

2014

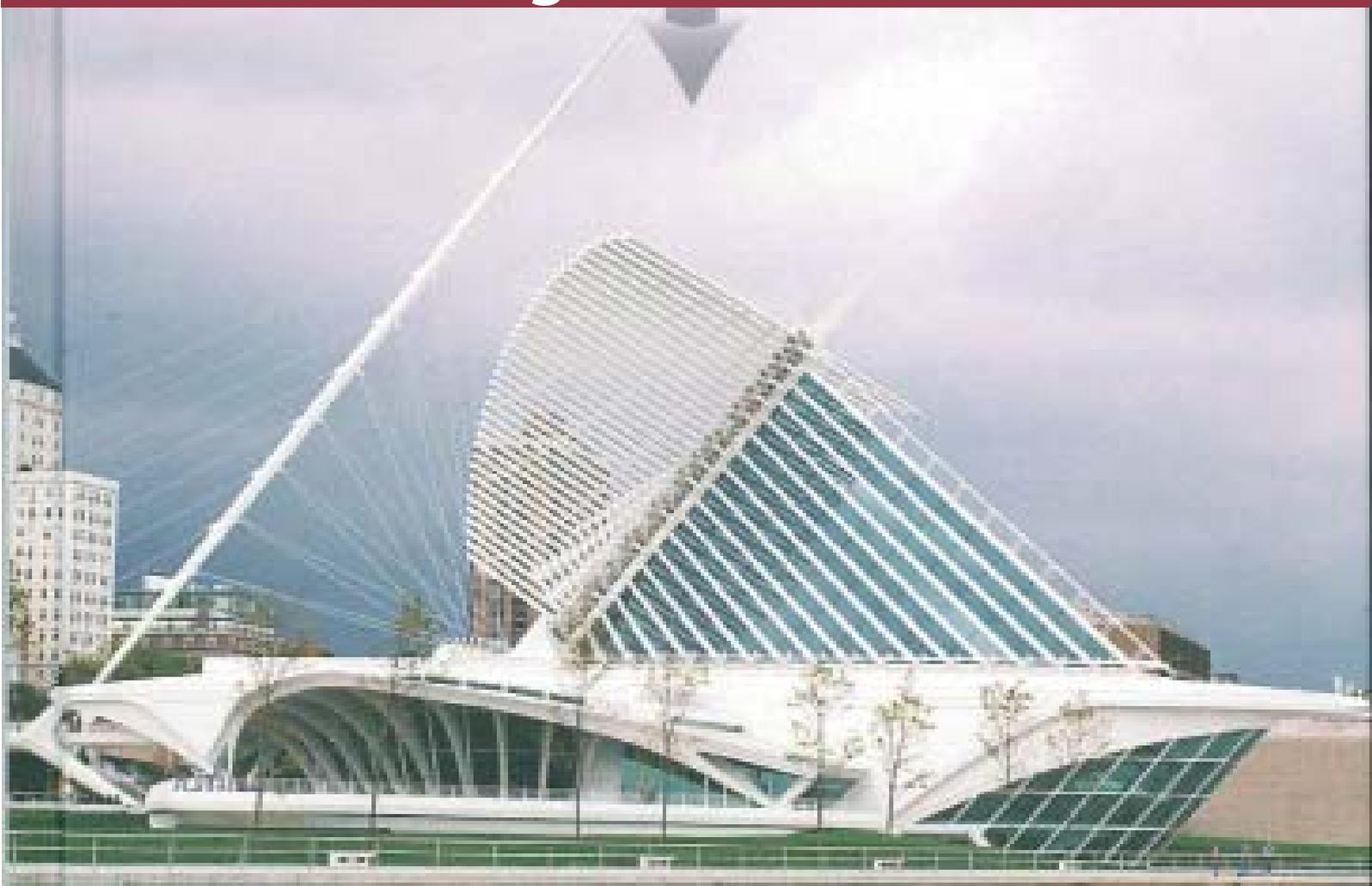
Quadrimestrale
Anno XIX
Numero 61

ENCO JOURNAL

PERIODICO SULLA TECNOLOGIA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE



**SPECIALE:
Mix-Design del Calcestruzzo**



CHI SIAMO

La ENCO opera da oltre un ventennio nell'ambito della ricerca e della sperimentazione sui materiali da costruzione. La pluriennale esperienza in questo campo ha visto, come naturale evoluzione, lo sviluppo di un settore completamente dedicato alla diagnostica per i beni culturali particolarmente attivo nell'ambito dei beni architettonici del '900. La diversa provenienza culturale dei professionisti che operano all'interno della ENCO mette in campo una vasta gamma di competenze che sviluppano sinergicamente le risposte alle più svariate domande relative al settore dei beni culturali.

A CHI CI RIVOLGIAMO

La Enco srl mette a disposizione i suoi servizi a varie tipologie di utenti quali progettisti, imprese, restauratori, pubbliche amministrazioni locali, nazionali ed europee proponendo una vasta gamma di indagini diagnostiche *in situ* e in laboratorio. Ma i nostri professionisti sono attivi soprattutto attraverso un costante supporto durante tutte le operazioni finalizzate al restauro conservativo quali la progettazione, la valutazione di metodologie e di prodotti, lo sviluppo di metodologie alternative ed innovative.

I NOSTRI SERVIZI

IN SITU

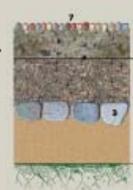
- Indagini strutturali su edifici in muratura, in calcestruzzo e in calcestruzzo armato
- Indagini su solai ed elementi lignei
- Valutazione del livello di carbonatazione del calcestruzzo
- Misure di adesione degli intonaci
- Osservazioni endoscopiche
- Osservazioni in videomicroscopia a fibre ottiche
- Valutazione dell'assorbimento d'acqua
- Sondaggi stratigrafici
- Valutazione dell'efficacia dei trattamenti consolidanti e protettivi

IN LABORATORIO

- Analisi diffrattometriche (XRD)
- Analisi termogravimetriche (TG-DTA)
- Analisi spettrofotometriche infrarosse (FT-IR)
- Osservazioni in microscopia ottica stereoscopica di materiali tal quali e sezioni lucide stratigrafiche
- Osservazioni mineralogico-petrografiche in microscopia ottica a luce trasmessa e polarizzata
- Osservazioni in microscopia elettronica a scansione (SEM) con associata microanalisi spettroscopica EDX
- Osservazioni in videomicroscopia a fibre ottiche
- Dosaggio dei sali idrosolubili
- Misura della permeabilità al vapore d'acqua, dell'assorbimento d'acqua per capillarità e per immersione totale
- Misure ultrasoniche e sclerometriche
- Misure di abrasione
- Analisi granulometriche e distribuzione granulometrica

INOLTRE:

- Assistenza in cantiere per campagne diagnostiche e redazione di progetti di diagnostica e restauro
- Partnership nell'ambito di progetti di ricerca finanziati e cofinanziati
- Elaborazione di ricette per malte, intonaci ad hoc per il restauro conservativo e relativa valutazione prestazionale degli stessi
- Assistenza in progetti di restauro strutturale
- Assistenza negli adeguamenti sismici



Enco srl Via delle Industrie 18/20 - 31050 Ponzano Veneto (TV)
Tel 0422 963 771 Fax 0422 963 237 - www.encosrl.it - info@encosrl.it



PERIODICO SULLA TECNOLOGIA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

Quadrimestrale - Anno XIX - Numero 61

Direttore Mario Collepari

MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

In questo numero di *Enco Journal* è illustrato il mix design del calcestruzzo che è sinteticamente rappresentato dall'immagine riportata in copertina: si parte dai quattro principali ingredienti del calcestruzzo (cemento, acqua, aggregati e additivi) per arrivare a progettare la composizione del calcestruzzo in base alle esigenze strutturali ed ambientali dell'opera rappresentata in questo caso dal Museo di Milwaukee (USA) progettato da Santiago Calatrava.

Nel progetto della composizione del calcestruzzo occorre tener presente:

- il tipo di ingredienti disponibili;
- le condizioni esecutive ed operative (trasporto del calcestruzzo fresco, temperatura, tipo di cemento);
- gli obiettivi prestazionali (*Rck*, durabilità, *Rc* alle brevi stagionature, *Rf*, *Rt*, permeabilità all'acqua);
- il tipo di normativa Europea (UNI EN 206-1) o nazionale (UNI 11104) che si vuole adottare.

La conoscenza della tecnica del mix-design è indispensabile ai tecnici addetti alla produzione di calcestruzzo che debbono convertire le prescrizioni dei progettisti e le esigenze operative dell'impresa nella composizione del calcestruzzo maturato a temperatura ambiente o stagionato a vapore. Tuttavia, la conoscenza del mix-design è una sorta di "analisi logica", per affinare ed approfondire la tecnologia del calcestruzzo, che risulterebbe molto utile anche ai tecnici coinvolti, direttamente o indirettamente, nelle costruzioni in calcestruzzo armato.

In questo numero di *Enco Journal* sono presentati gli elementi essenziali di un mix design semplice o complesso, un esempio pratico di calcestruzzo pompabile che richiede un approccio diverso da quello richiesto per un calcestruzzo fresco trasportato dalla betoniera, od il mix-design per calcolare il ritiro igrometrico.

A chi volesse approfondire questo importante argomento si consiglia di seguire il corso telematico "Mix design del calcestruzzo" collegandosi con il sito www.encosrl.it (CORSI DI FORMAZIONE PERMANENTE ON LINE) dove potrà trovare i dettagli sul programma del corso, sul costo, sul materiale didattico, sull'eventuale acquisto del software CMD-2012 e potrà anche vedere ed ascoltare, a titolo di esempio, la lezione sul mix design in relazione al ritiro igrometrico del calcestruzzo.

Mario Collepari
ACI Honorary Member

SOMMARIO

INTRODUZIONE AL MIX-DESIGN DEL CALCESTRUZZO

di M. Collepari, S. Collepari e R. Troli

(pag. 5)

MIX-DESIGN DI UN CALCESTRUZZO POMPABILE

di M. Collepari, S. Collepari e R. Troli

(pag. 13)

ESEMPIO PRATICO DI MIX-DESIGN COMPLESSO PER CALCESTRUZZO POMPABILE

di M. Collepari, G. Fazio e J.J. Ogoumah Olagot

(pag. 17)

IL MIX-DESIGN ED IL RITIRO IGROMETRICO DEL CALCESTRUZZO

di M. Collepari e A. Borsoi

(pag. 21)

ENCO Journal
PERIODICO SULLA TECNOLOGIA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE
Ponzano V.to (TV) - Via delle Industrie, 18/20
Tel. 0422.963771 - Fax 0422.963237
info@enco.srl

Direttore Responsabile
MARIO COLLEPARDI

Redazione
ROBERTO TROLI
SILVIA COLLEPARDI
ANTONIO BORSOI
J. JACOB OGOUMAH OLAGOT

EDITORE
Enco srl
Ponzano V.to (TV) - Via delle Industrie, 18/20
Tel. 0422.963771 - Fax 0422.963237
info@encosrl

COMPOSIZIONE
ISABELLA CAPOGNA
ALESSANDRA GALLETTI
MARA MENEGHEL

INDAGINI IN SITO PER LA DEFINIZIONE DEL DISSESTO STRUTTURALE E DEL DEGRADO DEI MATERIALI:

- Prove di carico sugli impalcati per stimare la portanza degli orizzontamenti
- Prove di carico su travi di calcestruzzo, acciaio e legno
- Monitoraggio di spostamenti ed ampiezza delle fessure
- Monitoraggio del comportamento dinamico delle strutture
- Analisi termografiche finalizzate alla definizione dello schema strutturale senza l'asportazione di intonaco
- Definizione delle reti di sottoservizi mediante indagini georadar
- Indagini endoscopiche
- Prove penetrometriche ed estrazione di carote profonde
- Prove "a strappo" su pavimentazione ed intonaci



INDAGINI SULLE STRUTTURE IN C.A.

- Analisi sclerometriche ed ultrasoniche per la stima della qualità del calcestruzzo *in situ*
- Analisi pacometriche per la definizione di diametro, posizione e numero delle barre di armatura
- Prove di estrazione di tasselli post-inseriti per la determinazione della resistenza media del calcestruzzo.
- Carotaggi



INDAGINI SULLE STRUTTURE IN MURATURA

- Prove per la definizione della tensione di esercizio e di quella massima a rottura con i martinetti piatti
- Misura della propagazione delle onde soniche per il controllo dell'omogeneità del paramento murario



SOLAI ED ELEMENTI IN LEGNO

- Misura dell'umidità relativa degli elementi mediante igrometro elettrico
- Analisi resistografiche per la definizione locale della consistenza del materiale
- Asportazione di microcampioni per il riconoscimento della specie legnosa
- Ascultazione degli elementi



DEFINIZIONE IN LABORATORIO DEL DEGRADO DEI MATERIALI

- Determinazione della massa volumica e dell'assorbimento d'acqua su carote di calcestruzzo
- Prove meccaniche sui campioni estratti
- Analisi diffrattometriche e termogravimetriche per l'accertamento della presenza di eventuali componenti inquinanti (cloruri, solfati..)
- Definizione della profondità di carbonatazione
- Analisi microscopiche per la soluzione di problemi di incompatibilità fra i materiali (es.: intonaco-muratura) e alcali-reattività
- Misura della permeabilità e porosità di malte e calcestruzzi
- Prove di trazione sulle barre di armatura con la determinazione della resistenza a snervamento e resistenza a deformazione ultima
- Prove di compressione perpendicolare o diagonale sulle murature



IN PIÙ ENCO OFFRE:

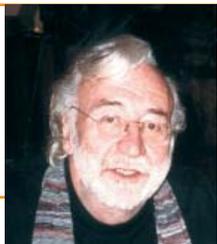
- Redazione di rapporti geologico-tecnici
- Elaborazioni numeriche, verifiche statiche e dinamiche
- Progetti di restauro strutturale
- Adeguamenti sismici
- Progetti di restauro conservativo
- Consulenza per l'uso di materiali nelle nuove realizzazioni



Enco srl Via delle Industrie 18/20 - 31050 Ponzano Veneto (TV)
 Tel 0422 963 771 Fax 0422 963 237 - www.encosrl.it - info@encosrl.it



INTRODUZIONE AL MIX-DESIGN DEL CALCESTRUZZO



Mario Collepari, Silvia Collepari e Roberto Troli

*Enco, Ponzano Veneto (TV) - info@encosrl.it



1 - IL PRINCIPIO DEL MIX DESIGN: ANALISI LOGICA DEL CALCESTRUZZO

Il *mix-design*, letteralmente *progetto della miscela*, è il procedimento per il **calcolo della composizione del calcestruzzo** (in termini di quantità di cemento, di acqua, di inerti e di additivi per m³ di calcestruzzo), a partire da:

- a) le proprietà ingegneristiche del materiale indurito (resistenza meccanica, modulo elastico, ritiro, scorrimento viscoso, durabilità, ecc.), quali risultano dall'esigenza del progetto dell'opera;
- b) le esigenze esecutive (lavorabilità, organizzazione del cantiere, modalità di getto, ecc.);
- c) i materiali disponibili (tipo di cemento, di inerti e di additivi).

L'accumulo di dati consolidati in oltre un secolo di esperienza sull'impiego del calcestruzzo consente di calcolare preventivamente la composizione della miscela partendo dai requisiti tecnici richiesti.

Esistono, in sostanza, una serie di consolidate correlazioni tra le proprietà richieste da una parte (resistenza meccanica, ritiro, deformazione viscosa, durabilità, ecc.) e la composizione del calcestruzzo dall'altra (rapporto acqua/cemento, rapporto inerte/cemento, acqua di impasto, ecc.). Tali correlazioni, esprimibili di volta in volta sotto forma di equazioni, di grafici o tabelle, riguardano:

- il **rapporto acqua-cemento (a/c)** che è il parametro fondamentale - unitamente al tipo di cemento - nel determinare il comportamento meccanico, e la resistenza alle aggressioni ambientali (durabilità);
- la scelta dell'**aggregato** che per tipologia (alluvionale o frantumato) e per dimensione (diametro massimo) è di fondamentale importanza

- unitamente agli **additivi** che modificano la lavorabilità dell'impasto fresco - per individuare la richiesta d'acqua del calcestruzzo e condizionare in modo significativo il dosaggio di cemento e quello dell'inerte: ridurre l'acqua - attraverso una combinazione di aggregato e di additivo - significa *logicamente* ridurre il dosaggio di cemento (a parità di *a/c*) e quindi aumentare il volume dell'inerte (a parità di lavorabilità), con benefici straordinari sulla stabilità dimensionale della struttura (in termini di minor ritiro igrometrico e minore deformazione viscosa) e sul costo del materiale;

- il **dosaggio di cemento** è quindi la conseguenza *logica* dell'*analisi* sopra menzionata che consiste nel tramutare le esigenze ingegneristiche (resistenza meccanica, durabilità e lavorabilità) in una composizione del calcestruzzo. Esso, pertanto non può essere prefissato a priori da specifiche tecniche, con conseguenze talvolta disastrose fin dall'inizio di vita della struttura; per esempio: fessure indotte da gradienti termici e ritiro da essiccamento, entrambe provocate da un eccesso di calore di idratazione correlato con un eccessivo dosaggio ed impropria scelta del tipo di cemento.

2 - IL VANTAGGIO DEL MIX-DESIGN

Il vantaggio del **mix-design** è paragonabile a quello derivante dall'esecuzione di un'opera partendo dal suo progetto, piuttosto che procedendo con improvvisazione.

Per seguire nell'analogia tra il progetto dell'opera ed il **mix-design**, vale la pena di precisare che anche nel secondo caso vanno messi in conto, al momento di confezionare in pratica il calcestruzzo, gli inevitabili aggiustamenti al fine di correggere le deviazioni esistenti tra il calcolo teorico ed i risultati reali.

Tali correzioni saranno tanto meno importanti, quanto più precise saranno state le indicazioni sulle proprietà ingegneristiche individuate come requisiti essenziali per l'opera, e quanto più specifiche le correlazioni disponibili tra queste ultime e la composizione del calcestruzzo. Non necessariamente tutte queste correlazioni sono valide con un elevato grado di determinatezza e precisione. Tuttavia, anche una correlazione generica tra una proprietà e la composizione del materiale, soprattutto se accompagnata dalla conoscenza del suo grado di incertezza, è decisamente più vantaggiosa rispetto a qualsiasi approccio puramente empirico che porta, molto spesso, o a sopradosare gli ingredienti o, ciò che è peggio, a sottostimare l'incidenza di alcuni parametri: in altre parole, con un approccio puramente empirico e grossolano, come di fatto si agisce in assenza del **mix-design**, si può arrivare a confezionare o un calcestruzzo non ottimale (giacché altre composizioni sarebbero state economicamente più vantaggiose e tecnicamente più adatte) o un calcestruzzo inadeguato per almeno una delle prestazioni prescritte.

3 - TIPI DI MIX-DESIGN

Esistono fondamentalmente due tipi di **mix-design**: *semplice e complesso*.

Il **mix-design** è *semplice* quando è necessario convertire in termini di composizione del calcestruzzo i seguenti **quattro indispensabili requisiti** che rappresentano gli *elementi base* per ogni *mix-design*:

- la resistenza caratteristica (R_{ck});
- la lavorabilità (L);
- il tipo di cemento (t_c);
- il diametro massimo dell'inerte (D_{max}) disponibile.

Il **mix-design** è *complesso* quando, oltre ai suddetti quattro requisiti, esiste almeno un'altra caratteristica aggiuntiva (durabilità, ritiro, resistenza allo scassero, ecc.) che interessa conferire al materiale.

3.1 - IL MIX-DESIGN SEMPLICE

Nella Figura 1 è schematicamente mostrato un esempio di **mix-design semplice** con il quale arrivare a fissare preliminarmente le proporzioni dei vari ingredienti del calcestruzzo, in termini di

c (cemento), a (acqua), a' (aria) ed i (inerte) tutti espressi in kg/m^3 o in l/m^3 di calcestruzzo. Sia per il calcolo di a/c che per quello di a e della percentuale d'aria (a'), occorrono delle correlazioni (sotto forma di grafici, tabelle o equazioni analitiche) che stabiliscano un legame tra i requisiti (resistenza, lavorabilità, ecc.) da una parte, ed i parametri di composizione cercati (a/c ; a ; a') dall'altra.

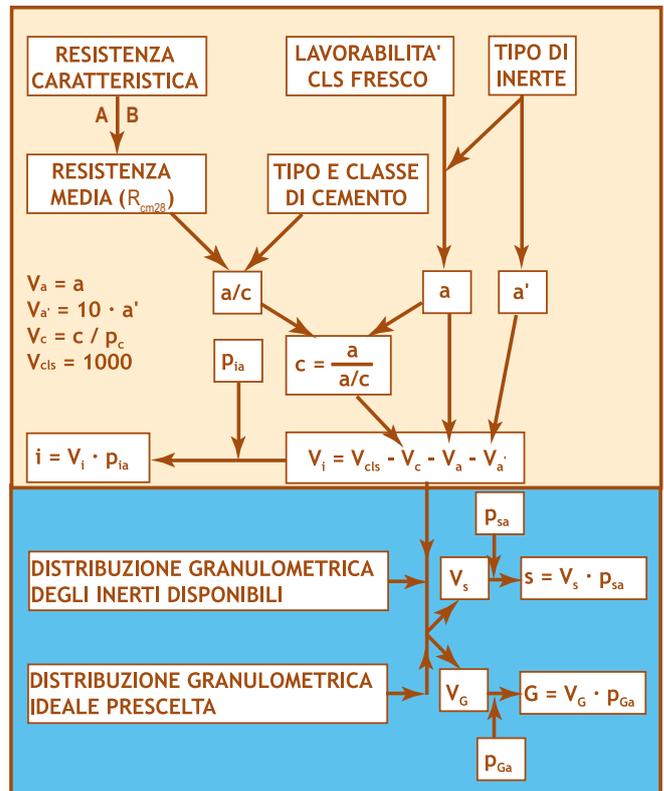


Fig. 1 - Schema logico per un "mix design" semplice del calcestruzzo. I volumi degli ingredienti (V_a , V_c , V_i , V_s , V_G) sono espressi in l/m^3 . I dosaggi in massa (c, a, s, G, i) sono espressi in kg/m^3

Dalla resistenza caratteristica richiesta, si calcola la resistenza media mediante la nota equazione:

$$R_{ck} = R_{cm28} - K \cdot \delta^*$$

dove δ è lo scarto quadratico medio, e K è una costante che vale 1.40.

Quindi, conoscendo il tipo di cemento disponibile o prescritto (**II A/L 32.5R**, **III A 32.5 N**, ecc.), si determina il rapporto a/c che, con quel cemento,

* Lo scarto quadratico medio qui indicato con il simbolo δ è in realtà indicato con s nella vigente normativa; tuttavia con s in questo articolo si indica il contenuto di sabbia del calcestruzzo in kg/m^3

garantisce l'ottenimento della resistenza caratteristica richiesta (Fig. 2).

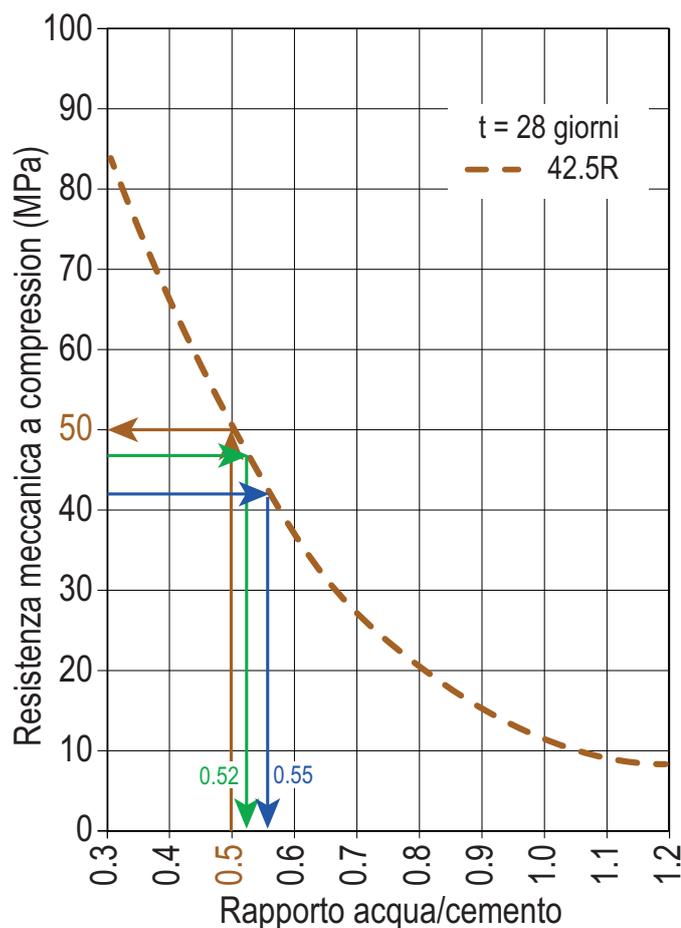


Fig. 2 - Resistenza meccanica a compressione media a 28 giorni in funzione del rapporto a/c di calcestruzzi confezionati con cementi di classe 52.5 R, 42.5 R e 32.5 R

D'altra parte, stabilita la lavorabilità del calcestruzzo fresco sulla base delle condizioni prevedibili in cantiere (manodopera, difficoltà del getto, densità dei ferri, ecc.), come anche del tipo di inerte disponibile o prescelto (naturale o frantumato, diametro massimo), si determina sia il contenuto di acqua (a) in kg/m^3 (Fig. 3), che la percentuale in volume di aria (a') che rimane nel calcestruzzo dopo la sua messa in opera (Fig. 4). Tenendo presente che ad ogni punto percentuale di a' corrispondono 10 litri di aria in 1 m^2 di calcestruzzo, si ottiene che il volume di aria (V_a) è pari a $10 a'$.

A questo punto, per definire la composizione del calcestruzzo in termini di kg/m^3 di acqua (a), di cemento (c) e di inerte (i) si procede matematicamente come è mostrato in Fig. 1. Noti a/c ed a si calcola c , mentre il volume di inerte (V_i) è determinato mediante un semplice bilancio di volume sottraendo ad un m^3 di calcestruzzo, il volume di acqua (V_a), di cemento (V_c) e di aria ($V_{a'}$):

$$V_i = V_{cls} - V_c - V_a - V_{a'}$$

dove $V_{cls} = 1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ l}$; $V_c = c/p_c$; $V_a = a$; $V_{a'} = 10 a'$. Tenendo presente che la massa volumica del cemento (p_c) è con buona approssimazione eguale a 3.15 kg/l , ed assumendo per la massa volumica apparente dell'inerte (p_{ia}) un valore di 2.7 kg/l , si può calcolare il peso dell'inerte (i) in kg per 1 m^3 di calcestruzzo:

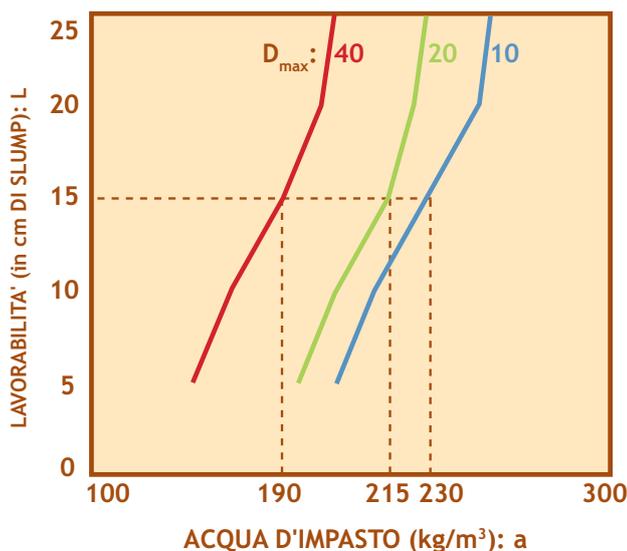


Fig. 3 - Lavorabilità in funzione dell'acqua di impasto con diverso diametro massimo (D_{max}) espresso in mm. I valori di a sono mediati da quelli ottenibili con inerti alluvionali e di frantumazione

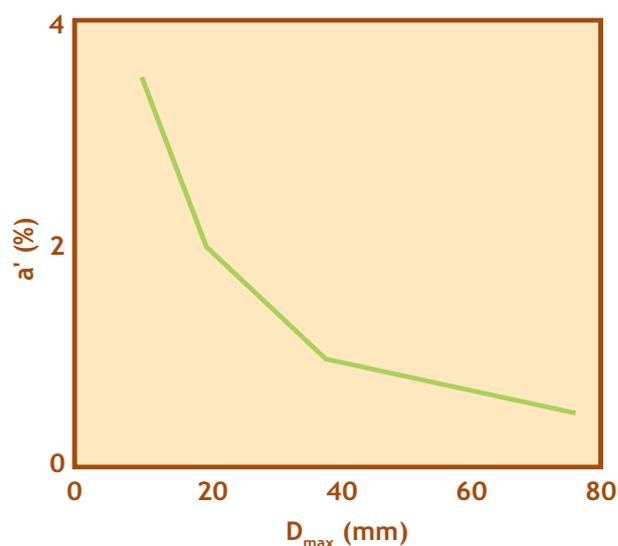


Fig. 4 - Percentuale d'aria (a') che rimane nel calcestruzzo compattato in funzione del diametro massimo (D_{max}) dell'inerte

$$i = V_i \cdot 2.7 = (1000 - c/3.15 - a - 10 a') \cdot 2.7$$

Qualora si desideri affinare il **mix-design** e calcolare le quantità di sabbia (*s*) e di inerte grosso (*G*) che costituiscono il quantitativo totale di inerte (*i*), è necessario conoscere le caratteristiche granulometriche dei singoli inerti, per determinare il proporzionamento ottimale in base alla curva granulometrica prescelta (Fuller, Bolomey, ecc.). Nella parte inferiore della Fig. 1 a sfondo celeste è mostrato come dalla distribuzione granulometrica dei singoli inerti *s* (sabbia) e *G* (ghiaia) e dalla distribuzione granulometrica ideale prescelta (Fuller, Bolomey, ecc.) sia possibile determinare i dosaggi di *s* e *G*.

In sostanza per calcolare *a*, *c*, ed *i* è necessario stabilire in partenza la resistenza caratteristica, la lavorabilità, il tipo di cemento e di inerte. Se invece, si vuole calcolare *a*, *c*, *s*, e *G* occorre conoscere anche le caratteristiche granulometriche della sabbia e dell'inerte grosso, determinate mediante le vagliature degli inerti disponibili.

3.1.1 - Esempio di mix-design semplice

Viene nel seguito descritto, a titolo di esempio, il procedimento di calcolo per un *mix-design semplice* per evidenziare soltanto che la scelta del tipo di controllo (A o B) non è, come spesso viene assunta, un'opzione indifferente ai fini della composizione e quindi del costo del calcestruzzo.

Si debba confezionare un calcestruzzo con R_{ck} di 20 MPa e lavorabilità pari a 15 cm di *slump*, avendo a disposizione un cemento **CEM II-A/L 42.5R** e un inerte misto (alluvionale e frantumato) con diametro massimo di 40 mm. Si supponga, inoltre, di voler adottare il controllo di tipo B per il calcolo della resistenza caratteristica secondo il DM del 14 Gennaio 2008:

$$R_{ck} = R_{cm28} - K \cdot \delta$$

avendo a disposizione un impianto di betonaggio che, per le sue caratteristiche, presenta uno scarto quadratico medio (δ) di 7 MPa.

Si ricava pertanto, con $K = 1.4$, che:

$$R_{cm28} = 20 + 1.4 \cdot 7 = 30 \text{ MPa}$$

Dalla Fig. 2 si ricava che, con $t_c = \text{CEM II-A/L}$

42.5R ed $R_{cm28} = 30 \text{ MPa}$, è necessario adottare un rapporto *a/c* di 0.67.

Dalla Fig. 3 si ricava che, con l'inerte misto (alluvionale-frantumato) con $D_{max} = 40 \text{ mm}$, occorrono 190 kg/m^3 di acqua per ottenere una lavorabilità pari a 15 cm di *slump*.

Pertanto:

$$\frac{a}{c} = 0.67 \Rightarrow \frac{190}{c} = 0.67 \Rightarrow c = \frac{190}{0.67} = 284 \text{ kg/m}^3$$

Dalla Fig. 4 si ricava che nel calcestruzzo meso in opera, con un D_{max} di 40 mm, rimarrà, dopo compattazione completa, un volume di aria (a') pari all'1% in volume del calcestruzzo (1000 litri) e quindi eguale a 10 l/m^3 .

Il volume di inerte (V_i) nello stato in cui si trova dentro il calcestruzzo (saturo a superficie asciutta) è calcolabile per differenza tra il volume di calcestruzzo o quello degli altri ingredienti, e risulta:

$$V_i = 1000 - 284/3.15 - 190 - 10 = 710 \text{ l/m}^3$$

Assumendo per l'inerte una massa volumica apparente (p_{ia}) nello stato di saturo a superficie asciutta pari a 2.7 kg/l , il quantitativo di inerte necessario risulta:

$$i = V_i \cdot p_{ia} = 710 \cdot 2.7 = 1917 \text{ kg/m}^3$$

Nella Tabella 1 sono riassunte le prestazioni richieste, le disponibilità dell'impianto di produzione (in termini di tipo di cemento, di inerte e di δ), e la composizione calcolata con il procedimento del *mix-design*.

Se lo stesso calcestruzzo dovesse essere confezionato in conformità al controllo di tipo A (cioè con $K \cdot \delta = 3.5 \text{ MPa}$) la R_{cm28} (Fig. 2) risulterebbe:

$$R_{cm28} = 20 + 3.5 = 23.5 \text{ MPa}$$

Per ottenere questa resistenza meccanica con lo stesso cemento **CEM II-A/L 42.5R** è possibile adottare un rapporto *a/c* di 0.75 maggiore di quello impiegato per il controllo di tipo B (0.67).

Tabella 1 - Prestazioni, disponibilità e composizione del calcestruzzo per il controllo di tipo B

PRESTAZIONI RICHIESTE DAL PROGETTO	DISPONIBILITA' DELL'IMPIANTO DI BETONAGGIO	COMPOSIZIONE DEL CALCESTRUZZO
$R_{ck} = 20 \text{ MPa}$	Cemento: CEM II-A/L 42.5 R	$a = 190 \text{ Kg/m}^3$
Slump = 15 cm	Inerte misto con $D_{max} = 40 \text{ mm}$	$c = 284 \text{ Kg/m}^3$
Controllo di tipo B	$K \cdot \delta = 9.8 \text{ MPa} \sim 10 \text{ MPa}$	$i = 1917 \text{ Kg/m}^3$

Pertanto:

$$\frac{a}{c} = 0.75 \Rightarrow \frac{190}{c} = 0.75 \Rightarrow c = \frac{190}{0.75} = 253 \text{ kg/m}^3$$

Il volume di inerte (V_i), calcolabile al solito per differenza tra il volume del calcestruzzo (1000 litri) e quello degli altri componenti, risulta:

$$V_i = 1000 - 253/3.15 - 190 - 10 = 720 \text{ l/m}^3$$

Assumendo per l'inerte una massa volumica apparente di 2.7 kg/l, si ottiene:

$$i = 720 \cdot 2.7 = 1943 \text{ kg/m}^3$$

Nella Tabella 2 sono riassunte le prestazioni, le disponibilità e la composizione del calcestruzzo adottando il controllo di tipo A.

Tabella 2 - Prestazioni, disponibilità e composizione del calcestruzzo per il controllo di tipo A

PRESTAZIONI RICHIESTE DAL PROGETTO	DISPONIBILITA' DELL'IMPIANTO DI BETONAGGIO	COMPOSIZIONE DEL CALCESTRUZZO
$R_{ck} = 20 \text{ MPa}$	Cemento: CEM II-A/L 42.5 R	$a = 190 \text{ Kg/m}^3$
Slump = 15 cm	Inerte misto con $D_{max} = 40 \text{ mm}$	$c = 253 \text{ Kg/m}^3$
Controllo di tipo A	$K \cdot \delta = 3.5 \text{ MPa}$	$i = 1943 \text{ Kg/m}^3$

Come si può vedere, ad uno stesso valore di R_{ck} (20 MPa) corrispondono di fatto due valori di resistenza meccanica media (30 e 23.5 MPa) a seconda del tipo di controllo (A o B) previsto dalla vigente norma di legge. Ne consegue, pertanto, che anche la composizione del calcestruzzo, ed in particolare il dosaggio di cemento, è funzione del tipo di controllo adottato.

Val la pena anche di precisare che le altre caratteristiche del calcestruzzo quali il ritiro, lo sviluppo di calore, la deformazione viscosa, ecc. risulteranno anch'esse diverse a seconda della composizione scelta in conformità al tipo di controllo A o B prescelto. Il *mix-design* consente appunto,

avvalendosi di altre correlazioni, di calcolare anche queste altre importanti proprietà del calcestruzzo.

3.2 - IL MIX-DESIGN COMPLESSO

Qualora, oltre alla resistenza caratteristica, esistano requisiti tecnici aggiuntivi del calcestruzzo indurito che debbano essere rispettati per l'opera progettata, il **mix-design** diviene **complesso**. Tuttavia, la soluzione del problema è sempre possibile, seguendo lo stesso schema logico ora enunciato, purché siano note le correlazioni tra i requisiti tecnici aggiuntivi da una parte (durabilità, resistenza alle brevi stagionature per la rimozione delle casseforme, ecc), ed il rapporto a/c dall'altra.

Ovviamente, occorrerà scegliere tra i vari a/c (quello legato alla resistenza caratteristica, e quelli inerenti i requisiti tecnici aggiuntivi) il valore capace di soddisfare tutte le esigenze, cioè il valore minimo $(a/c)_{min}$, tenendo presente il seguente principio fondamentale: salvo rarissime eccezioni, non esiste proprietà del calcestruzzo indurito (resistenza, durabilità, modulo elastico, ecc.) che non tragga giovamento dalla diminuzione del rapporto a/c . Ne consegue che, quanto maggiore è il numero dei vincoli imposti (in termini di proprietà tecniche richieste) tanto maggiore è la probabilità che il rapporto a/c , capace di soddisfare tutte queste esigenze, diventi inferiore al rapporto a/c capace di garantire la R_{ck} richiesta (Fig. 5).

Nella Fig. 6 è illustrato un esempio relativo alla coesistenza del vincolo della durabilità accanto a quello della resistenza meccanica. Nella Fig. 6 sono riportate due curve: quella a destra rappresenta la correlazione tra resistenza meccanica (R) e rapporto a/c ; quella a sinistra mostra la correlazione tra durabilità (D) e rapporto a/c . Se, per esempio, le esigenze progettuali dell'opera sono:

$$R \geq R_1 \quad (\text{per la resistenza meccanica})$$

$$D \geq D_2 \quad (\text{per la durabilità})$$

i valori del rapporto a/c capaci di soddisfare queste due diverse richieste sono:

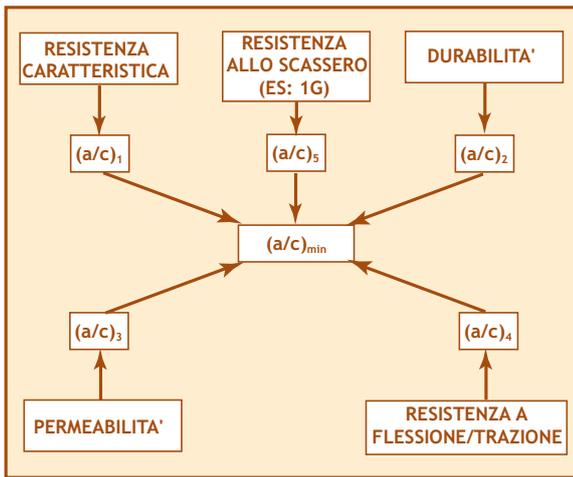


Fig. 5 – Scelta del rapporto a/c in un mix-design “complesso”

$(a/c)_1$ (per la resistenza meccanica R_1)

$(a/c)_2$ (per la durabilità D_2)

E' questo il caso di un *mix-design* complesso di tipo incongruente giacchè i valori di a/c capaci di soddisfare entrambe le esigenze (R_1 e D_2) sono tra loro diversi ed in particolare risulta:

$$(a/c)_1 > (a/c)_2$$

L'incongruenza è in questo caso risolvibile adottando il minore tra i due rapporti a/c . Infatti, nell'esempio specifico illustrato in Fig. 6 (*mix-design complesso incongruente*) occorre scegliere il valore di $(a/c)_2$, capace di garantire la durabilità richiesta D_2 e di assicurare nel contempo una resistenza R_2 che risulterà, quindi, inevitabilmente maggiore di quella di progetto R_1 . Se si scegliesse $(a/c)_1$ sarebbe garantita la resistenza meccanica richiesta R_1 , ma non la durabilità che risulterebbe D_1 e quindi di livello inferiore a quella richiesta D_2 . Pertanto, solo scegliendo un rapporto a/c inferiore o eguale ad $(a/c)_2$ sono soddisfatte entrambe le condizioni richieste:

$$a/c \leq (a/c)_2 \Rightarrow R \geq R_1; D \geq D_2$$

Qualora la durabilità richiesta fosse stata D_1 e non D_2 , allora entrambi i requisiti (R_1 , D_1) sarebbero stati soddisfatti da un unico valore del rapporto acqua/cemento:

$$a/c = (a/c)_1 \Rightarrow R = R_1; D = D_1$$

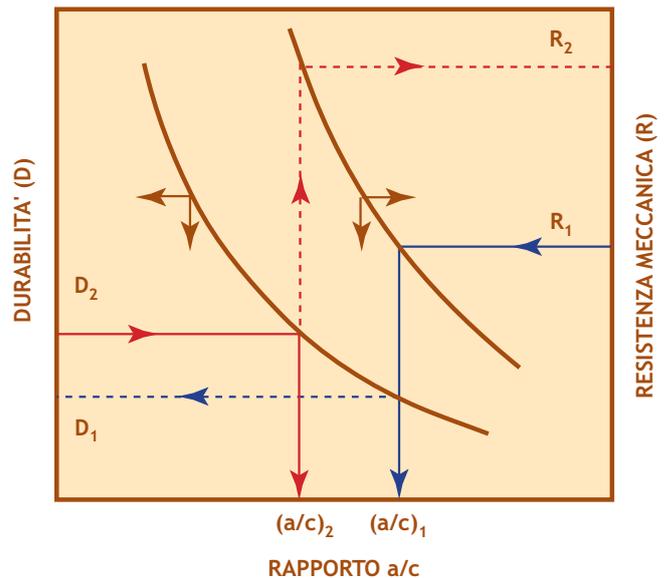


Fig. 6 – Scelta del rapporto a/c per soddisfare sia l'esigenza di resistenza meccanica (R_1) che quella di durabilità (D_2)

In questo caso si sarebbe trattato di un *mix-design complesso congruente* in quanto entrambe le richieste (R_1 e D_1) convergono verso un unico valore del rapporto acqua/cemento, $(a/c)_1$.

Qualunque sia stata la scelta del rapporto a/c , vincolata dalla esigenza di una certa durabilità oltre che di una certa resistenza meccanica, si procede al calcolo della composizione del calcestruzzo seguendo il principio già illustrato in Fig. 1.

4 - IL MIX-DESIGN APERTO

Quando risultano definiti i valori dei quattro elementi base (R_{cK} , L , D_{max} , t_c), con la precisazione se si vuole adottare il tipo di controllo A oppure B, il *mix-design* non ammette che un'unica soluzione e pertanto esso è definito “chiuso”. Il *mix-design chiuso* può essere semplice o complesso a seconda che i requisiti del materiale siano identificati soltanto dai quattro elementi base o da altre proprietà (durabilità, permeabilità, ecc.) in aggiunta a questi.

Talvolta, però, uno o più dei quattro elementi base non è ancora definito. In tal caso il *mix-design*, semplice o complesso che sia, è “aperto” a diverse soluzioni. Per esempio, si immagini di aver fissato la R_{cK} , il tipo di controllo (A oppure B), il D_{max} dell'inerte e la lavorabilità (L) del calcestruzzo, ma di non aver ancora scelto il tipo di cemento (t_c) con cui confezionare il calcestruzzo. In questo caso, non è possibile definire il rapporto

a/c giacché la sola R_{ck} (e quindi la corrispondente R_{cm28}) da sola non è sufficiente ad individuare il rapporto a/c se non si fissa anche il tipo di cemento t_c . In sostanza, come è mostrato in Fig. 2, la stessa resistenza meccanica R_{cm28} (per esempio: 30 MPa) è ottenibile con diversi rapporti a/c a seconda del cemento che si impiega. Nella Fig. 7 è mostrato lo schema di un *mix-design* aperto a n soluzioni dove n è il numero dei cementi disponibili. Se per esempio n è 3, in quanto sono disponibili tre cementi (**CEM I 52.5R**, **CEM II-A/L 42.5R**, **CEM III-B 32.5R**), si dovranno calcolare tre diversi rapporti a/c , e quindi tre diversi valori di cemento (c_n) e di inerte (i_n): in sostanza si procederà a tre distinti *mix-design* uno per ogni tipo di cemento.

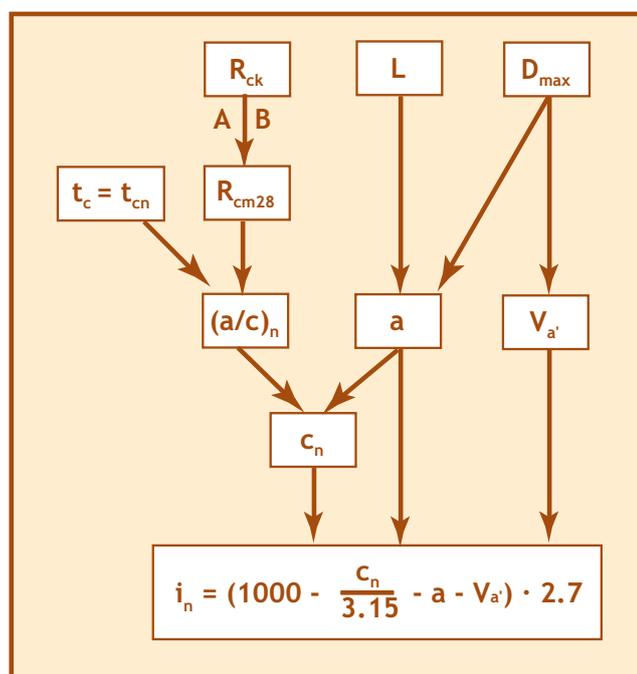


Fig. 7 – Schema di *mix-design* semplice aperto

4.1 - Esempio di *mix-design* aperto

Viene descritto il caso di un *mix-design* semplice aperto dove, accanto alla precisazione della R_{ck} (20 MPa), del diametro massimo (20 mm) per un inerte misto, dello *slump* (15 cm), del tipo di controllo (B), non viene precisata il tipo e la classe del cemento.

Si supponga di voler produrre il calcestruzzo o con cemento d’altoforno **CEM III B 32.5R** o con cemento Portland al calcare **CEM II A/L 42.5R** in un impianto di betonaggio che presenti uno scarto quadratico medio di 7 MPa. E’ evidente come il

mix-design semplice è aperto a due possibili composizioni in funzione dei due tipi di cemento.

$$R_{cm28} = 20 + 1.48 \cdot 7 \approx 30 \text{ MPa}$$

Dalla Fig. 2 si ricava che i rapporti a/c necessari al conseguimento di questo obiettivo sono:

$$a/c = 0.60 \text{ con } t_c = \text{CEM III B 32.5R}$$

$$a/c = 0.67 \text{ con } t_c = \text{CEM II A/L 42.5R}$$

Dalla Fig. 3 si ricava che, con un inerte misto con $D_{max} = 20$ mm, occorrono 215 kg/m³ di acqua per ottenere lo *slump* di 15 cm.

Pertanto:

$$c = 215/0.60 = 358 \text{ kg/m}^3 \text{ per } t_c = \text{CEM III B 32.5 R}$$

$$c = 215/0.67 = 321 \text{ kg/m}^3 \text{ per } t_c = \text{CEM II A/L 42.5 R}$$

Poiché il volume di aria è in entrambi i casi del 2% (Fig. 4) e cioè pari a 20 l/m³, si calcola per il peso di inerte (i)

$$i = V_i \cdot 2.7 = (1000 - 358/3.15 - 215 - 20) \cdot 2.7 = 1758 \text{ kg/m}^3 \text{ con CEM III A 32.5R}$$

$$i = V_i \cdot 2.7 = (1000 - 321/3.15 - 215 - 20) \cdot 2.7 = 1790 \text{ kg/m}^3 \text{ con CEM II A/L 42.5R.}$$

Queste sono in sostanza le due composizioni alternative “arrotondate”:

$$a = 215 \text{ kg/m}^3$$

$$c = 360 \text{ kg/m}^3$$

$$i = 1760 \text{ kg/m}^3 \text{ con CEM III B 32.5R}$$

$$a = 215 \text{ kg/m}^3$$

$$c = 320 \text{ kg/m}^3$$

$$i = 1790 \text{ kg/m}^3 \text{ con CEM II A/L 42.5R}$$



Laboratorio prove materiali autorizzato dal **Ministero delle Infrastrutture e Trasporti**
Ente iscritto all'Albo dei Laboratori MURST, **Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica**
Diretto dal Prof. Mario Collepardi, Honorary Member of the **American Concrete Institute**

Corsi di formazione permanente on line

Sono disponibili **CORSI TELEMATICI ENCO** per il conseguimento del diploma di **TECNICO DEL CALCESTRUZZO**.

Senza spese di trasferta e soggiorno: è possibile frequentare i Corsi comodamente da casa

Senza obblighi di orari: il corso può essere frequentato nell'arco di un mese decidendo quali e quante lezioni seguire per giorno

E' possibile comunicare con i docenti tramite e-mail per avere chiarimenti, e suggerimenti.

Se si desidera conseguire il diploma di **TECNICO DEL CALCESTRUZZO** occorre:

a) frequentare i corsi: **TECNOLOGIA DEL CALCESTRUZZO** e **CALCESTRUZZI SPECIALI**;

b) per ciascun corso sostenere un esame on-line preliminare in data da concordare;

c) per ciascun corso sostenere un esame diretto finale in data e sede da concordare.

Per entrambi gli esami è possibile consultare il materiale didattico e normativo così come avviene nella usuale attività professionale. In caso di insuccesso il test on-line e l'esame finale sono ripetibili.

PROGRAMMI

I Programmi dei Corsi di **Tecnologia del calcestruzzo** e di **Calcestruzzi speciali** sono disponibili sul sito www.encosrl.it cliccando su **CORSI ON LINE**.

MATERIALE DIDATTICO

Materiale didattico: agli iscritti al primo corso verrà recapitato il libro **Il Nuovo Calcestruzzo** (V Edizione di M. Collepardi, S. Collepardi e R. Troli) con gli allegati sulle Norme Tecniche per le Costruzioni, la Circolare Ministeriale Esplicativa delle Norme, il software Easy&Quick per le prescrizioni di capitolato sulle opere in CA e CAP, e il video sul "Degradamento del calcestruzzo".

COSTI

Costo del primo corso: € 350,000 iva esclusa. - Costo del secondo corso: € 200,000 iva esclusa.

ISCRIZIONE AI CORSI

Si può effettuare l'iscrizione e il pagamento via Internet al sito www.encoshop.com sezione **CORSI ON LINE** → nella fase di completamento dell'ordine (precisazione dei dati dell'acquirente: nome e cognome, ragione sociale, carta di credito, ecc.) andare alla voce **TIPOLOGIA** (in rosso) scegliere l'opzione **CORSI ON LINE** per iscriversi al corso e completare il pagamento, oppure mandare una e-mail con tutti i dati all'indirizzo info@encosrl.it.

Per maggiori informazioni: www.encosrl.it oppure Enco Srl – Via delle Industrie 18/20 – 31050 Ponzano Veneto (TV) – Tel. 0422 96 37 71 – Fax 0422 96 32 37 – info@encosrl.it

MIX-DESIGN DI UN CALCESTRUZZO POMPABILE



Mario Collepari, Silvia Collepari e
Roberto Troli

Enco, Ponzano Veneto (TV) - info@encosrl.it



1 - MIX-DESIGN DI UN CALCESTRUZZO POMPABILE

Dal punto di vista della pompabilità il calcestruzzo può essere considerato, in prima approssimazione, un sistema bifasico: la pasta di cemento che costituisce il fluido trasportatore (ed infatti è di per sé pompabile), e l'inerte che costituisce la parte trasportata (ed infatti di per sé l'inerte non è pompabile).

Quanto maggiore è il rapporto tra il volume di pasta cementizia e quello di inerte, tanto più è facile pompare il calcestruzzo. Infatti il problema del pompaggio del calcestruzzo si pone solo per i calcestruzzi magri con un basso rapporto in volume pasta/inerte e cioè con un basso dosaggio di cemento, laddove considerazioni di carattere tecnico impongono di mantenere basso il dosaggio di cemento: si pensi, per esempio, ad un getto di fondazione dove si richiede un basso calore di idratazione per ridurre il fenomeno delle fessurazioni di origine termica.

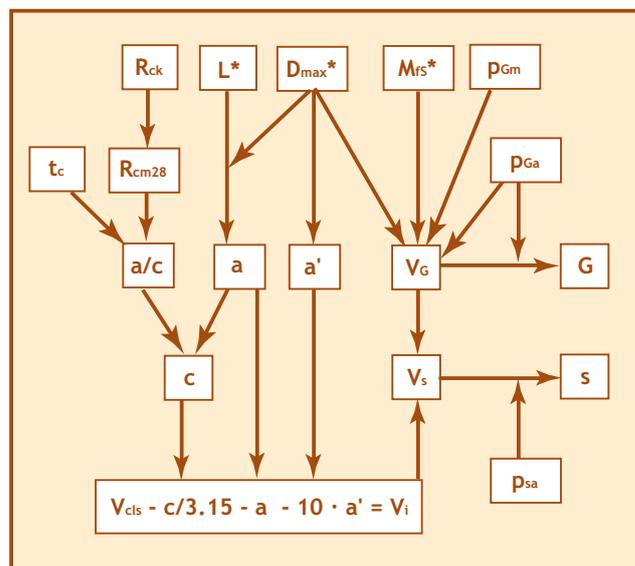
Da un punto di vista pratico, vanno a far parte del fluido trasportatore non solo l'acqua ed il cemento, ma anche quella frazione di sabbia, al di sotto di 0.3 mm, che si raccorda dal punto di vista granulometrico, con la distribuzione dimensionale del cemento. Pertanto il problema di poter disporre di una sabbia sufficientemente ricca nella frazione fine è il primo punto da affrontare per la produzione di un calcestruzzo pompabile indipendentemente dal contenuto di cemento calcolato attraverso il *mix-design*.

Il *mix-design* per un calcestruzzo pompabile segue lo stesso schema logico di un calcestruzzo normale, ma rispetto a questo presenta alcuni vincoli in più che riguardano:

- **L** deve essere compresa nell'intervallo di slump 5 – 15 cm a meno che non si usino superfluidificanti. In tal caso lo slump può arrivare a 25 cm
- **D_{max}** non deve superare 1/3 del diametro interno del tubo della pompa
- **G** non deve superare un certo valore critico
- La sabbia calcolata per differenza tra **V_i** e **V_g** deve possedere particolari requisiti granulometrici

Di seguito è mostrato lo schema di *mix-design* per un calcestruzzo pompabile dove sono segnalati con * i vincoli aggiuntivi sopra esposti rispetto ad un calcestruzzo normale.

Schema di mix-design per un calcestruzzo pompabile



1.1 - CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE DELLA SABBIA PER IL CALCESTRUZZO POMPABILE

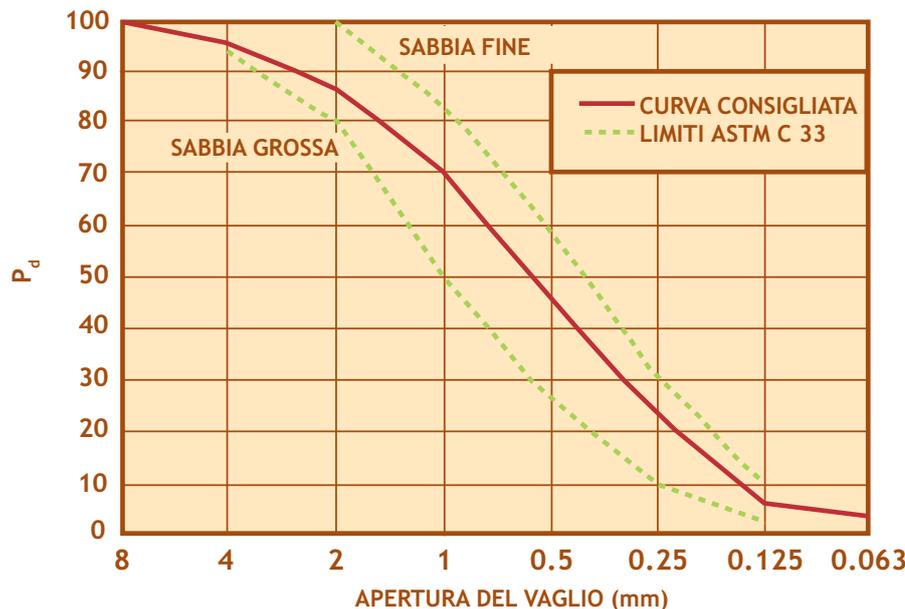
La sabbia consigliata per confezionare un calcestruzzo pompabile è quella indicata nella Figura che segue, dove è riportato, inoltre, il fuso granulometrico per le sabbie da impiegare nel confezionamento del calcestruzzo messo in opera tradizionalmente.

In pratica si possono considerare accettabili le sabbie che presentino:

$$\begin{aligned} 3 &> M_{fs} > 2.4 \\ 30\% &> P_{0.30} > 10\% \\ 10\% &> P_{0.15} > 5\% \end{aligned}$$

Dove M_{fs} è il modulo di finezza della sabbia, e $P_{0.30}$ e $P_{0.15}$ sono i passanti cumulativi rispettivamente al vaglio con apertura di 0.30 e 0.15 mm per la sabbia.

Quando la sabbia da utilizzare sia più fine di quella richiesta (per esempio $M_{fs} < 2.4$), la richiesta di acqua (a) aumenta e conseguentemente aumenta il dosaggio di cemento (c) per mantenere costante il rapporto a/c e quindi la R_{ck} . D'altra parte, se non si aumenta la richiesta d'acqua, cresce enormemente lo sforzo richiesto per pompare il calcestruzzo (soprattutto se la sua lavorabilità è bassa) e si può arrivare all'arresto del pompaggio se la potenza della macchina non è adeguata.



Se, invece, la sabbia da utilizzare è più grossa di quella richiesta (es. $M_{fs} > 3$), si può verificare il blocco del pompaggio per la formazione di un "tappo" di inerti: infatti, la carenza di materiale fine nella sabbia comporta una discontinuità nella granulometria con le particelle di cemento e quindi una tendenza alla segregazione: la pasta di cemento, soprattutto se fluida, tende a muoversi tra i vuoti interstiziali degli inerti, anziché spingere in avanti i granuli degli inerti privi di pasta cementizia.

Dalle considerazioni sopra esposte si evince anche che la lavorabilità ottimale per un calcestruzzo pompabile è compresa in un certo intervallo di *slump* (5-15 cm). Tuttavia calcestruzzi più fluidi (fino a 25 cm di *slump*) possono essere facilmente pompati purché siano rispettati i vincoli granulometrici sopra esposti e si adoperino additivi superfluidificanti.

1.2 - COME PROPORZIONARE SABBIA E INERTE GROSSO NEL CALCESTRUZZO POMPABILE CON IL METODI DI GOLDBECK

Il valore di b/b_0 indica il rapporto tra b il volume solido (V_s) di inerte grosso riferito al volume unitario di calcestruzzo (V_{cls}) e b_0 volume solido di inerte grosso (V_s) riferito al volume unitario in mucchio (V_m) di inerte compattato.

Pertanto:

$$b/b_0 = (V_s/V_{cls}) / (V_s/V_m) = V_m / V_{cls}$$

Il valore di b_0 è calcolato dalla massa volumica apparente (p_{Ga}) dello stesso inerte saturo a superficie asciutta e dalla massa volumica in mucchio con l'inerte in condizione di s.s.a. (p_{Gm}).

$$b_0 = \frac{V_s}{V_m} = \frac{m/p_{Ga}}{m/p_{Gm}} = \frac{p_{Gm}}{p_{Ga}}$$

Tabella di Goldbeck: valori di b/b_0 per l'inerte grosso in funzione di D_{max} e di M_{fs} per pompare calcestruzzi con slump di 7.5-10 cm

D_{max} (mm)	VALORI DI b/b_0 PER I SEGUENTI VALORI DI M_{fs} :				
	2.40	2.60	2.80	2.90	3.00
10	0.46	0.44	0.42	0.41	0.40
12	0.55	0.53	0.51	0.50	0.49
20	0.65	0.63	0.61	0.60	0.59
25	0.70	0.68	0.66	0.65	0.64
40	0.76	0.74	0.72	0.71	0.70
50	0.79	0.77	0.75	0.74	0.73
75	0.84	0.82	0.80	0.79	0.78
150	0.90	0.88	0.86	0.85	0.84

I valori di b/b_0 (cioè il volume in m^3 di inerte in mucchio compattato per $1 m^3$ di calcestruzzo) sono stati dedotti sperimentalmente da Goldbeck per produrre calcestruzzi pompabili di media lavorabilità (slump 7.5 – 10 cm). Allorquando si vuole calcolare il valore di b/b_0 per calcestruzzi con lavorabilità diversa si può ricorrere alla Tabella che segue, dove è riportato il coefficiente di correzione q , assunto uguale a 1 per lavorabilità variabile tra 7.5 e 10 cm di slump.

Fattore di correzione (q) per il calcolo di b/b_0

LAVORABILITA'			Valore di q per i seguenti valori di D_{max} (mm)				
SLUMP (cm)	VEBE (sec)	f.c.* (%)	10 mm	12 mm	20 mm	25 mm	40 mm
2.5 - 5	5 - 3	0.85	1.02	1.03	1.04	1.06	1.09
7.5 - 10	3 - 0	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
15.0 - 20	---	0.95	0.97	0.98	1.00	1.00	1.00

*f.c. = fattore di compattazione

Esempio:

Calcolare la proporzione di sabbia e di inerte grosso dai seguenti dati:

Inerti grossi: $p_{Gm} = 1600 \text{ kg/m}^3$
 $p_{Ga} = 2750 \text{ kg/m}^3$
 $D_{max} = 20 \text{ mm}$

Sabbia: $p_{sa} = 2600 \text{ kg/m}^3$
 $M_{fs} = 2.60$

**Dal mis-design:
volume totale**

dell'inerte: $V_i = 687 \text{ litri/m}^3$

$$b_0 = 1600/2750 = 0.58$$

Dal modulo di finezza della sabbia (2.60) e dal diametro massimo dell'inerte grosso (20 mm) si ricava dalla Tabella che $b/b_0 = 0.63$. Noto b_0 (0.58) si ricava b :

$$b = b/b_0 \cdot b_0 = 0.63 \cdot 0.58 = 0.365$$

Se b è uguale a 0.365 significa che il volume solido di inerte grosso è $0.365 m^3$ per ogni m^3 di calcestruzzo. Conoscendo il peso specifico apparente dell'inerte grosso (2750 kg/m^3) se ne calcola il peso per m^3 di calcestruzzo:

$$G = 2750 \cdot 0.365 = 1004 \text{ kg/m}^3$$

Per differenza tra il volume totale degli inerti (687 l/m^3) e quello dell'inerte grosso (365 l/m^3) si risale al volume di sabbia (322 l/m^3) e quindi al suo peso (837 kg/m^3) se si conosce la massa volumica della sabbia ($2,6 \text{ kg/l}$):

$$V_s = 687 - 365 = 322 \text{ l/m}^3; s = 322 \cdot 2.6 = 837 \text{ kg/m}^3$$



FORMULAZIONI

- Nuovi additivi o aggiunte minerali per conglomerati cementizi
- Malte per intonaci e murature
- Malte per il ripristino di strutture in calcestruzzo



RICERCHE E SPERIMENTAZIONI

Mirate all'inertizzazione o al riutilizzo di scorie industriali nei conglomerati cementizi:

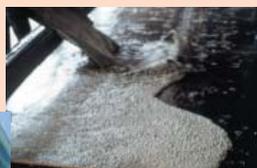
- materiali da demolizione di costruzioni
- scorie di fonderia
- scorie da RSU
- scorie di lavorazioni di vetro o ceramici
- materiale plastico non riciclabile
- liquidi a bassa radioattività



MIX-DESIGN

Ottimizzazione e prequalifica di conglomerati cementizi speciali quali:

- calcestruzzi con durabilità ≥ 50 anni secondo UNI EN 206/1 (struttura in classe 1 secondo DM 14-9-05)
- calcestruzzi con durabilità ≥ 100 anni (strutture in classe 2 o eccezionali)
- calcestruzzi leggeri ad uso strutturale
- conglomerati a ritiro ridotto o compensato nelle condizioni termo igrometriche più severe (es. pavimentazioni)
- calcestruzzi a rapido scassero e rapido sviluppo di resistenza
- calcestruzzi ad alte ed altissime prestazioni, anche fibrorinforzati
- calcestruzzi decorativi o per strutture con pregiato facciavista
- calcestruzzi a basso calore d'idratazione
- calcestruzzi autocompattanti (SCC) di tutti i tipi sopraelencati



ESEMPIO PRATICO DI MIX-DESIGN COMPLESSO PER CALCESTRUZZO POMPABILE



Mario Collepari, Glenda Fazio e
J. Jacob Ogoumah Olagot

Enco srl, Ponzano Veneto (TV) - info@encosrl.it



In questo articolo si presenta un esempio pratico di *mix-design* per un'opera in CA esposta all'aria umida dotata di una durabilità che ne garantisca la vita utile di servizio per almeno 50 anni.

Sono disponibili un cemento CEM I 42.5 R; un aggregato frantumato con D_{max} di 20 mm; e un additivo superfluidificante che dosato all'1% sul cemento è capace di ridurre l'acqua di impasto del 25%. Si deve adottare la norma nazionale UNI 11104 per il calcolo della durabilità

CALCOLO DEL RAPPORTO a/c

Sono richiesti i seguenti requisiti:

- per ragioni strutturali è richiesta una $R_{ck} = 35$ MPa con controllo di tipo B e scarto quadratico medio δ eguale a 5 MPa $\rightarrow R_{cm28} = 35 + 1.4 \cdot 5 = 42$ MPa \rightarrow rapporto $a/c = 0.55 \rightarrow$ Fig. 1;
- classe di esposizione XC4 (Tabella 1) in accordo alla norma nazionale UNI 11104 \rightarrow rapporto massimo $(a/c)_1 = 0.50$ che in Fig.1 corrisponde a $R_{cm28} = 50$ MPa; inoltre occorre che R_{ck} minimo = 40 MPa $\rightarrow R_{cm28} = 40 + k \cdot \delta = 40 + 1.4 \cdot 5 = 47$ MPa che in Fig 1 corrisponde ad un rapporto $(a/c)_2$ di 0.52. Il valore di (a/c) capace di garantire sia il rapporto a/c massimo sia la R_{ck} minima mostrati in Tabella 1 è il più basso tra i due valori $(a/c)_1$ ed $(a/c)_2 \rightarrow (a/c) = 0.50$. Il valore di (a/c) pari a 0.50 - da adottare per ragioni di durabilità in classe di esposizione XC4 con il CEM I 42.5 R - è inferiore anche al valore di a/c pari a 0.55 per garantire la R_{ck} di 35 MPa per ragioni strutturali. Pertanto verrà adottato il più basso dei valori di a/c capaci di garantire sia le prestazioni strutturali che quelle riguardanti la durabilità dell'opera ed esso corrisponde a 0.50. Pertanto la effettiva R_{ck} da adottare per garan-

tire l'aspetto strutturale e anche quello durabile dell'opera è così calcolabile: $R_{ck} = R_{cm28} - 1.4 \cdot \delta = 50 - 1.4 \cdot 5 = 43$ MPa che può essere arrotondato a 45 MPa per ragioni commerciali (è difficile trovare sul mercato un calcestruzzo con R_{ck} di 43 MPa). Il rapporto a/c per R_{ck} di 45 MPa (cioè per R_{cm28} di 52 MPa) diventa 0.49 (Fig. 1).

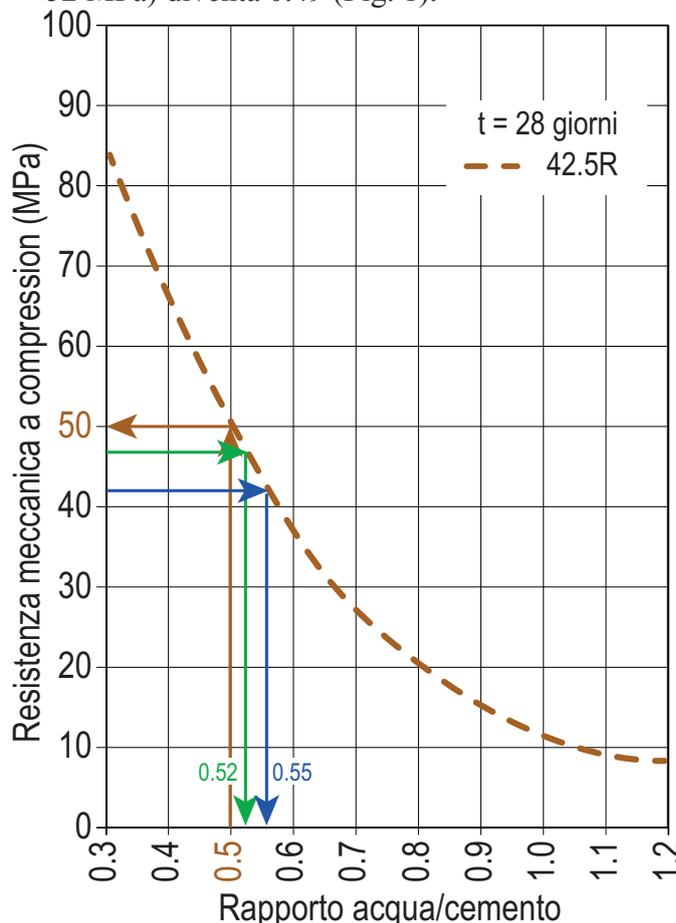


Fig. 1 - Resistenza meccanica a compressione media a 28 giorni in funzione del rapporto a/c di calcestruzzi confezionati con cementi di classe 42.5 R

CALCOLO DELL'ACQUA DI IMPASTO a

- Spessore del copriferro previsto dall'Eurocodice 2 per garantire una durabilità di 50 anni = 30

Tabella 1 - Requisiti compositivi e prestazionali richiesti per le classi di esposizione XC1, XC2, XC3 e XC4 secondo la norma UNI 11104.

CLASSE DI ESPOSIZIONE	AMBIENTE	ESEMPI DI STRUTTURE CHE SI TROVANO NELLA CLASSE DI ESPOSIZIONE	MAX a/c	MIN. R _{ck} (MPa)	DOSAGGIO MINIMO DI CEMENTO (kg/m ³) *	SPESSORE DI COPRIFERRO (mm) **	
						c.a.	c.a.p.
XC1	Asciutto	- Interni di edifici con UR bassa	0.60	30	300	15	25
XC2	Bagnato raramente asciutto	- Strutture idrauliche - Fondazioni e strutture interrato	0.60	30	300	25	35
XC3	Moderatamente umido	- Interni di edifici con umidità relativa moderata/alta - Strutture esterne protette dal contatto diretto con la pioggia	0.55	35	320	25	35
XC4	Ciclicamente asciutto e bagnato	- Strutture esterne esposte all'acqua piovana	0.50	40	340	30	40

* Il dosaggio minimo di cemento è indicativo e non è applicabile ai calcestruzzi massivi per i quali si impiegano inerti con D_{max} > 32 mm.

** L'Eurocodice 2 stabilisce lo spessore dei copriferri nelle opere in c.a. e c.a.p. durabili 50 anni in relazione alle classi di esposizione definite dalla norma UNI-EN 1992-1-1: i valori sono stati adattati in accordo alla prEN 1992-1 e vanno aumentati di 10 mm per una durabilità di 100 anni.

mm (Tabella 1) → compatibile con il diametro massimo dell'aggregato disponibile (D_{max} = 20 mm).

- Classe di consistenza S3 (*slump* → 15 cm).

Dal valore dello *slump* e del D_{max} (20 mm) si ricava, in base alla regola di Lyse, che la richiesta d'acqua (*a*) è mediamente 215 kg/m³ e diventa 225 kg/m³ per un aggregato di frantumazione → Fig. 2.

Impiegando l'additivo superfluidificante il valore di *a* si riduce del 25% e diventa 169 kg/m³.

CALCOLO DEL DOSAGGIO DI CEMENTO c

Dal valore di *a/c* eguale a 0.49 e dal valore dell'acqua di impasto *a* di 169 kg/m³ il valore di *c* viene calcolato: $c = a/(a/c) = 169/0.49 = 345 \text{ kg/m}^3$ in accordo anche con il dosaggio minimo di cemento mostrato indicativamente in Tabella 1.

CALCOLO DEL CONTENUTO DI INERTE V_i

Il valore del volume di inerte (V_i) può essere calcolato con il noto bilancio di volume tenendo presente che il volume di aria intrappolata è 20 l/m³ con un inerte caratterizzato da un D_{max} di 20 mm. Il volume (V_i) di inerte risulta pari a:

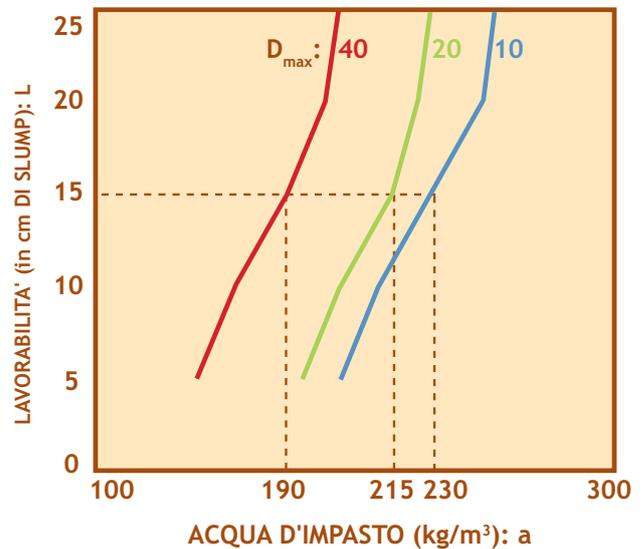


Fig. 2 – Lavorabilità in funzione dell'acqua di impasto con diverso diametro massimo (D_{max}) espresso in mm. I valori di *a* sono mediati da quelli ottenibili con inerti alluvionali e di frantumazione

$$V_i = 1000 - 169 - 345/3.15 - 20 = 701 \text{ l/m}^3$$

Nel caso di un calcestruzzo gettato tradizionalmente con benne, o per scivolo dalla canaletta di un'autobetoniera, il calcolo per arrivare alla percentuale del volume della sabbia e di quello

del pietrisco procede tenendo conto della distribuzione granulometrica dei due aggregati e di quella ideale (Bolomey, Fuller, ecc.) come è mostrato sul fondo celeste della Fig. 1 a pagina 6 di questo numero. Se invece questo calcestruzzo deve essere pompato occorre tener conto di quanto precisato nell'articolo a pagina 13 e procedere come è descritto nel paragrafo che segue.

CALCOLO DELLA COMPOSIZIONE DEGLI INERTI PER UN CALCESTRUZZO POMPABILE SECONDO GOLDBECK

Le caratteristiche degli inerti per questo calcestruzzo pompabile sono così riassumibili:

Sabbia → è conforme alle caratteristiche granulometrica per una sabbia destinata a un calcestruzzo pompabile ed in particolare è caratterizzata da un modulo di finezza (M_{fs}) di 2.60 e da un peso specifico (p_{sa}) di 2.6 kg/l.

Pietrisco → è caratterizzato da un D_{max} di 20 mm compatibile con il diametro della pompa, da un peso specifico (p_{Ga}) di 2750 kg/m³ e da un peso in mucchio (p_{Gm}) di 1600 kg/m³.

Il volume totale dell'inerte (V_i) calcolato nel paragrafo precedente è 701 l/m³.

Il valore di b_0 secondo Goldbeck è pari a $p_{Gm}/p_{Ga} = 1600/2750 = 0.58$.

Il rapporto b/b_0 per una sabbia con M_{fs} di 2.60 e un D_{max} di 20 mm è deducibile dalle tabelle speri-

mentali di Goldbeck mostrate a pagina 17 e portano ad un valore di 0.63. Pertanto il valore di b (che rappresenta la frazione in volume di pietrisco) è così calcolabile:

$$b = b/b_0 \cdot b_0 = 0.63 \cdot 0.58 = 0.365$$

Pertanto il volume di inerte grosso è di 0.365 m³ per 1 m³ di calcestruzzo. Il peso dell'inerte grosso (G) diventa quindi:

$$G = 2750 \cdot 0.365 = 1004 \text{ kg/m}^3$$

Il volume di sabbia (V_s) si calcola per differenza tra il volume totale di inerte ($V_i = 701 \text{ l/m}^3$) e quello dell'inerte grosso ($V_G = 365 \text{ l/m}^3$):

$$V_s = V_i - V_G = 701 - 365 = 336 \text{ l/m}^3 \rightarrow s = 336 \cdot 2.6 = 874 \text{ kg/m}^3$$

Pertanto la composizione "arrotondata" di questo calcestruzzo pompabile - destinato ad una struttura in CA esposta alla classe di esposizione XC4 e dotata di una R_{ck} pari a 45 MPa - è la seguente:

- CEMENTO CEM I 42.5 R → 345 Kg/m³
- ACQUA DI IMPASTO → 170 kg/m³
- SUPERFLUIDIFICANTE → 3.45 kg/m³
- SABBIA → 875 Kg/m³
- PIETRISCO → 1005 kg/m³

Hanno conseguito il Diploma di Tecnico del Calcestruzzo dei corsi on-line organizzati da Enco:



Ing. Paolo Berardi

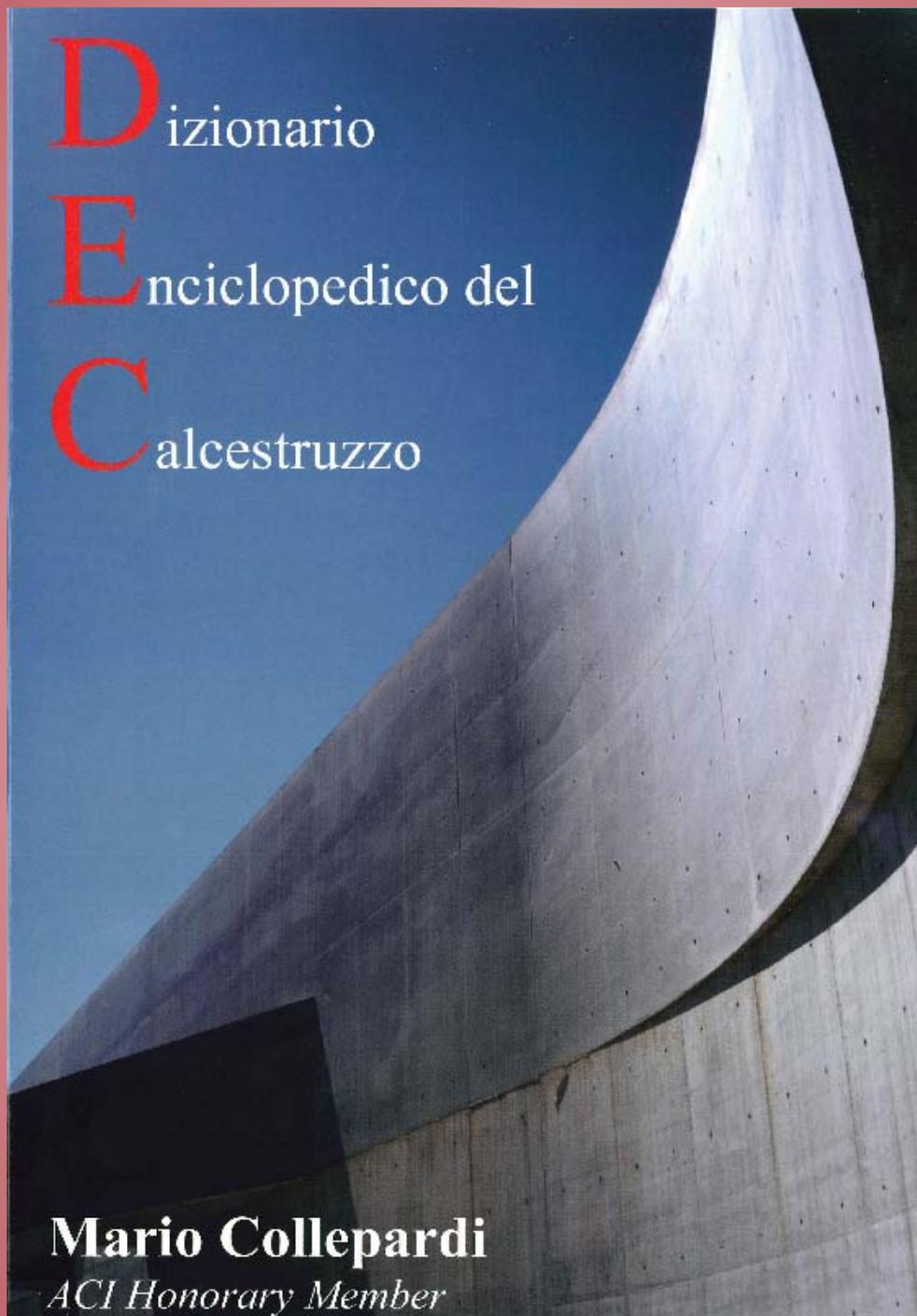


Ing. Salvatore Di Ronza



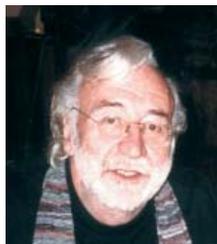
Geol. Massimo Bevacqua

..... e per avere una risposta
ad ogni domanda



Enco srl - Via delle Industrie 18/20 - 31050 Ponzano Veneto (TV)
Tel. 0422 963 771 - Fax 0422 963 237 - info@encosrl.it
acquistabile dal sito www.encoshop.com

IL MIX-DESIGN ED IL RITIRO IGROMETRICO DEL CALCESTRUZZO



Mario Collepari ed Antonio Borsoi

Enco srl, Ponzano Veneto (TV), info@encosrl.it

1 - INTRODUZIONE: IL RITIRO DIPENDE DALLA COMPOSIZIONE DEL CALCESTRUZZO

Il ritiro avviene per evaporazione dell'acqua attraverso i pori capillari della pasta di cemento la quale avvolge la sabbia e l'inerte grosso; questi ultimi non partecipano al ritiro, anzi, vi si oppongono in misura proporzionale alla loro rigidità e quindi al loro modulo elastico (E_i). Pertanto, il ritiro (S dall'inglese *Shrinkage*) diminuisce all'aumentare della quantità di inerte (i) ed al diminuire del dosaggio di cemento (c). In altre parole S diminuisce all'aumentare del rapporto inerte/cemento (i/c).

Inoltre, a parità di i/c , il ritiro sarà tanto minore quanto meno porosa è la pasta di cemento, cioè quanto più basso è il rapporto a/c :



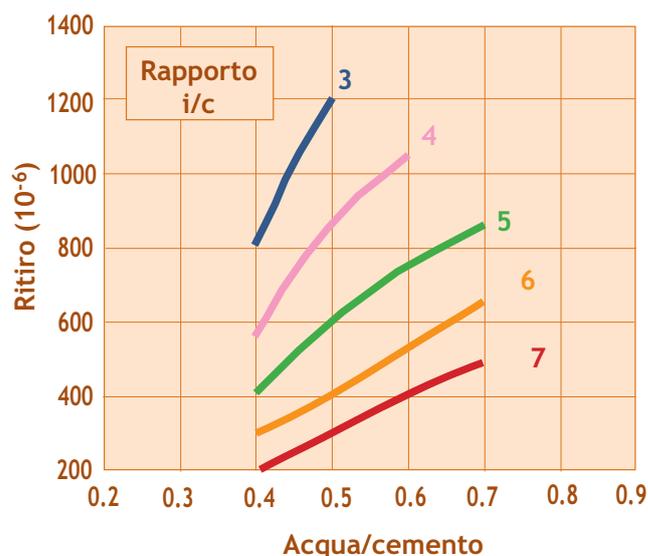
Nella Figura* che segue è mostrato il ritiro, che subisce il calcestruzzo, in funzione del rapporto a/c ed i/c . I valori del ritiro riportati nell'ordinata sono stati misurati nelle seguenti condizioni standard e pertanto verrà definito **ritiro "Standard"**, S_0 :

- DOPO 6 MESI DALLO SCASSERO
- IN ARIA CON U.R. = 50%
- SPESSORE FITTIZIO** = 5 cm

*Desunta dal libro "The Chemistry of Cement and Concrete", di F.M. Lea, London, E. Arnold, 1970

**Lo spessore "fittizio" (h_m) è definito come il rapporto tra l'area della sezione della struttura ortogonale alla direzione del ritiro (A_c) ed il semiperimetro della sezione di calcestruzzo esposto all'ambiente (S_p):

$$h_m = \frac{A_c}{S_p}$$



- ASSENZA DI ARMATURA METALLICA
- INERTI DI NATURA CALCAREA ($E_i = 40.000$ MPa)

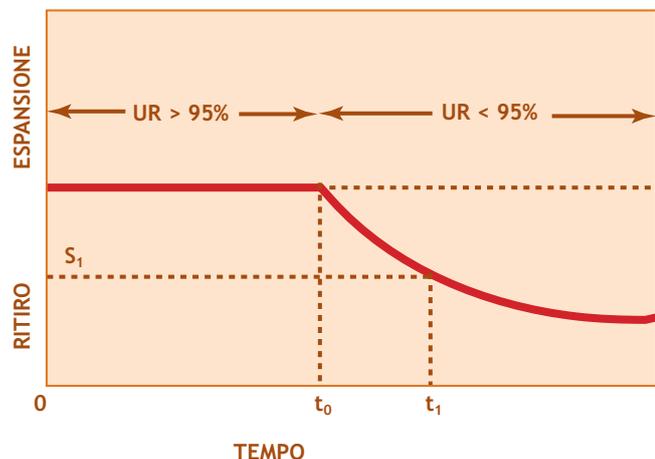
Pertanto per calcolare il ritiro della struttura (S) a tempi diversi da 6 mesi, in ambiente con UR diversa dal 50% e in strutture di spessore fittizio diverso da 5 cm, armate, realizzate con calcestruzzi confezionati con inerti di natura diversa da quella calcarea, occorre apportare al ritiro standard (S_0) delle modifiche moltiplicandolo per adeguati coefficienti correttivi f_1, f_2, f_3, f_4 e f_5 . Pertanto si avrà:

$$S = S_0 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5$$

Per il calcolo di S_0 , noto il rapporto a/c , si traccia una verticale fino ad incontrare la curva corrispondente al valore del rapporto i/c del calcestruzzo e quindi si legge sull'ordinata il valore del ritiro standard. Esempio: in un calcestruzzo con $a/c = 0.6$ ed $i/c = 7$, S_0 vale $400 \cdot 10^{-6} = 400 \mu\text{m/m}$.

2 - IL RITIRO AUMENTA CON IL TEMPO

Finché l'*UR* ambientale rimane al di sopra del 95% il calcestruzzo non subisce alcuna contrazione igrometrica. Per *UR* < 95% si verifica il ritiro igrometrico, come è mostrato nella Figura che segue.



Il ritiro si manifesta per tempi anche molto lunghi (fino a 30 anni) ancorché la maggior parte di esso si esplica entro pochi mesi. Al tempo t_1 esso raggiunge il valore S_T . Ai fini del calcolo ciò che conta è il tempo $t_1 - t_0$, cioè quello trascorso dal momento della scasseratura (t_0) al tempo t_1 .

Nell'intervallo di tempo tra $t = 0$ (confezione del calcestruzzo) e $t = t_0$ (scasseratura) non avviene il ritiro purché i casseri proteggano il calcestruzzo dall'evaporazione dell'acqua.

t	f_1
1 SETTIMANA	0.20
1 MESE	0.55
3 MESI	0.90
6 MESI	1.00
1 ANNO	1.10
2 ANNI	1.15
5 ANNI	1.25
10 ANNI	1.30
20 ANNI	1.40
30 ANNI	1.45

Per calcolare l'influenza del tempo sul ritiro si ricorre alla Tabella sopra riportata, dove il tempo è

contato a partire dal momento dello scassero ed f_1 è il fattore di correzione per il tempo.

Supposto che sia noto il ritiro a 6 mesi (posto eguale a 1 nella Tabella), il ritiro agli altri tempi si calcola moltiplicando questo valore per il fattore f_1 . Esempio: se il ritiro di un certo calcestruzzo, in determinate condizioni ambientali, è di $400 \cdot 10^{-6}$ dopo 6 mesi, il ritiro dello stesso calcestruzzo nelle stesse condizioni ambientali dopo 3 mesi è:

$$400 \cdot 10^{-6} \cdot 0.90 = 360 \cdot 10^{-6}$$

3 - IL RITIRO DIPENDE DALL'UMIDITÀ RELATIVA DELL'AMBIENTE

Il ritiro dipende anche dall'umidità relativa dell'ambiente: maggiore è l'umidità ambientale, minore è il ritiro.

Per calcolare l'influenza dell'*UR* ambientale su S si ricorre alla Tabella che segue, per individuare il fattore di correzione f_2 .

UR (%)	f_2	AMBIENTE
40	1.10	↑ molto
50	1.00	↓ asciutto
60	0.90	↑ all'aria
70	0.70	↓ aperta
80	0.50	in ambiente chiuso
90	0.30	↑ molto
95-100	0.00	↓ umido

Supposto che sia noto il ritiro con *UR* del 50% (posto eguale a 1 nella Tabella), il ritiro con *UR* diversa dal 50% si calcola moltiplicando questo valore per il fattore f_2 . Esempio: se il ritiro di un certo calcestruzzo, dopo un certo tempo, è di $500 \cdot 10^{-6}$ quando l'*UR* è del 50%, il ritiro dello stesso calcestruzzo, dopo lo stesso tempo, con *UR* dell'80% ($f_2 = 0.50$) diventa:

$$500 \cdot 10^{-6} \cdot 0.5 = 250 \cdot 10^{-6}$$

4 - IL RITIRO DIPENDE DALLO SPESSORE FITTIZIO DELLA STRUTTURA

Il ritiro è causato dalla perdita di acqua da parte del calcestruzzo, verso l'ambiente insaturo di vapore.

A parità di tutte le altre condizioni (tipo di calcestruzzo, UR ambientale, tempo), la evaporazione dell'acqua dal calcestruzzo dipende dallo spessore del getto. Strutture sottili (cioè con elevato rapporto superficie/volume) perdono più facilmente l'acqua rispetto a strutture massive (cioè con un basso rapporto superficie/volume). Pertanto, maggiore è lo spessore della struttura (h_m), minore è la perdita di acqua, e quindi minore è il ritiro del calcestruzzo (S).

Per calcolare l'influenza dello spessore della struttura su S si ricorre alla Tabella che segue, dove lo spessore è espresso attraverso il rapporto area sezione/semiperimetro esposto all'ambiente e prende il nome di "spessore fittizio" (h_m), ed f_3 è il fattore di correzione per lo spessore della struttura in calcestruzzo.

h_m (cm)	f_3
5	1.00
10	0.85
20	0.65
30	0.55
40	0.45
50	0.40

Supposto che sia noto il ritiro di un calcestruzzo in una struttura con spessore fittizio di 5 cm (posto eguale a 1 nella Tabella), il ritiro con spessori fittizi diversi da 5 cm, si calcola moltiplicando questo valore per il fattore f_3 . Esempio: se il ritiro di una struttura, confezionata con un certo calcestruzzo, in determinate condizioni di UR , dopo un certo tempo, è di $600 \cdot 10^{-6}$ quando la struttura ha uno spessore fittizio di 5 cm, il ritiro di un'altra struttura con uno spessore fittizio di 20 cm, cioè con $f_3 = 0.65$, (impiegando lo stesso calcestruzzo, nelle stesse condizioni di UR e dopo lo stesso tempo) diventa:

$$600 \cdot 10^{-6} \cdot 0.65 = 390 \cdot 10^{-6}$$

5 - IL RITIRO DIPENDE DALL'ARMATURA

La presenza dei ferri di armatura fa diminuire il ritiro rispetto a quello che si manifesta nello stesso calcestruzzo non armato. Maggiore è la percentua-

le di armatura (A_f), minore è il ritiro.

Per calcolare l'influenza dell'armatura (espressa in percento come sezione dei ferri riferita alla sezione della struttura in calcestruzzo nella direzione ortogonale al ritiro) si ricorre alla Tabella che segue, dove f_4 è il fattore di correzione per calcolare il ritiro del calcestruzzo armato da quello del calcestruzzo non armato.

A_f (%)	f_4
0.00	1.00
0.15	0.97
0.50	0.93
1.00	0.85
2.00	0.70

Supposto di conoscere il ritiro di un certo calcestruzzo ($500 \cdot 10^{-6}$), in una struttura di una certa sezione non armata, dopo un certo tempo, in un ambiente con una certa UR , il ritiro dello stesso calcestruzzo, armato con l'1% di ferri ($f_4 = 0.85$) a parità di tutte le altre condizioni diventa:

$$500 \cdot 10^{-6} \cdot 0.85 = 425 \cdot 10^{-6}$$

6 - IL RITIRO DIPENDE DAL MODULO ELASTICO DELL'INERTE

Gli inerti si oppongono al ritiro. Quanto maggiore è la loro rigidità, cioè quanto maggiore è il modulo elastico degli inerti (E_i), tanto meno il ritiro della pasta di cemento si tramuterà in un ritiro del calcestruzzo.

Per determinare l'influenza del modulo elastico dell'inerte sul ritiro del calcestruzzo si ricorre alla Tabella che segue dove è riportato il fattore di correzione (f_5) per inerti di diversa natura avendo posto uguale a 1 quello relativo agli inerti calcarei.

In generale il modulo elastico dell'inerte dipende dalla natura mineralogica dell'inerte stesso e diminuisce nel seguente ordine decrescente: basalto, quarzite, granito, calcare o dolomia, arenaria.

Tuttavia esistono eccezioni a questa regola empirica in quanto, per esempio, possono esistere dei basalti che hanno un modulo elastico inferiore a quello del calcare. Per questa ragione nella Tabella che segue il calcolo del coefficiente f_5 va fatto a

rigore sulla base del modulo elastico dell'inerte piuttosto che sulla base del tipo mineralogico dell'inerte stesso.

Supposto che sia noto il ritiro di un calcestruzzo confezionato con inerti calcarei (con modulo elastico di **40.000** MPa), il ritiro di un analogo calcestruzzo confezionato con inerti di altra natura (con diverso E_i) si calcola moltiplicando questo valore per il coefficiente di correzione f_5 .

Esempio: se il ritiro di una struttura in calcestruzzo confezionato con inerti calcarei ($E_i = 40.000$ MPa), in determinate condizioni di UR , dopo un certo tempo t , è di $500 \cdot 10^{-6}$, il ritiro di una struttura analoga nelle stesse condizioni di UR e allo stesso tempo t di un calcestruzzo confezionato con inerti di natura basaltica (con modulo elastico di **95.000** MPa) è di: $500 \cdot 10^{-6} \cdot 0.60 = 300 \cdot 10^{-6}$.

Coefficiente di correzione f_5 in funzione del modulo elastico dell'inerte TIPO DI INERTE	$E_i \cdot 10^3$ (MPa)	f_5
BASALTO	95	0.60
QUARZO	85	0.70
GRANITO	50	0.90
CALCARE, DOLOMIA	40	1.00
ARENARIA	10	3.00

7 - CALCOLO DEL RITIRO A PARTIRE DA R_{ck}, L, D_{max}, t_c

Calcolata la composizione del calcestruzzo (a/c ed i/c), a partire da R_{ck}, D_{max}, L, t_c (con il procedimento del mix-design) e conoscendo l' UR dell'ambiente, il tempo trascorso dalla scasseratura, la geometria della struttura, la percentuale di armatura e la natura dell'inerte, si può calcolare il ritiro:

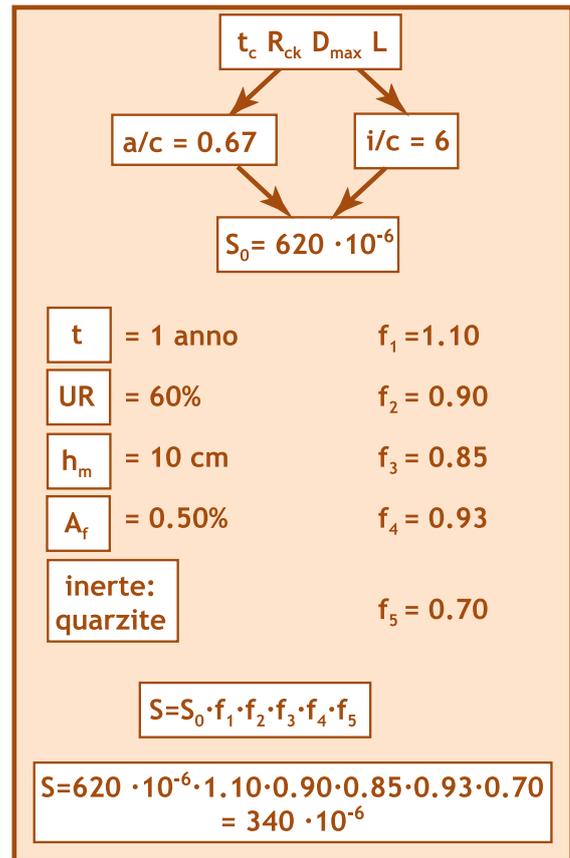
$$S = S_0 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5$$

Dove, S_0 è il ritiro standard deducibile dalla composizione del calcestruzzo, quando $UR = 50\%$, $t = 6$ mesi, $h_m = 5$ cm, $A_f = 0\%$ e l'inerte utilizzato è di natura calcarea.

Esempio: per un pilastro (20 • 20 cm) armato con lo 0.5% di ferri, si è impiegato un calcestruzzo con una richiesta di R_{ck}, D_{max}, L, t_c tali che la

composizione risulta essere: $a = 200$ kg/m³; $c = 300$ kg/m³; $i = 1800$ kg/m³ (e quindi con $a/c = 067$ e $i/c = 6$). Calcolare il ritiro della struttura dopo 1 anno, in un ambiente aperto con UR media del 60%, sapendo che si è impiegato per il confezionamento del calcestruzzo un inerte naturale (quarzite). Nella Figura che segue è riportato lo schema di calcolo a partire da R_{ck}, L, D_{max} e t_c per arrivare ad S_0 e quindi a S .

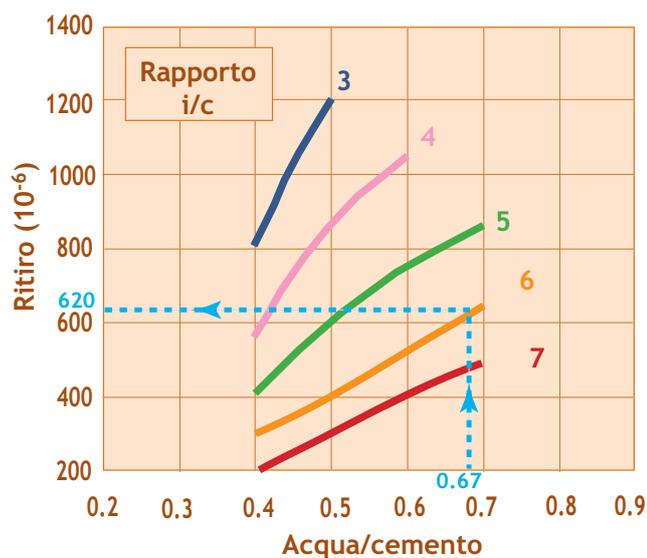
Calcolo del ritiro a partire da R_{ck}, L, D_{max}, t_c



Il valore di S_0 , pari a $620 \cdot 10^{-6}$, è calcolato nella Figura dell'Appendice [1]. Dai valori dei coefficienti f_1, f_2, f_3, f_4, f_5 riportati nelle Appendici da [2] a [6], si calcola quindi il valore del ritiro igrometrico della struttura S pari a $340 \cdot 10^{-6}$:

$$S = 620 \cdot 10^{-6} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5 = 340 \cdot 10^{-6}$$

APPENDICE [1]



APPENDICE [2]

t	f_1
1 SETTIMANA	0.20
1 MESE	0.55
3 MESI	0.90
6 MESI	1.00
1 ANNO	1.10
2 ANNI	1.15
5 ANNI	1.25
10 ANNI	1.30
20 ANNI	1.40
30 ANNI	1.45

APPENDICE [3]

IL RITIRO DIPENDE DALL'UMIDITA' RELATIVA DELL'AMBIENTE

UR (%)	f_2	AMBIENTE
40	1.10	↑ molto
50	1.00	↓ asciutto
60	0.90	↑ all'aria
70	0.70	↓ aperta
80	0.50	in ambiente chiuso
90	0.30	↑ molto
95	0.00	↓ umido

APPENDICE [4]

IL RITIRO DIPENDE DALLO SPESSORE DELLA STRUTTURA

h_m (cm)	f_3
5	1.00
10	0.85
20	0.65
30	0.55
40	0.45
50	0.40

APPENDICE [5]

IL RITIRO DIPENDE DALLA ARMATURA

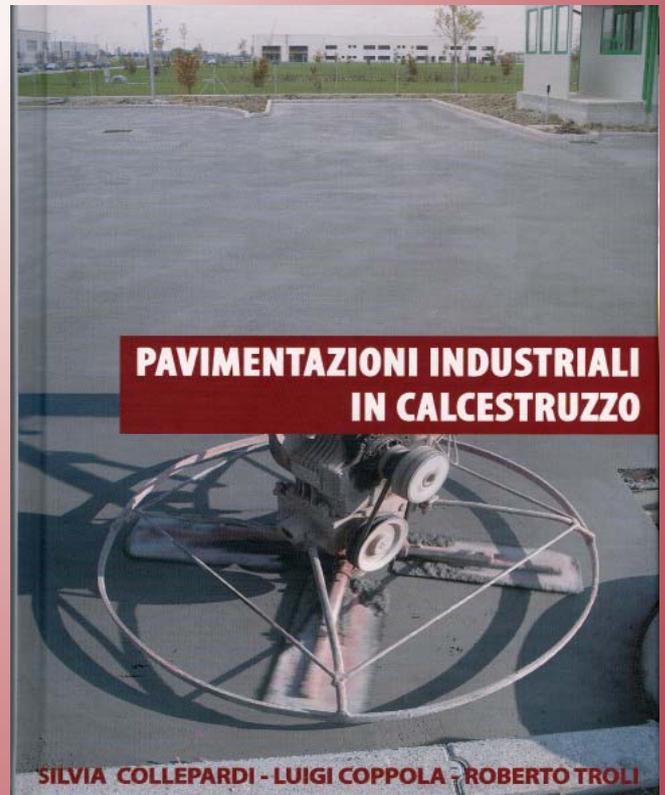
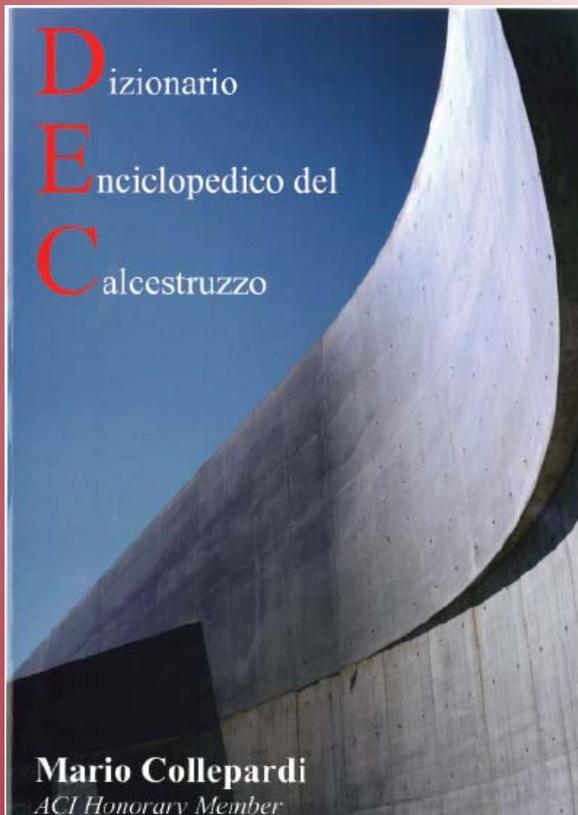
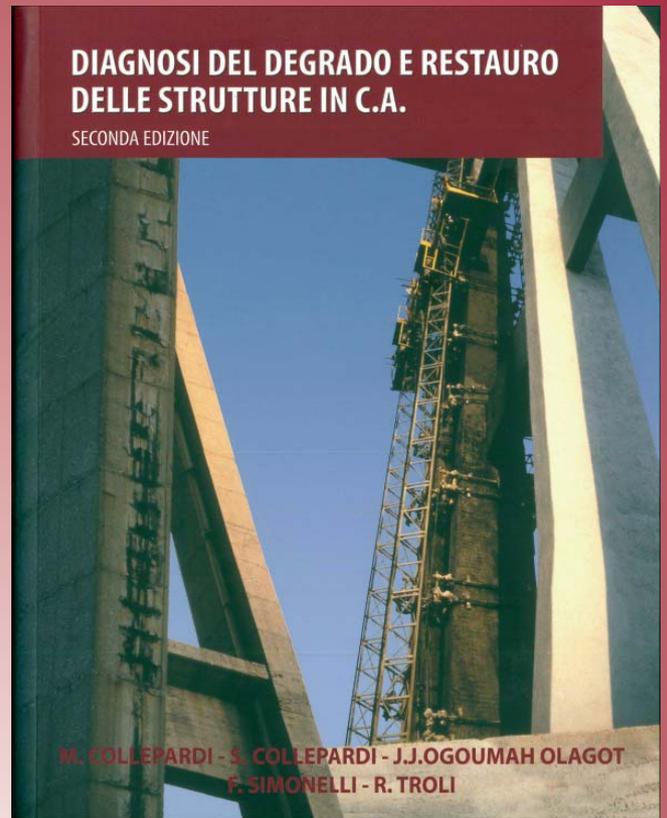
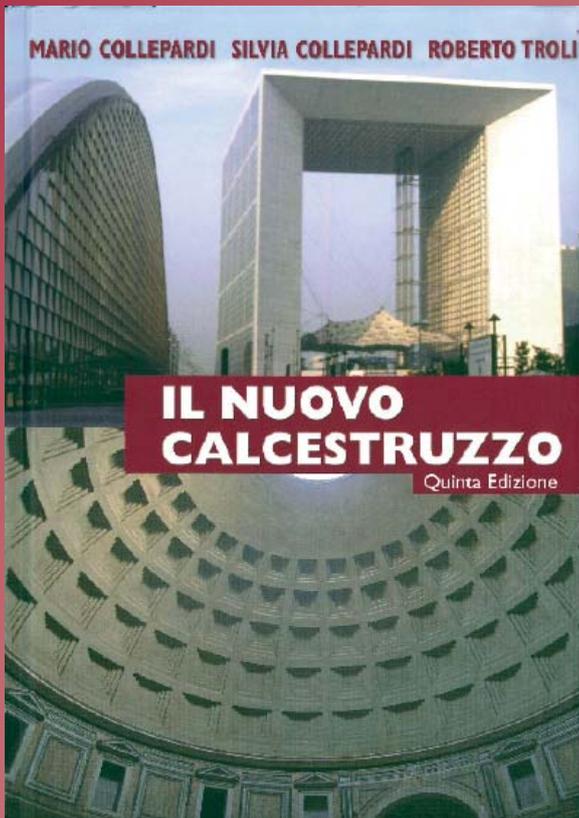
A_r (%)	f_4
0.00	1.00
0.15	0.97
0.50	0.93
1.00	0.85
2.00	0.70

APPENDICE [6]

IL RITIRO DIPENDE DAL MODULO ELASTICO DELL'INERTE

TIPO DI INERTE	$E_i \cdot 10^3$ (MPa)	f_5
BASALTO	95	0.60
QUARZO	85	0.70
GRANITO	50	0.90
CALCARE DOLOMIA	40	1.00
ARENARIA	10	3.00

I libri



Enco srl - Via delle Industrie 18/20 - 31050 Ponzano Veneto (TV)
Tel. 0422 963 771 - Fax 0422 963 237 - info@encosrl.it
acquistabili dal sito www.encoshop.com

D.M. del 14 Gennaio 2008

Il D.M. del 14 Gennaio 2008, nella sua ultima versione sulle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC), individua le responsabilità di tutti gli operatori coinvolti nella costruzione delle opere in c.a. e c.a.p.: il Progettista; il Direttore dei lavori (DL); l'Impresa di Costruzione; il Produttore di calcestruzzo preconfezionato o prefabbricato; il Laboratorio di prove sui materiali; il Collaudatore.

Enco può supportare questi operatori nelle azioni da intraprendere, precisate nei vari paragrafi (§) delle NTC, per raggiungere gli obiettivi posti dal D.M. del 14 Gennaio 2008

PROGETTISTA

- selezionare la vita utile di servizio: ≤ 10 oppure ≥ 50 oppure ≥ 100 anni (§ 2.4.1 e 2.4.2)
- prescrivere la classe di resistenza (f_{ck}/R_{ck}) ed il tipo di controllo A oppure B (§11. 2.1)
- precisare la classe di esposizione (§4. 1.2.2.4.3) in relazione all'ambiente (mare, terreno, ecc.)
- definire lo spessore minimo di copriferro in relazione all'ambiente (§ 4. 1.6.1.3)
- indicare le modalità esecutive: getto, maturazione e stagionatura del calcestruzzo (§11.2.11)

DIRETTORE DEI LAVORI

- verificare la certificazione delle materie prime del calcestruzzo (§ 11.1)
- verificare i risultati delle prove di prequalifica sul calcestruzzo prescritto nel progetto (§ 11.2.3)
- verificare la certificazione del processo di produzione industrializzato del calcestruzzo (§ 11.2.8)
- sovrintendere ai controlli di accettazione sul calcestruzzo fornito in corso d'opera (§11.2.5)
- identificare i provini da inviare al Laboratorio Ufficiale (§11.2.5.3)
- richiedere prove complementari sul calcestruzzo indurito: permeabilità, ecc. (§ 11.2.7)
- controllare la resistenza del calcestruzzo in opera con prove distruttive e non-distruttive (§11.2.6)

IMPRESA DI COSTRUZIONE

- verificare con prove preliminari la composizione del calcestruzzo da impiegare (§11.2.3)
- assumere la responsabilità della qualità del calcestruzzo anche se fornito da terzi (§11.2.3)
- certificare la produzione del calcestruzzo industrializzato se prodotto sul cantiere (§ 11.2.3)

PRODUTTORE DI CALCESTRUZZO

- ottenere la certificazione da un organismo ispettivo sulla qualità del sistema produttivo (§ 11.2.8)
- studiare la composizione del calcestruzzo in conformità alle proprietà prescritte (§11.2.8)
- verificare la qualità del calcestruzzo con prove di auto-controllo (§11.2.2 e 11.2.8)
- produrre il calcestruzzo richiesto dall'Impresa sotto il controllo del DL (§ 11.2.8)

LABORATORIO UFFICIALE

- verificare che la richiesta di prove sia sottoscritta dal DL (§11.2.5.3)
- determinare la classe di resistenza (f_{ck}/R_{ck}) in relazione a quella prescritta (§11.2.6)
- eseguire prove complementari richieste dal DL e/o dal Collaudatore (§ 11.2.7)
- eseguire prove sul calcestruzzo in opera richieste dal DL e/o dal Collaudatore (§11.2.8)

COLLAUDATORE

- controllare i documenti attestanti il possesso delle necessarie autorizzazioni (§9.1 punto a)
- ispezionare l'opera nelle varie fasi costruttive (§9.1 punto b)
- esaminare e verificare il progetto (§9.1 punti f, g, h)
- controllare le certificazioni dei materiali, del calcestruzzo e del processo produttivo (§9.1 punti c,d,e)
- richiedere eventuali carotaggi e/o prove non-distruttive sul calcestruzzo in opera (§9.1 punto i)
- richiedere eventuali prove di carico sulle strutture in opera (§9.2)

Enco srl Via delle Industrie 18/20 - 31050 Ponzano Veneto (TV)
TI 0422 963 771 Fax 0422 963 237 - www.encosrl.it - info@encosrl.it



MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO



L'unico libro disponibile per progettare la composizione dei calcestruzzi in base a:

- le prestazioni (R_{ck} , durabilità, impermeabilità, resistenza alla scasseratura, resistenza a flessione, lavorabilità);
- la disponibilità delle materie prime (cemento, additivi, tipo e granulometria dell'inerte).

Testo aggiornato alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni - (DM del 14 Gennaio 2008)