentemente importanza non tanto per gli aspetti strutturali dell'opera, quanto per ciò che riguarda gli aspetti contrattuali (13); se la resistenza potenziale risulta inferiore alla resistenza nominale in fornitura, ciò può essere dovuto:

- ad una lavorazione inadeguata dell'impresa, da verificare con un controllo della porosità e della massa volumica dei provini (nell'espressione della resistenza potenziale si tiene conto del fatto che in opera il calcestruzzo non può essere compattato come nei provini standard, ma deve avere un'adeguata lavorazione),
- oppure al fatto che il calcestruzzo in fornitura non era conforme. In entrambi i casi (anche se i responsabili sono diversi) si potrà procedere ad azioni di carattere commerciale (deprezzamento... risarcimento...) ed eventualmente si potrà configurare la frode nella fornitura. Infine, dal confronto dei valori della resistenza potenziale con quelli raccolti nell'ambito dei controlli di accettazione (qualora i primi siano sicuramente negativi e questi ultimi risultino positivi) si potrà verificare la prima delle 2 possibilità di cui sopra oppure riconoscere eventualmente la frode (14) con il concorso del Laboratorio prove, ed eventualmente del Direttore dei Lavori e del Collaudatore.

#### Valore medio di progetto della resistenza

Secondo la Norma: "in sede di previsioni progettuali, è possibile passare dal valore

<sup>3</sup>Ad esempio il Rapporto 11 della Concrete Society, oppure l'equazione proposta dall'ANAS nel volume: "Durabilità delle opere d'arte stradali", Supplemento Le Strade, Marzo 1989, pag. 53.



Fig. 2 - Controllo della perpendicolarità e della planarità mediante lamelle calibrate. Carota cappata a zolfo.



Fig. 3 - Impiego del comparatore.

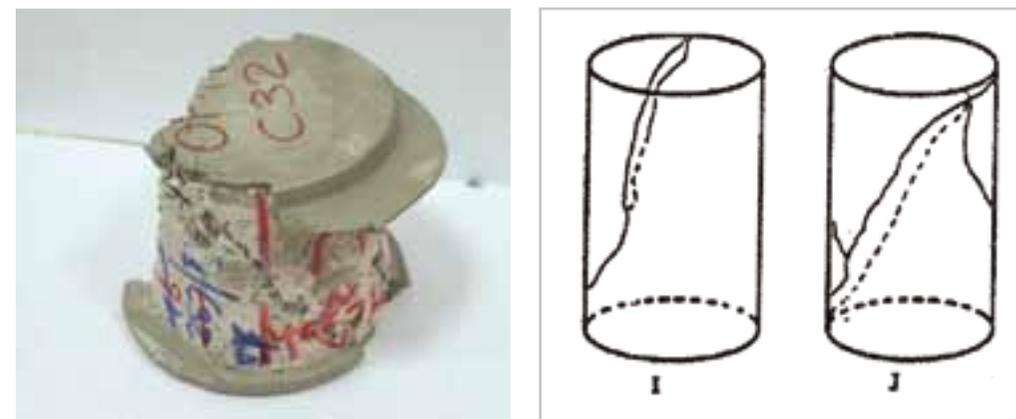


Figura 4 - Carota dopo la prova; evidente la rottura diagonale di tipo I o J (UNI EN 12390-3) - Insufficiente attenzione ai procedimenti di prova

caratteristico al valor medio della resistenza cilindrica mediante l'espressione:

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ N/mm}^2, \text{ § 11.2.10.1 delle NCT.}$$

A tale valore corrisponde passando alla resistenza cubica la relazione:

$$R_{cm} = R_{ck} + 9.6 \text{ N/mm}^2.$$

Questo incremento, alla luce dei risultati di migliaia di prove di qualifica su altrettante miscele impiegate nella realizzazione di importanti opere pubbliche, appare davvero esagerato: applicando la suddetta equazione diventa molto più facile che si incontrino non conformità nel calcestruzzo. Si ritiene perciò opportuno evidenziare che per una miscela già qualificata, realizzata e controllata mediante prove su cubi in fase di qualifica, la resistenza media di progetto è nota e va utilizzata direttamente. Si ricordi infatti che le Norme Tecniche ammettono sempre in prima ipotesi la determinazione sperimentale di una proprietà del calcestruzzo ma forniscono, come in questo caso, un "valore da Norma" cautelativo, direttamente utilizzabile in mancanza di tale sperimentazione; ad esempio: "in mancanza di una determinazione sperimentale diretta, per il coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo può assumersi un valor medio pari a...". NTC 11.2.10.5.

### Norme di riferimento

Per la determinazione e l'utilizzo della resistenza del calcestruzzo in sito, oltre alle Norme Tecniche per le Costruzioni, sono disponibili altri documenti, le Linee Guida, la UNI EN 13791 e la Circolare 02.02.2009, aventi uno status non sempre ben definito, che non risultano del tutto equivalenti tra loro, generando qualche confusione.

### Norme metodologiche

Tutte le norme citate, per quanto attiene le

procedure per l'estrazione, la lavorazione dei campioni estratti per ottenere i provini e le relative modalità di prova a compressione, fanno riferimento alle norme metodologiche UNI (UNI EN 12504-1, UNI EN 12390-1, UNI EN 12390-2, UNI EN 12390-3).

Di tutte le prescrizioni indicate dai riferimenti normativi di cui sopra, secondo l'esperienza degli scriventi, quelle che risultano più spesso trascurate, sebbene determinanti per ottenere dei risultati attendibili sono:

- l'accuratezza della preparazione dei provini prima di sottoporre i campioni alla prova di compressione (UNI EN 12390-3): è necessario verificare accuratamente, prima della prova di compressione, la planarità delle superfici d'appoggio e la perpendicolarità delle generatrici; infatti, la lavorazione o preparazione inadeguata dei provini porta a risultati erronei. Nelle Figure 2 e 3 vengono mostrati alcuni esempi del controllo della planarità e perpendicolarità di campioni da sottoporre alla prova a compressione.
- il prendere in considerazione anche i risultati ottenuti da carote che hanno manifestato una rottura insoddisfacente (UNI EN 12390-3, si veda la Figura 4), i quali essendo indice di procedure di prova non accurate, debbono essere scartati.

### UNI EN 13791, Circolare e Linee Guida

Nella Tabella 1 vengono messi a confronto gli aspetti significativi delle norme e documenti considerati, nelle parti riguardanti il controllo in sito, in particolare mediante carotaggio.

Dall'analisi di tali documenti si evince che:

- in tutti, manca un'espressione della resistenza potenziale (solo la NT ne definisce il significato, ma trascura la sua applicazione);
- la Circolare, che contiene le istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche, oltre al confronto dei valori medi, se il ►

numero di campioni prelevati in opera è pari ad almeno 15, prevede anche la possibilità, di determinare il valore cilindrico caratteristico in opera, da confrontarsi direttamente con il valore cilindrico caratteristico di progetto. Vengono anche presentati esempi numerici;

- la Norma UNI EN 13791, distingue 3 ambiti di applicazione con relative diverse metodiche, uno dei quali riferito alla qualità del calcestruzzo in nuove costruzioni, non conformità o cattiva messa in opera. In questo caso a differenza degli altri documenti si richiedono almeno 15 carote per una regione di prova;
- infine, tali documenti possono generare confusione: la Circolare considera un valore caratteristico della resistenza in sito per un numero di carote  $\geq 15$ , mentre le Linee Guida a partire da un numero  $>$  di 3; invece la UNI EN 13791, pur richiedendo 15 o più carote, nella valutazione della conformità in sito fa intervenire anche il valore di resistenza minimo trovato in sito (come le Linee Guida nel caso di più di 15 risultati).

### Conclusioni

La giusta soluzione dei contenziosi e dei processi che originano da incertezza sulla qualità del calcestruzzo in fornitura e in sito, richiede una corretta interpretazione della normativa sulle costruzioni e la stretta osservanza delle regole metodologiche delle Norme UNI EN nell'esecuzione delle prove sperimentali. Purtroppo in molti casi nessuna delle due condizioni precedenti viene attuata; i risultati sono perciò spesso ingiustamente sfavorevoli ai produttori del conglomerato. Gli Autori sperano di aver dato con la presente nota un contributo a chiarire gli aspetti più critici della problematica. ■

Tab. 1 – Prescrizioni normative in merito alla verifica della resistenza in sito del calcestruzzo con metodi distruttivi e non distruttivi.

	Norme tecniche, gennaio 2008	Circolare 02.02.2009		Linee Guida, febbraio 2008	UNI EN 13791:08
Casi di applicazione	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nel caso in cui i controlli di accettazione non soddisfino i criteri di accettazione della classe di resistenza caratteristica prevista,</li> <li>• oppure sorgano dubbi sulla qualità e rispondenza del calcestruzzo ai valori di resistenza determinati nel corso della qualificazione della miscela,</li> <li>• oppure si renda necessario valutare a posteriori le proprietà di un calcestruzzo,</li> <li>• quando il Collaudatore non riscontri che i "controlli di accettazione" hanno validità, qualitativa e quantitativa. (1)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quando i controlli di accettazione non risultino soddisfacenti,</li> <li>• ovvero ogni qualvolta il collaudatore ne ravvisi l'opportunità.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quando i controlli di accettazione non sono soddisfacenti oppure sorgano dubbi sulla qualità del calcestruzzo,</li> <li>• valutazione della sicurezza di edifici esistenti.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conformità della resistenza in situ, per esempio per componenti di calcestruzzo prefabbricati (Nota degli Autori: ove prescritta contrattualmente),</li> <li>• indagine in vecchie strutture che devono essere modificate o che sono state danneggiate,</li> <li>• dispute sulla qualità del calcestruzzo in nuove costruzioni: non conformità o cattiva messa in opera.</li> </ul>
Elaborazione dati	<p><b>Per tutti i casi si prevede la stessa elaborazione dati</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si determina il valore medio della resistenza in opera (definita resistenza strutturale), misurata con tecniche opportune (distruttive e non distruttive) e debitamente trasformata in resistenza cilindrica o cubica.</li> </ul> <p>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)</p>	<p><b>Per tutti i casi si prevede la stessa elaborazione dati</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si determina il valore medio della resistenza strutturale cilindrica in opera, <math>f_{opera,m}</math> (misurata con tecniche opportune, distruttive e non distruttive)</li> <li>• Se il numero di carote <math>\geq 15</math>, si determina il valore caratteristico del calcestruzzo in opera, <math>f_{opera,k}</math>, dato dall'espressione:  <math>f_{opera,k} = f_{opera,m} - s \cdot k</math>, dove <math>f_{opera,m}</math> è la media dei valori riscontrati nelle prove,</li> </ul> <p>s è lo scarto quadratico medio e k (per 15 campioni) è pari a 1,48</p>		<p><b>Per tutti i casi si prevede la stessa elaborazione dati</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se i risultati provenienti da carote e/o da metodi non distruttivi è pari a 3, si valuta la resistenza media.</li> <li>• Per 15 o più risultati si valuta la resistenza cilindrica caratteristica <math>f_{c,k}</math>, come valore inferiore tra:</li> </ul> $\begin{cases} f_{c,k} = f_{c,m} - 1,48 \cdot s \\ f_{c,k} = f_{c,min} + 4 \end{cases}$ <p><math>f_{c,m}</math> = valore medio della resistenza cilindrica  <math>f_{c,min}</math> = valore minimo della resistenza cilindrica  s = scarto quadratico medio.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Per un numero di risultati da 4 a 14 il prodotto 1.48*s dell'equazione precedente assume valori variabili in funzione del numero dei risultati</li> </ul>	<p><b>Per ogni caso si ha un'elaborazione dati diversa. Qui si considera solo l'ultimo caso.</b></p> <p>Considerando almeno 15 carote, si valutano</p> <p><math>f_{m(n),is}</math>: resistenza a compressione cilindrica media in sito  <math>f_{is,min}</math>: valore più basso di resistenza a compressione cilindrica, in sito</p>
Criteri di accettabilità	<p>È accettabile un valore medio della resistenza strutturale, debitamente trasformata in resistenza cilindrica o cubica, non inferiore all'85% del valore medio definito in fase di progetto.</p>	<p>È accettabile un valore medio della resistenza strutturale cilindrica, non inferiore all'85% del valore medio definito in fase di progetto.</p> <p>Ai fini di tale confronto, come valore medio della resistenza di progetto può assumersi il valore caratteristico della resistenza cilindrica a compressione <math>f_{ck}</math>, espresso in N/mm<sup>2</sup>, incrementato di 8 N/mm<sup>2</sup>, secondo quanto indicato al par.11.2.10.1 delle NTC.</p> <p>Deve risultare:</p> $f_{opera,m} \geq 0,85 f_{cm}$ <p>o, per almeno 15 carote:</p> $f_{opera,k} = f_{opera,m} - sk \quad (k=1,48)$ <p>deve risultare <math>f_{opera,k} \geq 0,85 f_{ck}</math></p> $f_{cm} = f_{ck} + 8$ $f_{ck} = 0,83 R_{ck}$		<p>È accettabile assumere che la resistenza ottenuta sulle carote rappresenta l'85% del calcestruzzo messo in opera</p>	<p>Un calcestruzzo si può considerare conforme se si verificano entrambe le condizioni seguenti</p> $f_{m(n),is} \geq 0,85 (f_{ck} + 1,48 \cdot s)$ $f_{is,min} \geq 0,85 (f_{ck} - 4)$
Valutazione della resistenza potenziale	Non prevista	Non prevista		Non prevista	Non prevista

(1) Sembra opportuna la precisazione "o non siano stati effettuati".