

# IL MATERIALE NON E' LA STRUTTURA. E LA CAROTA NON E' IL PROVINO

Mario Collepari  
Politecnico Milano - Dipartimento di Chimica-Fisica Applicata

## INTRODUZIONE

La resistenza meccanica del **materiale** calcestruzzo, è cosa ben diversa della resistenza meccanica della **struttura** in calcestruzzo. La prima si misura su provini cubici (solitamente chiamati "cubetti"), o cilindrici la seconda sulle carote estratte dalla struttura anch'esse in forma di cilindri. La resistenza meccanica del materiale è condizione necessaria ma non sufficiente per il raggiungimento della resistenza meccanica della struttura.

Analoghe considerazioni possono essere estese alla durabilità del materiale e della struttura. Ma noi siamo interessati alla seconda più che alla prima. Come definire la durabilità della struttura? Tra le tante definizioni che si possono dare, sceglierò la seguente: **la durabilità della struttura è la capacità di conservare le iniziali caratteristiche meccaniche e funzionali per il periodo di vita atteso in base al progetto.**

La durabilità delle strutture in c.a. e c.a.p. dipendono da quattro parametri fondamentali accanto ai quali sono indicati prima il prescrittore e dopo il responsabile esecutivo:

- **qualità del materiale:** **progettista-fornitore di calcestruzzo**
- **grado di compattazione:** **progettista-impresa**
- **stagionatura della struttura:** **progettista-impresa**
- **spessore del copriferro:** **progettista-impresa**

E' sufficiente che uno dei quattro parametri sia non adeguatamente prescritto dal progettista e/o realizzato dal produttore di calcestruzzo o dall'impresa per pregiudicare la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato.

Per ragioni di brevità in questo articolo verrà analizzata l'importanza del *grado di compattazione* in relazione alla *qualità del materiale*. Lo *spessore di copriferro*, per le cui prescrizioni si rimanda il lettore all'Eurocodice 2 (1) è ovviamente importante nella protezione dei ferri dalla corrosione nelle opere fuori terra o in quelle esposte agli ambienti marini o ai sali disgelanti applicati in inverno su manti stradali e pedonali. Altrettanto importante è ovviamente la *stagionatura della struttura* perché l'impermeabilità del copriferro è fortemente pregiudicata da un asciugamento dello strato corticale di calcestruzzo subito dopo la scasseratura. Per questa ragione è di fondamentale importanza rispettare i tempi di stagionatura raccomandati dalle normative vigenti (2).

## QUALITA' DEL MATERIALE

La *qualità del materiale* deve assicurare un calcestruzzo sostanzialmente impermeabile all'acqua grazie ad una **porosità capillare discontinua** che impedisca agli agenti aggressivi – trasportati dall'acqua – di penetrare il calcestruzzo stesso per più di qualche millimetro e comunque per una profondità non superiore allo spessore del copriferro.

Sul parametro "qualità del calcestruzzo" esistono due aspetti che meritano di essere approfonditi e che riguardano la prescrizione (in capitolato) ed il corrispondente controllo sul materiale fornito in opera:

- la composizione di solito espressa in termine di rapporto acqua-cemento ( $a/c$ ) prescritto in relazione all'ambiente (**classe di esposizione**) secondo la norma EN 206;
- il controllo che la *qualità* realmente fornita sia conforme alla prescrizione; il controllo – data la difficoltà a determinare il valore di  $a/c$  – può essere eseguito attraverso la determinazione della  $R_{ck}$  o  $f_{ck}$  su **provini (rispettivamente cubici o cilindrici) compattati a rifiuto e stagionati per 28 giorni a 20°C con UR  $\geq 95\%$**  poiché tra  $R_{ck}$  ed  $a/c$  esiste una correlazione nota, la stessa norma EN 206 e le *Linee Guida Ministeriali (LL.PP.)* stabiliscono il valore minimo di  $R_{ck}$  atteso per ogni valore di  $a/c$  se si impiega il cemento di classe 32.5.

---

\* La compattazione *a rifiuto* sta a significare che dopo ogni costipazione manuale (con pestello) o meccanica (tavolo vibrante) il calcestruzzo fresco va nuovamente aggiunto dentro la cassaforma finché il livello del calcestruzzo fresco non si abbassa più dentro la cassaforma a seguito della compattazione. Cioè, finché la cassaforma non accetta più (rifiuta) ulteriore calcestruzzo fresco. Questa situazione corrisponde alla massima densità del materiale, come può essere facilmente calcolato dal peso della cassaforma ridotta dalla tara al termine della compattazione.

In caso di particolari prescrizioni aggiuntive, non mancano le normative europee o nazionali per il controllo di queste prescrizioni su provini compattati a rifiuto o stagionati a umido con  $UR \geq 95\%$ : si può menzionare la "impermeabilità" del calcestruzzo verificabile attraverso la prova ISO (4) che consiste nel misurare la penetrazione di acqua sotto pressione (fino a 7 bar) per quattro giorni; oppure la misura della diffusione del cloruro secondo la norma UNI (5); o la misura della carbonatazione secondo la norma UNI (6).

Sul paramento *qualità del calcestruzzo*, in sostanza, non esistono problemi né per la prescrizione, se si conoscono le normative, né per il controllo nel calcestruzzo fornito, se il committente ed il Direttore Lavori fanno rispettare le norme di legge (DM LLPP Gennaio 1996) sulla determinazione della resistenza meccanica a compressione in misura di un prelievo (2 provini) ogni  $100\text{ m}^3$  per giorno di getto di calcestruzzo per la struttura cui si riferisce la  $R_{ck}$  attesa, e le altre caratteristiche aggiuntive sopra menzionate (impermeabilità, carbonatazione, ecc.).

## GRADO DI COMPATTAZIONE

Questo parametro, che condiziona la durabilità del calcestruzzo armato, è tanto banale quanto disatteso. Il lettore avrà notato che le misure di controllo descritte nel paragrafo precedente sul calcestruzzo fornito, (che si tratti di  $R_{ck}$  o di impermeabilità o di carbonatazione) vengono eseguite su provini di calcestruzzo **compattato a rifiuto** e stagionato in condizioni standard ( $20^\circ\text{C}$ ,  $UR \geq 95\%$ ).

Il lettore sa anche che nelle opere reali, se realizzate con gli usuali calcestruzzi, se si escludono insomma gli "emergenti" SCC (calcestruzzi autocompattanti), **la resistenza meccanica della struttura**, cioè quella determinata sulla carota estratta dalla struttura stessa, potrà essere **al massimo eguale** a quella determinata su provini cubici o cilindrici.

Le cause di questa discrepanza non sono tanto da imputare agli effetti di "disturbo" provocati dalla estrazione che potrebbero penalizzare la resistenza meccanica della carota, quanto invece alla **incompleta** compattazione del calcestruzzo in opera rispetto a quella generalmente **completa** (*compattazione a rifiuto*), con cui si confezionano i provini prelevati al momento del getto sul calcestruzzo fornito.

L'imposizione di queste condizioni nella preparazione dei provini (compattazione a rifiuto del calcestruzzo fresco, stagionatura a  $20^\circ\text{C}$  con  $UR \geq 95\%$ ), dipende dal fatto che i risultati delle proprietà da misurare (resistenza meccanica, penetrazione d'acqua, diffusione dei cloruri, carbonatazione, ecc.) dipendono moltissimo proprio dalle condizioni di preparazione dei provini. Pertanto queste condizioni vanno standardizzate e rispettate anche per gli aspetti commerciali coinvolti nell'ottenimento dei risultati ottenuti (l'impresa paga il calcestruzzo al fornitore in base alla  $R_{ck}$  ottenuta). Si potrebbe discutere se queste condizioni (compattazione a rifiuto, stagionatura a  $20^\circ\text{C}$ , ecc.) sono realistiche o meno. Certamente sono diverse da quelle incontrate sul cantiere. Ed allora quali condizioni scegliere? Quelle invernali (maturazione a  $5^\circ\text{C}$ ) con una vibrazione scadente, oppure quelle estive (maturazione a  $35^\circ\text{C}$ ) con una vibrazione accettabile?

Val la pena di ricordare che lo scopo della determinazione della  $R_{ck}$  sui provini cubici o cilindrici è quello di **stabilire se la qualità del materiale fornito è o meno conforme alle prescrizioni di capitolato**. Non esiste alcuna possibilità di estendere il risultato della  $R_{ck}$  misurata sui provini del materiali e alle strutture in opera. Né questa è l'intenzione del legislatore. Se la  $R_{ck}$  misurata sui provini è conforme al valore prescritto in capitolato, non necessariamente la resistenza meccanica della struttura in opera (cioè quella della carota) sarà eguale al valore della  $R_{ck}$ . Tra la resistenza meccanica del provino cubico o cilindrico e quella della carota estratta dalla struttura esiste una differenza soprattutto per il diverso grado di compattazione con cui il calcestruzzo è stato costipato dentro le casseforme per i provini o i casseri per le strutture reali<sup>+</sup>. Le conseguenze di questa discrepanza sono molteplici e talune di rilevante importanza se il fenomeno – come spesso avviene – è ignorato.

Solo in qualche struttura eccezionale realizzata con calcestruzzo compattato completamente dentro i casseri (potenzialmente con l'SCC) sarà possibile trovare valori pressoché coincidenti tra resistenza meccanica del provino di materiale e quella della carota dalla struttura. Nella maggior parte dei casi, invece, la resistenza del provino ( $R_{ci}$  oppure  $R_{cu}$ ) sarà maggiore di quella della carota ( $R_{ca}$ ) della struttura (entrambe riferite alla stessa forma geometrica (cubica o cilindrica):

$$0.80R_{cu} = R_{ci}^3 R_{ca} \quad [1]$$

<sup>+</sup> In realtà oltre al diverso grado di compattazione esiste anche una diversa modalità della stagionatura (umida per i provini, incerta e solitamente inadeguata per le strutture) quest'ultima, però non esercita una grande influenza sulla resistenza meccanica della carota se la parte superiore – quella corrispondente alla parte corticale della struttura maggiormente penalizzata da una insufficiente stagionatura – viene rimossa per 2-3 cm nella fase di rettifica della carota prima della rottura.

<sup>\*\*</sup> La resistenza meccanica di un provino cilindrico ( $R_{ci}$ ) è all'incirca pari all'80% di quella del corrispondente provino cubico ( $R_{cu}$ );  $R_{ci} = 0.80 R_{cu}$ . Un'analoga relazione esiste tra i valori caratteristici  $f_{ck} = 0.80 R_{ck}$ , dove  $f_{ck}$  si riferisce alla resistenza caratteristica calcolata dai valori di resistenza misurata sui provini cilindrici  $R_{ci}$ .

È importante che il progettista conosca quale relazione esiste tra  $R_{ci}$  ed  $R_{ca}$  e come possa calcolare e prescrivere la resistenza meccanica della struttura ( $R_{ca}$ ) in funzione della  $R_{ck}$ ; o, meglio, come **prescrivere la  $R_{ck}$  da misurare sui provini di materiale in funzione di una determinata resistenza meccanica della struttura ( $R_{ca}$ )**.

La correlazione tra  $R_{ci}$  ed  $R_{ca}$  – entrambe riferite a porzioni di materiale in forma cilindrica – passa attraverso la *determinazione della cura posta dall'impresa nella messa in opera del calcestruzzo*. Quest'aspetto del problema a prima vista di difficile soluzione, può essere invece risolto in modo molto semplice attraverso la misura della **massa volumica** (peso specifico) del provino (compattato a rifiuto,  $m_{vo}$ ) e della carota ( $m_v$ ) estratta dalla struttura. I due valori di massa volumica coincideranno ( $m_v = m_{vo}$ ) se l'impresa ha compactato il calcestruzzo della struttura con la stessa cura con cui è stato compactato il calcestruzzo del provino. Il valore di  $m_v$  risulterà invece, inferiore a  $m_{vo}$ , ed il rapporto  $m_v/m_{vo}$  sarà inferiore ad 1, se la efficacia della compactazione della struttura è **incompleta**, cioè è inferiore a quella con cui si è realizzato il provino costipato a rifiuto cioè con compactazione **completa**.

Il rapporto  $m_v/m_{vo} = g_c$ , è definito **grado di compactazione** ( $g_c$ ) (7):

$$g_c = m_v/m_{vo} \quad [2]$$

e la sua determinazione è molto semplice e rapida perché consiste nella pesata del provino e della carota, entrambi di volume noto.

Attraverso prove sperimentali (7) è stata determinata l'influenza di  $g_c$  sulla diminuzione percentuale (**DR**) di resistenza meccanica del calcestruzzo all'interno della struttura rispetto al valore del corrispondente calcestruzzo del provino. La Fig. 1 mostra, appunto l'influenza di  $g_c$  su **DR**, dove **DR** è

$$DR = \frac{R_{ci} - R_{ca}}{R_{ci}} 100 \quad [3]$$

Nel tratto di Fig. 1 che maggiormente interessa i casi pratici ( $g_c = 1-0.90$ ), si può dedurre una correlazione lineare del tipo:

$$DR = (1-g_c)500 \quad [4]$$

Il significato della [4] è il seguente per ogni punto centesimale del  $g_c$  in meno rispetto ad 1 (compactazione completa) si registra un 5% in meno di resistenza meccanica nel calcestruzzo della struttura rispetto al valore del corrispondente calcestruzzo del provino compactato a rifiuto. La Tabella 1 presenta l'applicazione dell'equazione [3] e [4] a strutture variamente compactate per provini di calcestruzzo con resistenza cubica di 30 MPa e cilindrica di 24 MPa. Per esempio, in una struttura compactata discretamente ( $g_c=0.97$ ) la resistenza meccanica della carota  $R_{ca}$  è 20.4 MPa a fronte di un provino cubico con  $R_{cu}$  di 30 MPa o di un provino cilindrico con  $R_{ci}$  di 24 MPa: rispetto a questo valore, la resistenza della carota (20.4 MPa) comporta una caduta di resistenza  $\Delta R$  del 15% per una minore compactazione del calcestruzzo della struttura rispetto a quello del provino ( $g_c=0.97$ ).

**Tabella 1 – Influenza della incompleta compactazione della struttura sulla caduta di resistenza meccanica (DR) nella struttura.**

Massa Volumica (kg/m <sup>3</sup> )		$g_c$	Resistenza meccanica (MPa)		
provino Cubo/Cilindro	Carota		provino Cubo/Cilindro	Carota	$\Delta R$ (%)
2400	2400	1.00	30/24	24.0	0
2400	2376	0.99	30/24	22.8	5
2400	2352	0.98	30/24	21.1	10
2400	2328	0.97	30/24	20.4	15
2400	2304	0.96	30/24	19.2	20
2400	2280	0.95	30/24	18.0	25
2400	2160	0.90	30/24	12.0	50

\* Per correttezza nella carota non debbono essere presenti ferri di armatura che farebbero aumentare  $M_v$  oppure, se presenti, debbono essere tenuti in conto per calcolare correttamente  $M_v$ . Inoltre, è opportuno che, come il provino, anche la carota sia satura di umidità e deve pertanto essere saturata con acqua prima di essere misurata.

## COME PROGETTARE LA DURABILITA' E LA RESISTENZA DELLA STRUTTURA

Eguagliando le equazioni [3] e [4] si ottiene:

$$R_{ci} = \frac{R_{ca}}{5g_c - 4} \quad [5]$$

Oppure, inserendo la [1] nella [5] si ricava:

$$R_{cu} = \frac{R_{ca}}{4g_c - 3.2} \quad [6]$$

Se si fa riferimento ai valori caratteristici anziché a quelli individuali la [5] e la [6] diventano rispettivamente [7] e [8]:

$$f_{ck} = \frac{R_{cak}}{5g_c - 4} \quad [7]$$

$$R_{ck} = \frac{R_{cak}}{4g_c - 3.2} \quad [8]$$

Attraverso la [8] se il progettista ritiene che la **resistenza caratteristica della struttura ( $R_{cak}$ )** debba essere, per esempio, 20 MPa sarà possibile prescrivere la **resistenza caratteristica della fornitura misurata su provini cubici ( $R_{ck}$ )** purché si ipotizzi un ragionevole grado di compattazione del calcestruzzo ( $g_c$ ) in base ai seguenti parametri:

- l'affidabilità dell'impresa
- la difficoltà del getto per forma, spessore e densità di armatura
- la lavorabilità (classe di consistenza) del calcestruzzo fornito

Occorre realisticamente ammettere che l'impresa non potrà compattare sul cantiere il calcestruzzo dentro i casseri per una struttura armata, con la stessa efficacia (cioè con lo stesso  $g_c$ ), che si può invece tranquillamente raggiungere in laboratorio o anche sul cantiere costipando i provini cubici o cilindrici.

Quando ciò fosse possibile  $g_c$  sarà uguale a 1 ed i valori caratteristici dei provini saranno "equivalenti" a quelli della carota estratta dalla struttura tenendo conto della loro geometria

$$f_{ck} = R_{cak} \quad [9]$$

$$R_{ck} = R_{cak}/0.80 \quad [10]$$

Potenzialmente ed augurabilmente le equazioni [9] e [10] possono essere adottate per il calcestruzzo autocompattante (SCC). Tuttavia, l'esperienza pratica sui cantieri italiani è ancora troppo limitata per poter accettare acriticamente queste equazioni.

Rimanendo nel settore delle costruzioni tradizionali ancora alimentate con calcestruzzo aventi consistenza S2-S5, si possono adottare realisticamente i valori di ( $g_c$ ) riportati in Tabella 2

**Tabella 2 – Grado di compattazione ottenibile in opera in funzione della classe di consistenza**

Consistenza del cls	Classe di Consistenza	( $g_c$ ) min-max
Plastica	S2	0.90-0.93
Semi-fluida	S3	0.93-0.95
Fluida	S4	0.95-0.97
Super-fluida	S5	0.97-0.98

Per ogni classe di consistenza il valore di  $g_c$  minimo deve essere adottato per strutture di difficile esecuzione (strutture sottili, molto armate) e/o con manodopera sul cantiere poco affidabile; al contrario per strutture più facili da realizzare e/o con manodopera più affidabile è consigliabile adottare il valore massimo di  $g_c$ . Ad ogni modo **il valore di  $g_c$  ipotizzato in fase di calcolo dovrà essere imposto in capitolato** (ed evidenziato all'impresa) **e controllato durante l'esecuzione dei getti.**

Val la pena di segnalare che, a differenza dei valori di resistenza meccanica per i quali occorre attendere i tradizionali 28 giorni, il valore di  $g_c$  può essere determinato il giorno successivo al getto misurando la massa volumica di una carota estratta dalla struttura ( $m_v$ ) e quella di un provino cubico o cilindrico compattato a rifiuto e sformato dalla cassaforma ( $m_{vo}$ ). Ciò consente, tra l'altro, di correggere immediatamente l'attitudine dell'impresa a compattare più o meno efficientemente il calcestruzzo dentro i casseri, qualora si siano eventualmente ottenuti – fin dal primo giorno dopo il getto – valori di  $g_c$  inferiori rispetto a quelli previsti in capitolato.

Forse non è inutile precisare che quanto più  $g_c$  si avvicina ad 1, tanto più grosso sarà l'impegno richiesto per l'impresa (soprattutto con bassi livelli nella classe di consistenza) nell'esecuzione delle strutture e conseguentemente più alto il costo esecutivo a tutto vantaggio della durabilità e sicurezza dell'opera.

D'altra parte, il progettista ha il dovere di facilitare il raggiungimento dell'obiettivo da lui stesso posto, cioè un certo valore di **resistenza meccanica del calcestruzzo nella struttura**, prescrivendo un calcestruzzo che deve essere tanto più facile da costipare quanto più difficile è il compito dell'impresa in relazione alla tipologia della struttura (sottile oppure massiva, fortemente o debolmente armata, ecc).

Pertanto una corretta e completa progettazione, che tenga anche conto di quei famosi dettagli esecutivi, spesso trascurati nella tradizione italiana, deve esprimersi specificando esplicitamente in capitolato i seguenti valori:

- $R_{ck}$  (per il fornitore di calcestruzzo)
- Classe di consistenza (per il fornitore di calcestruzzo)
- $g_c$  (per l'impresa)

Alcuni esempi pratici chiariranno meglio il concetto. Si supponga di dover raggiungere un valore di resistenza caratteristica in opera di  $R_{cak} = 25$  MPa in una struttura mediamente armata (per esempio platea di fondazione) dove però, facilmente, sarà possibile intervenire con un vibratore ad ago o a parete. E' pertanto necessario:

- prescrivere una classe di consistenza S5
- ipotizzare un valore di  $g_c$  massimo (0.98) tra quelli ipotizzati in Tabella 2
- prescrivere un valore di  $R_{cak}$  pari a 35 MPa valore arrotondato secondo la [8] con  $g_c = 0.98$ :

$$R_{ck} = \frac{25}{4 \cdot 0.98 - 3.2} \gg 35 \text{ MPa}$$

Quindi, la  $R_{ck}$  richiesta per la fornitura di calcestruzzo (provini cubici) risulta del 40% superiore rispetto alla resistenza caratteristica  $R_{cak}$  del calcestruzzo nella struttura:

$$R_{ck}/R_{cak} = 35/25 = 1.40$$

E' evidente che occorre verificare in cantiere la conformità dei valori di S5, di  $g_c$  e di  $R_{ck}$  a quelli prescritti in capitolato per raggiungere l'obiettivo di resistenza nella struttura ( $R_{ck} = 25$  MPa). In particolare dovranno subito essere controllate la classe di consistenza (S5) al momento del getto, ed i valori di massa volumica del provino ( $m_{vo}$ ) e nella carota ( $m_v$ ) già ad un giorno dal getto per il calcolo di  $g_c$ .

Si supponga ora di dover realizzare una struttura in c.a. con una certa pendenza (per un canale idraulico), incompatibile con calcestruzzi fluidi o superfluidi, e troppo ripida da rendere possibile solo l'impiego di un calcestruzzo a consistenza plastica (S2). Il tipo di struttura, proprio per la sua conformazione, rende difficile l'applicazione di vibrazione se non in forma di staggiatura superficiale. Ciò comporta l'assunzione di un grado di compattazione minimo ( $g_c = 0.90$ ) tra quelli ipotizzabili in Tabella 2 con una classe di consistenza S2. I parametri da prescrivere in capitolato per il raggiungimento di una resistenza del calcestruzzo della struttura con  $R_{ck} = 20$  MPa, sono:

- classe di consistenza = S2
- grado di compattazione :  $g_c = 0.90$
- $R_{ck} = 50$  MPa in base al valore calcolabile con l'equazione [8] con  $g_c = 0.90$ :

$$R_{ck} = \frac{20}{4 \cdot 0.90 - 3.2} = 50 \text{ MPa}$$

In questo caso la resistenza caratteristica del provino cubico (50 MPa) è superiore del 250% rispetto a quella richiesta per la resistenza del calcestruzzo nella struttura (20 MPa). Il divario tra i due valori è ovviamente da attribuire al basso grado di compattazione ( $g_c = 0.90$ ) derivante dalle difficoltà di compattare un calcestruzzo plastico (S2) in condizioni particolarmente difficili.

## CONCLUSIONI

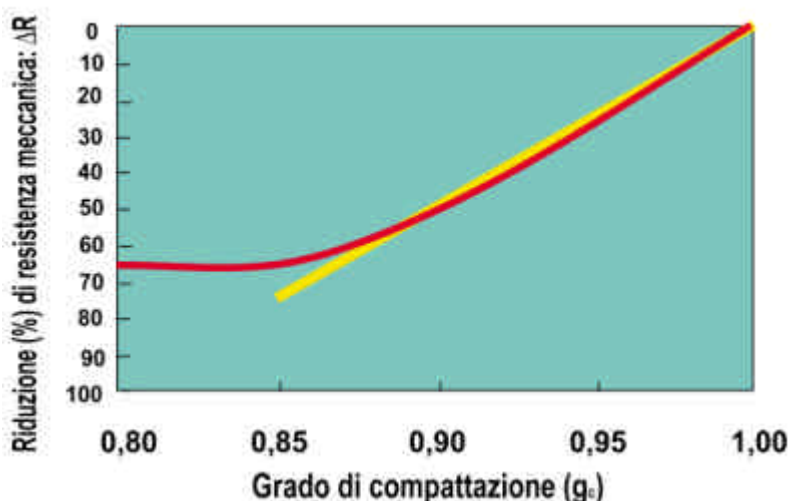
La durabilità e la resistenza meccanica del calcestruzzo dipende dal grado di compattazione ( $g_c$ ) del conglomerato. Un calcestruzzo compattato in modo incompleto ( $g_c < 1$ ) presenta dei macrovuoti che rendono il materiale più penetrabile, meno durabile e meccanicamente meno resistente.

Poiché il calcestruzzo del provino (cubico o cilindrico) viene costipato a rifiuto ( $g_c = 1$ ), mentre il calcestruzzo delle strutture non può essere altrettanto completamente costipato ( $g_c < 1$ ) se non in casi eccezionali (quando si impiega l'SCC), ne consegue un abbattimento di prestazioni dello stesso calcestruzzo se si passa dal provino alla struttura.

Di questo occorre tener conto nel capitolato dell'opera se si vuole garantire un determinato valore di resistenza meccanica nel calcestruzzo della struttura. E' possibile associare la prescrizione di  $R_{ck}$  (determinabile nei provini) con quella sul grado di compattazione  $g_c$  nel calcestruzzo delle strutture in funzione della resistenza della struttura che si vuole raggiungere e che si può comunque controllare misurando la resistenza meccanica delle carote estratte dalla struttura stessa.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) Eurocodice 2 Progettazione delle Strutture in calcestruzzi, 1995
- (2) UNI 9858 Calcestruzzo. Prestazioni, produzione e messa in opera e criteri di accettazione
- (3) M. Collepari, L. Coppola, Durabilità del Calcestruzzo secondo le Linee Guida del Ministero LL.PP. Parte I, II, III, IV e V, Enco Journal, n° 9-14, 1998-2000.
- (4) ISO 7031. Calcestruzzo indurito. Determinazione della penetrazione d'acqua sotto pressione.
- (5) UNI 7928 Determinazione della penetrabilità allo ione cloruro
- (6) UNI 9944 Corrosione e protezione dell'acciaio. Determinazione della profondità di carbonatazione e del profilo degli ioni cloruro penetrati nel calcestruzzo.
- (7) M. Collepari, "L.... come Lavorabilità", Enco Journal N°10, 1998.



**Fig. 1** – Influenza del grado di compattazione del calcestruzzo sulla riduzione di resistenza meccanica.