

Calcestruzzo: prestazioni non ordinarie, norme e applicazioni

Incontro con gli Ingegneri della provincia di Pesaro

Pesaro, 04/04/2014, Massimiliano Berti, Leonardo Euzor, Emiliano Pesciolini

RIFERIMENTI SULLE CARATTERISTICHE DEL
CALCESTRUZZO NELLE NORME TECNICHE DELLE
COSTRUZIONI 2008

Riferimenti sulle caratteristiche del calcestruzzo nelle NTC 2008

CAPITOLO	Ambito	Norma e/o tabella
3 Azioni sulle costruzioni	Peso materiali strutturali	Tabella 3.1.1 – Pesì dell'unità di volume dei principali materiali strutturali
4 Costruzioni civili ed industriali	Classi di resistenza	Utile riferimento UNI EN 206-1:2006 e UNI 11104:2004 Tabella 4.1.1 4.1 Costruzioni di calcestruzzo e seguenti per la progettazione Paragrafo 4.6
	Coefficienti di sicurezza	4.1.2.1.1.1 Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo $c_v \leq 10\%$ 4.1.2.1.1.2 Resistenza di calcolo a trazione del calcestruzzo
	Esecuzione strutture	4.1.7 Esecuzione Utile riferimento alla UNI EN 13670-1:2001 «Esecuzione delle strutture in calcestruzzo – Requisiti comuni»

Riferimenti sulle caratteristiche del calcestruzzo nelle NTC 2008

CAPITOLO	Ambito	Norma e/o tabella
4 Costruzioni civili ed industriali	Calcestruzzi leggeri	4.1.12 Calcestruzzo di aggregati leggeri Per classi di densità e resistenza utile riferimento alla UNI EN 206-1:2006 E Circolare tabella C4.1.V C.4.1.12 controlli di accettazione sulla massa volumica secondo UNI EN 206-1 e UNI EN 12390-7, resistenza a compressione dell'aggregato determinata in conformità all'Appendice A delle UNI EN 13055
	Copriferro ed interferro	4.1.6.1.3 Copriferro ed interferro Riporta indicazioni qualitative sulle dimensioni Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali Tabella 2.4.1 C4.1.6.1.3 Copriferro ed interferro
	Costruzioni composte di acciaio - calcestruzzo	4.3.3.1.2 Calcestruzzo Indicazioni sulle classi di resistenza minima e massima e densità dei calcestruzzi alleggeriti
	Costruzioni di altri materiali	4.6 Costruzioni di altri materiali Calcestruzzi con resistenza superiore a C70/85 Calcestruzzi fibrorinforzati
7 Progettazione per azioni sismiche	Costruzioni in calcestruzzo	7.4.2 Caratteristiche dei materiali Classe di resistenza minima C20/25
	Costruzioni in acciaio-calcestruzzo	7.6.1.1 Calcestruzzo Non è ammesso l'impiego di calcestruzzo di classe inferiore alla C20/25, non è consentito l'impiego di calcestruzzi di classe superiore alla C40/50

Riferimenti sulle caratteristiche del calcestruzzo nelle NTC 2008

CAPITOLO	Ambito	Norma e/o tabella
11 Materiali e prodotti per uso strutturale	Prescrizione	11.2.1 Specifiche per il calcestruzzo Caratteristiche da prescrivere all'atto del progetto Utile riferimento UNI ENV 13670-1 e Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo, indicazioni sulla composizione della miscela Esempio norma UNI EN 206-1:2006 per le classi di esposizione ambientale Si possono prescrivere diverse maturazioni e resistenze
	Controlli di qualità del calcestruzzo	11.2.2 Controlli di qualità del calcestruzzo 11.2.3 Valutazione preliminare della resistenza
	Confezionamento campioni di calcestruzzo e prove di rottura	11.2.4 Prelievo dei campioni UNI EN 12390-1:2002 e UNI EN 12390-4:2002 per preparazione, forma, dimensioni, stagionatura UNI EN 12390-3:2003 e UNI EN 12390-4:2002 per la determinazione della resistenza UNI EN 12390-7 per la determinazione della massa volumica
	Controllo di accettazione	11.2.5 Controllo di accettazione Controllo di tipo A Controllo di tipo B
	Resistenza in opera	11.2.6 Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera Utile riferimento UNI EN 12504-1:2002, UNI EN 12504-2:2001, UNI EN 12504-3:2005 e Linee Guida C.11.2.6 Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera
	Confezionamento del calcestruzzo	11.2.8 Prescrizioni relative al calcestruzzo confezionato con processo industrializzato C.11.2.8 Prescrizioni relative al calcestruzzo confezionato con processo industrializzato

Riferimenti sulle caratteristiche del calcestruzzo nelle NTC 2008

CAPITOLO	Ambito	Norma e/o tabella
11 Materiali e prodotti per uso strutturale	Componenti	11.2.9.1 Leganti conformi alla UNI EN 197 11.2.9.2 Aggregati conformi alla UNI EN 12620 e UNI EN 13055-1 11.2.9.3 Aggiunte ceneri conformi alla UNI EN 450-1, per l'impiego utile riferimento alla UNI EN 206-1 ed UNI 11104:2004 Fumi di silice conformi alla UNI EN 934-2 Additivi conformi alla UNI EN 934-2 Acqua di impasto conforme alla UNI EN 1008:2003
	Caratteristiche meccaniche del calcestruzzo	11.2.10 Caratteristiche del calcestruzzo Resistenza a trazione UNI EN 12390-2: 2002 Secondo UNI EN 12390-6 e UNI EN 12390-5:2002 per prova di trazione Modulo elastico secondo UNI 6556:1976 Coefficiente di dilatazione termica secondo UNI EN 1770:2000 Ritiro secondo UNI 6555:1973 e UNI 7086:1972
	Durabilità	11.2.11 Durabilità Determinazione della profondità di penetrazione dell'acqua in pressione vale quanto indicato nella norma UNI EN 12390-8 Definizione della classe utile riferimento sono le Linee Guida, UNI EN 206-1:2006, UNI 11104:2004

Riferimenti sulle caratteristiche del calcestruzzo nelle NTC 2008

Norme obbligatorie e norme volontarie richiamate

„vale quanto indicato“ „conforme alle norme“

- Serie 12390 per confezionamento provini e metodi di prova
- Norme armonizzate per i componenti cementi UNI EN 197, aggregati UNI EN 12620 e UNI EN 13055-1, aggiunte UNI EN 450-1, fumi di silice UNI EN 13263-1.....

„utile riferimento“ „esempio“

- UNI EN 206-1: 2006 Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità
- UNI 11104: 2004 Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1
- UNI EN 13670-1:2001 Esecuzione strutture in calcestruzzo (edizione 2010)
- Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive
- Serie 12504 per i controlli del calcestruzzo in opera.....

Prescrizione, Durabilità, Controlli di accettazione

➤ **PRESCRIZIONE**

➤ DURABILITA'

- classi di esposizione

➤ CONTROLLI DI ACCETTAZIONE

Prescrizione

Riferimenti

NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

11.2.1 Specifiche per il calcestruzzo

11.2.11 Durabilità

NORME RICHIAMATE DALLE NTC COME OBBLIGATORIE

Metodi di prova sul calcestruzzo indurito

NORME RICHIAMATE DALLE NTC COME UTILE RIFERIMENTO

UNI EN 206-1: 2006 Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità

UNI 11104: 2004 Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1

UNI EN 13670-1:2001 Esecuzione strutture in calcestruzzo (edizione 2010)

Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive

ALTRI DOCUMENTI

Linee guida per la produzione, il trasporto, ed il controllo del calcestruzzo preconfezionato del Servizio Tecnico Centrale

Prescrizione

11.2.1 Specifiche per il calcestruzzo

La prescrizione del calcestruzzo all'atto del progetto deve essere caratterizzata almeno mediante la classe di resistenza, la classe di consistenza ed il diametro massimo dell'aggregato. La classe di resistenza è contraddistinta dai valori caratteristici delle resistenze cubica R_{ck} e cilindrica f_{ck} a compressione uniassiale, misurate su provini normalizzati e cioè rispettivamente su cilindri di diametro 150 mm e di altezza 300 mm e su cubi di spigolo 150 mm.

Al fine di ottenere le prestazioni richieste, si dovranno dare indicazioni in merito alla composizione, ai processi di maturazione ed alle procedure di posa in opera, facendo utile riferimento alla norma UNI ENV 13670-1:2001 ed alle Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, nonché dare indicazioni in merito alla composizione della miscela, compresi gli eventuali additivi, tenuto conto anche delle previste classi di esposizione ambientale (di cui, ad esempio, alla norma UNI EN 206-1: 2006) e del requisito di durabilità delle opere.

CARATTERISTICHE DA PRESCRIVERE

- Classe di resistenza
- Classe di consistenza
- Diametro massimo dell'aggregato
- Composizione
- Processi di maturazione
- Procedure di messa in opera

Prescrizione

11.2.11 Durabilità

A tal fine in fase di progetto la prescrizione, valutate opportunamente le condizioni ambientali del sito ove sorgerà la costruzione o quelle di impiego, deve fissare le caratteristiche del calcestruzzo da impiegare (composizione e resistenza meccanica), i valori del copriferro e le regole di maturazione.

Ai fini della valutazione della durabilità, nella formulazione delle prescrizioni sul calcestruzzo, si potranno prescrivere anche prove per la verifica della resistenza alla penetrazione agli agenti aggressivi, ad esempio si può tener conto del grado di impermeabilità del calcestruzzo. A tal fine può essere determinato il valore della profondità di penetrazione dell'acqua in pressione in mm.

Per la prova di determinazione della profondità della penetrazione dell'acqua in pressione nel calcestruzzo indurito vale quanto indicato nella norma UNI EN 12390-8:2002.

Al fine di ottenere la prestazione richiesta in funzione delle condizioni ambientali, nonché per la definizione della relativa classe, si potrà fare utile riferimento alle indicazioni contenute nelle Linee Guida sul calcestruzzo strutturale edite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ovvero alle norme UNI EN 206-1:2006 ed UNI 11104:2004.

CARATTERISTICHE DA PRESCRIVERE

- Caratteristiche del calcestruzzo (composizione e resistenza meccanica)
- Valori del copriferro
- Regole di maturazione
- Durabilità, condizioni ambientali

Prescrizione

La prescrizione per le NTC:

Classe di resistenza	<ul style="list-style-type: none">• Tabella 4.1.I – Classi di resistenza• Utile riferimento UNI EN 206-1 e UNI 11104
Classe di consistenza	<ul style="list-style-type: none">• <i>Per le definizioni UNI EN 206-1</i>
Diametro massimo dell'aggregato	<ul style="list-style-type: none">• <i>Per le definizioni UNI EN 206-1</i>
Composizione	<ul style="list-style-type: none">• <i>Per riferimento Linee guida per la produzione, il trasporto, ed il controllo del calcestruzzo preconfezionato del Servizio Tecnico Centrale</i>
Durabilità, condizioni ambientali	<ul style="list-style-type: none">• Tabella 4.1.III Descrizione delle condizioni ambientali• Linee guida per il calcestruzzo strutturale• 11.2.11 Durabilità, utile riferimento Linee guida, UNI EN 206-1:2006, UNI 11104:2004
Valori del copriferro	<ul style="list-style-type: none">• 4.1.6.1.3 Copriferro ed interferro• C4.1.6.1.3 Copriferro ed interferro
Procedure di messa in opera	<ul style="list-style-type: none">• 4.1.7 Esecuzione• 11.2.1 Specifiche per il calcestruzzo
Processi di maturazione	<ul style="list-style-type: none">• Utile riferimento UNI EN 13670-1:2010

Prescrizione

Le Linee guida per la produzione, il trasporto, ed il controllo del calcestruzzo preconfezionato del Servizio Tecnico Centrale, dividono le prescrizioni in due ambiti (capitolo 4):

PRESTAZIONE GARANTITA

Classe di resistenza

Classe di esposizione

Classe di consistenza

Diametro massimo dell'aggregato

Resistenza a breve termine, resistenza a trazione o a flessione, modulo elastico, ritiro, e specifiche integrative per SCC

Ulteriori prescrizioni che possono essere richieste contrattualmente

Valori del copriferro

Procedure di messa in opera

Processi di maturazione

COMPOSIZIONE RICHIESTA

Dosaggio di cemento

Tipo e classe di cemento

Diametro massimo aggregati

Composizione granulometrica

Tipo e dosaggio additivo e/o aggiunta

Classe di consistenza o rapporto a/c

Ulteriori prescrizioni che possono essere richieste contrattualmente

Valori del copriferro

Procedure di messa in opera

Processi di maturazione

Prescrizione

APPROFONDIMENTI

PRESTAZIONE GARANTITA

Classe di resistenza

Classe di esposizione

Classe di consistenza

Diametro massimo dell'aggregato

Resistenza a breve termine, resistenza a trazione o a flessione, modulo elastico, ritiro, e specifiche integrative per SCC

Ulteriori prescrizioni che possono essere richieste contrattualmente

Valori del copriferro

Procedure di messa in opera

Processi di maturazione

Prescrizione

APPROFONDIMENTI
METODO DI PROVA UNI EN 12390-3

DIMENSIONI PROVINI

CLASSE DI RESISTENZA	
C8/10	
C12/15	
C16/20	
C20/25	
C25/30	
C28/35	
C32/40	
C35/45	
C40/50	
C45/55	
C50/60	
C55/67	
C60/75	
C70/85	
C80/95	
C90/105	

Prescrizione

APPROFONDIMENTI

PRESTAZIONE GARANTITA

Classe di resistenza

Classe di esposizione

Classe di consistenza

Diametro massimo dell'aggregato

Resistenza a breve termine, resistenza a trazione o a flessione, modulo elastico, ritiro, e specifiche integrative per SCC

Ulteriori prescrizioni che possono essere richieste contrattualmente

Valori del copriferro

Procedure di messa in opera

Processi di maturazione

Prescrizione

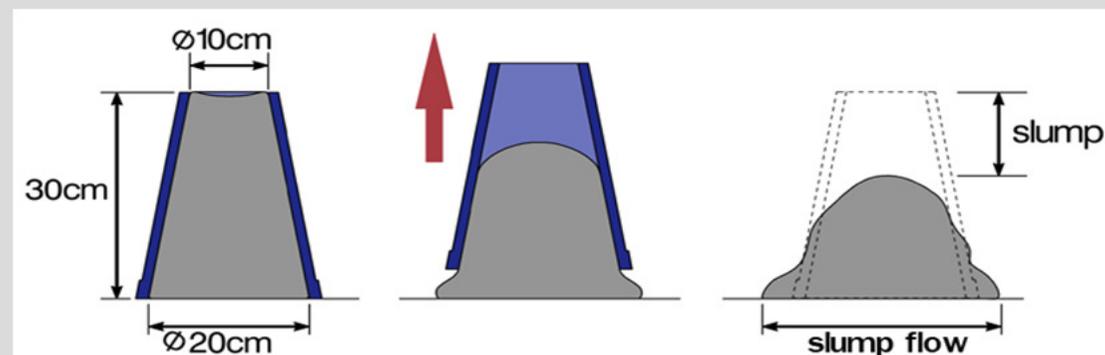
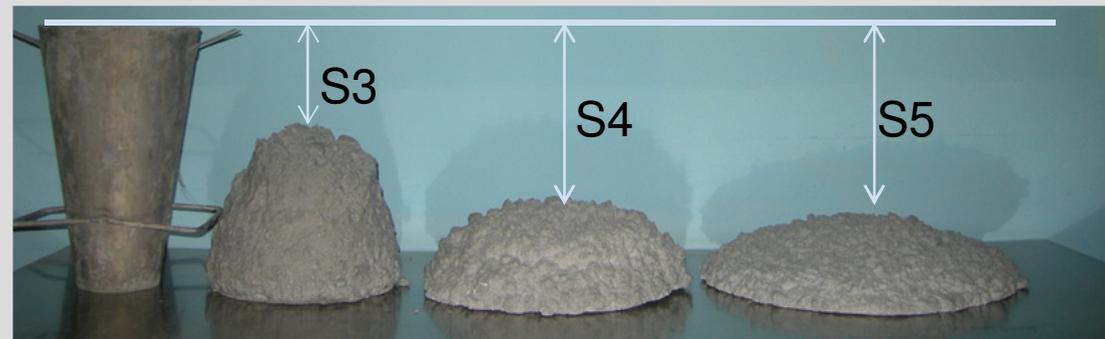
APPROFONDIMENTI

METODO DI PROVA UNI EN 12350-2

Classi di consistenza calcestruzzo
ordinario (**SLUMP**)

UNI EN 12350-2:2009

Classe	Abbassamento al cono
S1	da 10 a 40
S2	da 50 a 90
S3	da 100 a 150
S4	da 160 a 210
S5 ¹⁾	≥220



Prescrizione

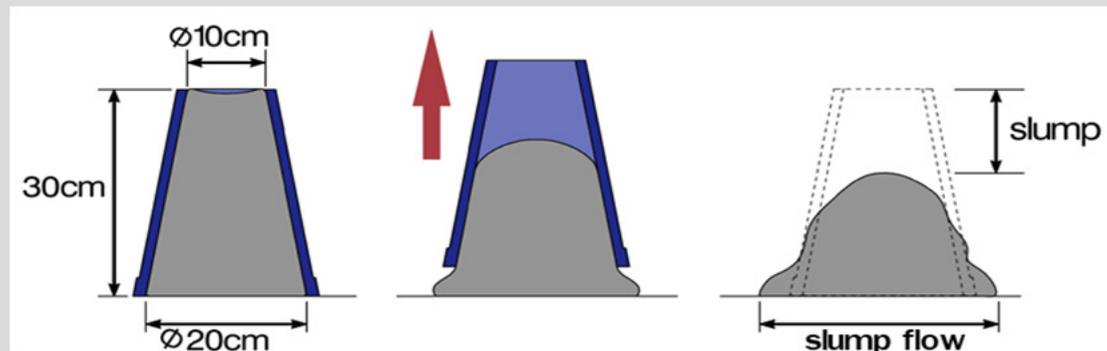
APPROFONDIMENTI

METODO DI PROVA UNI EN 12350-8

Classi di consistenza calcestruzzo autocompattante (**SLUMP FLOW**)

UNI EN 12350-8:2010

Classe	Spandimento in mm a), b) (valori limite dei singoli lotti)
SF1	da 550 a 650
SF2	da 660 a 750
SF3	da 760 a 850



Prescrizione

APPROFONDIMENTI

PRESTAZIONE GARANTITA

Classe di resistenza

Classe di esposizione

Classe di consistenza

Diametro massimo dell'aggregato

Resistenza a breve termine, resistenza a trazione o a flessione, modulo elastico, ritiro, e specifiche integrative per SCC

Ulteriori prescrizioni che possono essere richieste contrattualmente

Valori del copriferro

Procedure di messa in opera

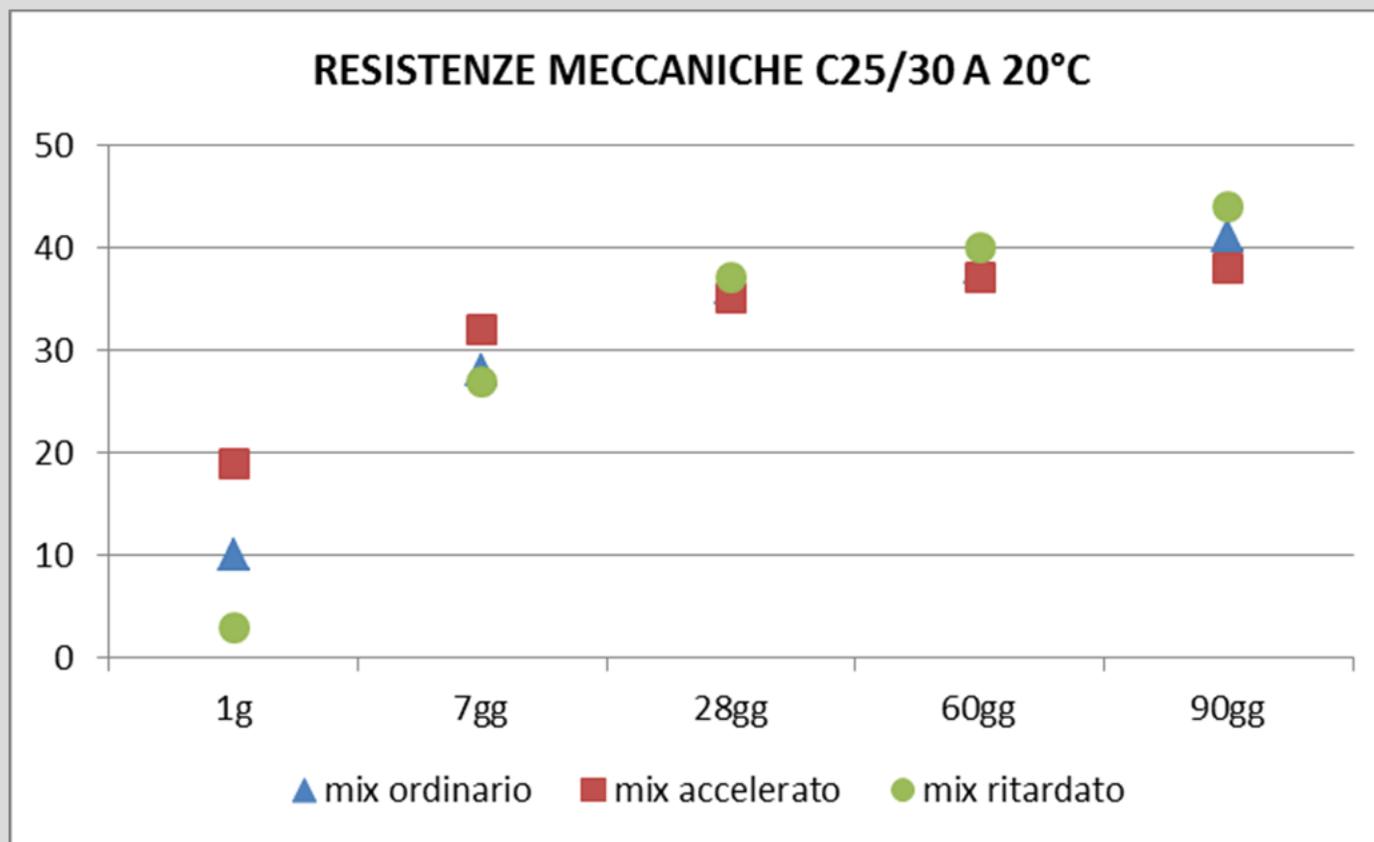
Processi di maturazione

RESISTENZA A BREVE TERMINE

Prescrizione

APPROFONDIMENTI

METODO DI PROVA UNI EN 12390-3



Prescrizione

APPROFONDIMENTI

PRESTAZIONE GARANTITA

Classe di resistenza

Classe di esposizione

Classe di consistenza

Diametro massimo dell'aggregato

Resistenza a breve termine, resistenza a trazione o a flessione, modulo elastico, ritiro, e specifiche integrative per SCC

Ulteriori prescrizioni che possono essere richieste contrattualmente

Valori del copriferro

Procedure di messa in opera

Processi di maturazione

RESISTENZA A TRAZIONE

Prescrizione

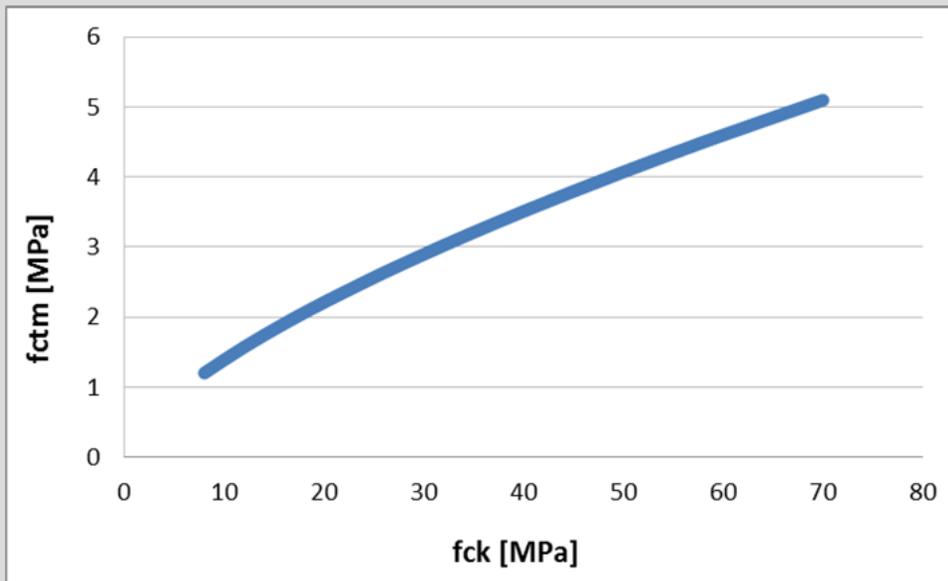
APPROFONDIMENTI

11.2.10.2 Resistenza a trazione

In sede di progettazione si può assumere come resistenza media a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo il valore (in N/mm^2):

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad \text{per classi} \leq \text{C50/60} \quad (11.2.3a)$$

$$f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln[1 + f_{cm}/10] \quad \text{per classi} > \text{C50/60} \quad (11.2.3b)$$



La resistenza media a trazione semplice cilindrica è funzione della resistenza caratteristica cilindrica:

f_{ck}

Prescrizione

APPROFONDIMENTI

La resistenza a trazione del calcestruzzo può essere determinata a mezzo di diretta sperimentazione, condotta su provini appositamente confezionati, secondo la norma UNI EN 12390-2:2002, per mezzo delle prove di seguito indicate:

- prove di trazione diretta;
- prove di trazione indiretta: (secondo UNI EN 12390-6:2002 o metodo dimostrato equivalente);
- prove di trazione per flessione: (secondo UNI EN 12390-5:2002 o metodo dimostrato equivalente).

Prescrizione

APPROFONDIMENTI

METODO DI PROVA UNI EN 12390-6



I provini possono essere

- Cilindrici
- Cubici
- Prismatici

Prescrizione

APPROFONDIMENTI

METODO DI PROVA UNI EN 12390-5



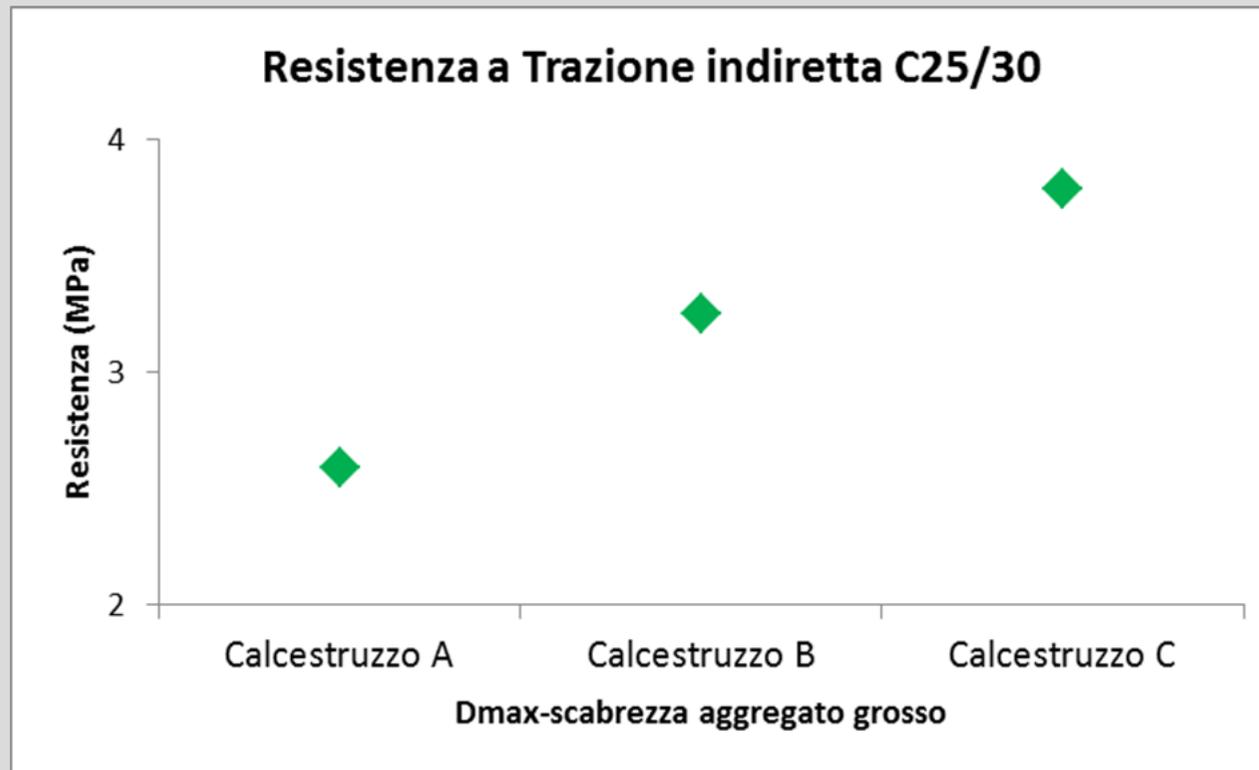
I provini possono essere
solamente

Prismatici

Prescrizione

APPROFONDIMENTI

RISULTATI SPERIMENTALI

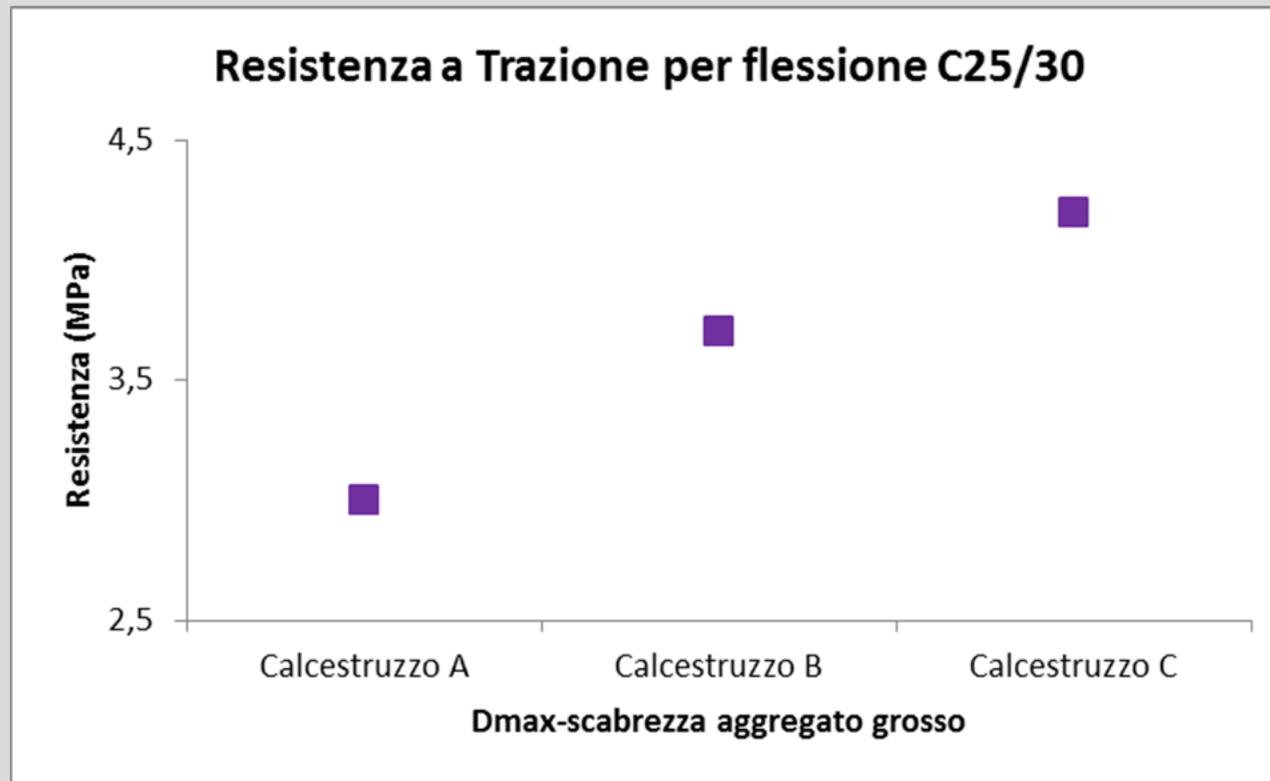


A pari classe di resistenza a compressione la trazione indiretta varia in funzione del **Dmax dell'aggregato** e del **grado di scabrezza**

Prescrizione

APPROFONDIMENTI

RISULTATI SPERIMENTALI



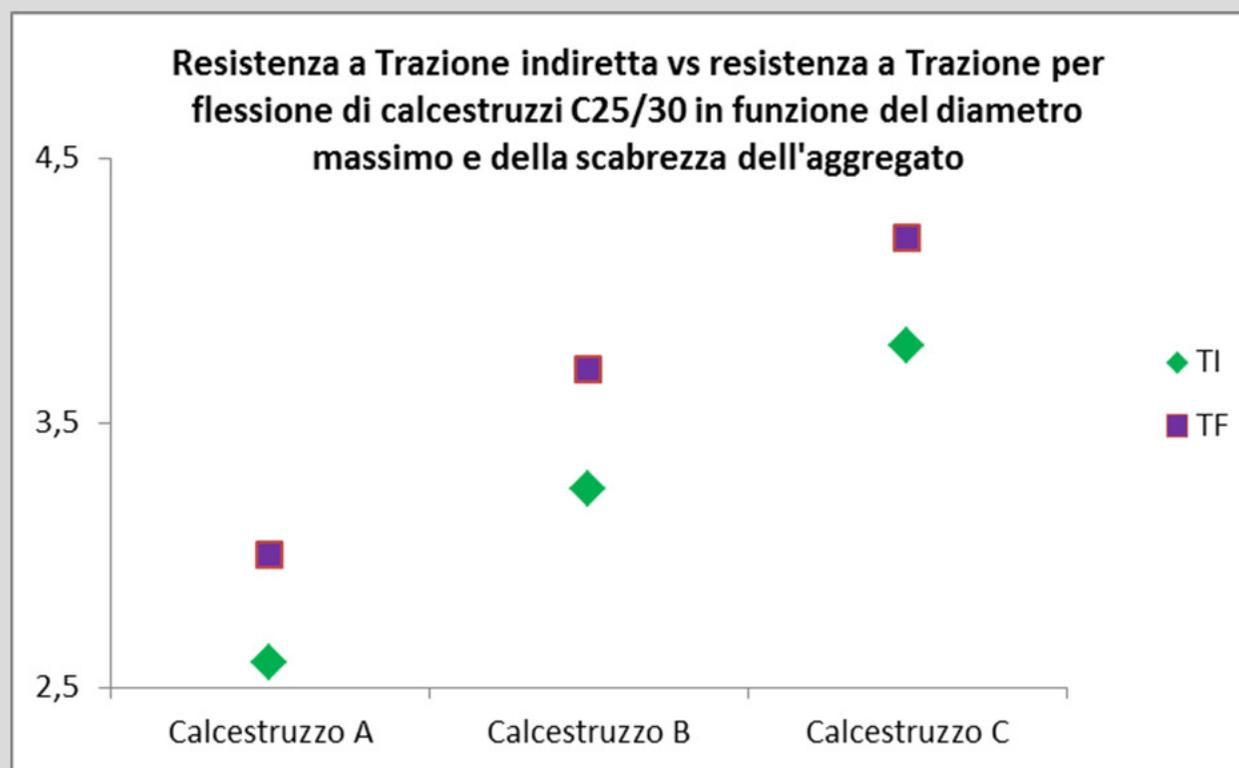
Anche la resistenza a trazione per flessione varia in funzione del **diametro massimo dell'aggregato** e del **grado di scabrezza** dello stesso.

Prescrizione

APPROFONDIMENTI

RISULTATI SPERIMENTALI

TRAZIONE INDIRETTA vs FLESSIONE



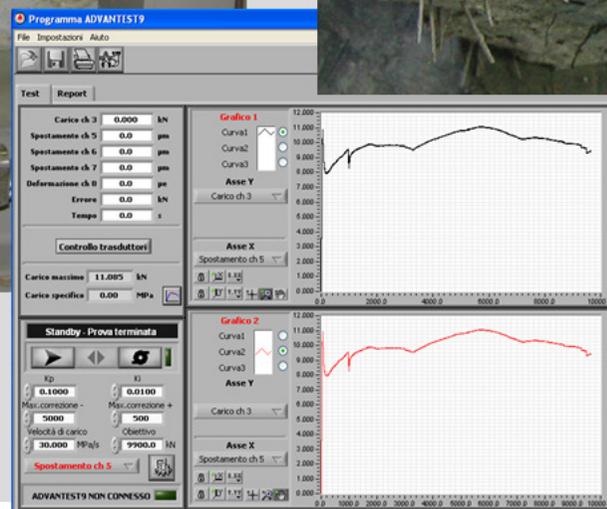
Trazione per flessione > 10-15% Trazione indiretta

Prescrizione

APPROFONDIMENTI

METODO DI PROVA UNI EN 14651

I provini possono essere
solamente
Prismatici



Prescrizione

APPROFONDIMENTI

PRESTAZIONE GARANTITA

Classe di resistenza

Classe di esposizione

Classe di consistenza

Diametro massimo dell'aggregato

Resistenza a breve termine, resistenza a trazione o a flessione, modulo elastico, ritiro, e specifiche integrative per SCC

Ulteriori prescrizioni che possono essere richieste contrattualmente

Valori del copriferro

Procedure di messa in opera

Processi di maturazione

MODULO ELASTICO

Prescrizione

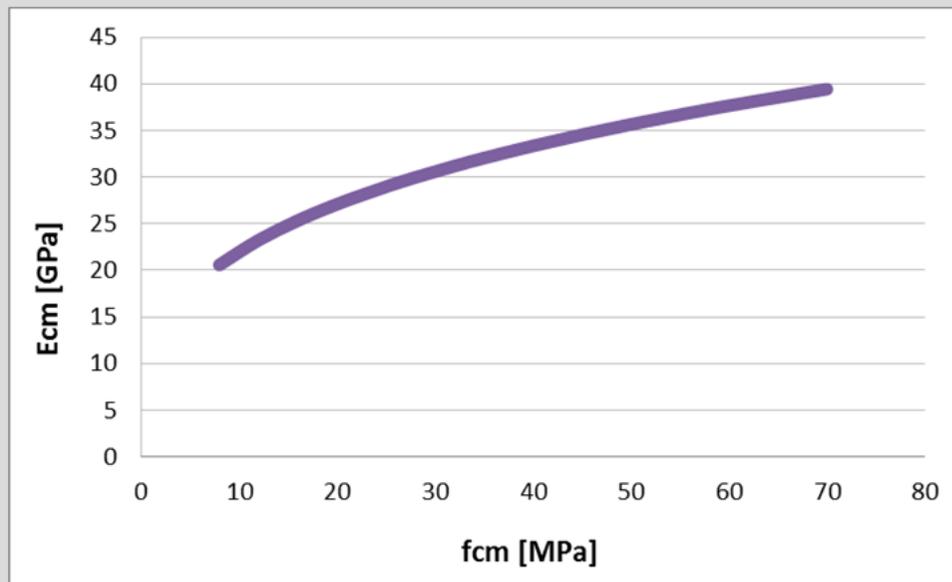
APPROFONDIMENTI

11.2.10.3 Modulo elastico

Per modulo elastico istantaneo del calcestruzzo va assunto quello secante tra la tensione nulla e 0,40 f_{cm} , determinato sulla base di apposite prove, da eseguirsi secondo la norma UNI 6556:1976.

In sede di progettazione si può assumere il valore:

$$E_{cm} = 22.000 \cdot [f_{cm}/10]^{0,3} \quad [N/mm^2] \quad (11.2.5)$$



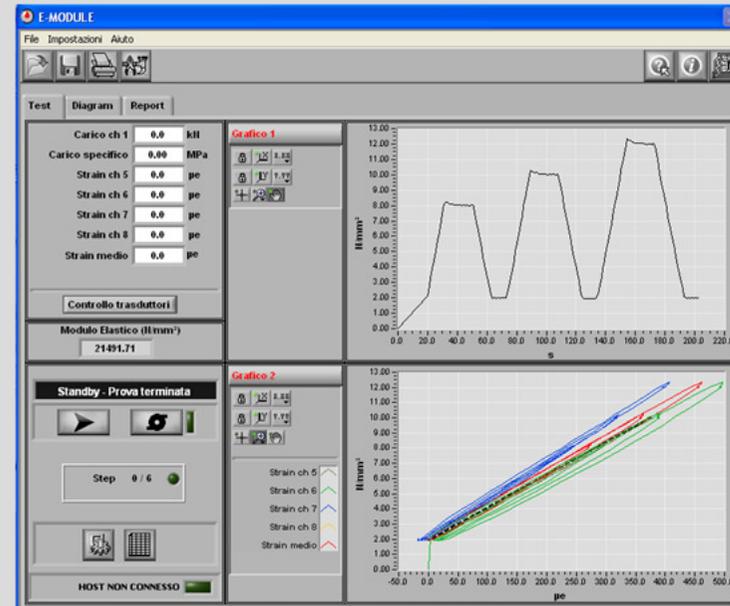
Il modulo elastico istantaneo è funzione della resistenza cilindrica media:

f_{cm}

Prescrizione

APPROFONDIMENTI

METODO DI PROVA UNI 6556 - UNI EN 12390-13



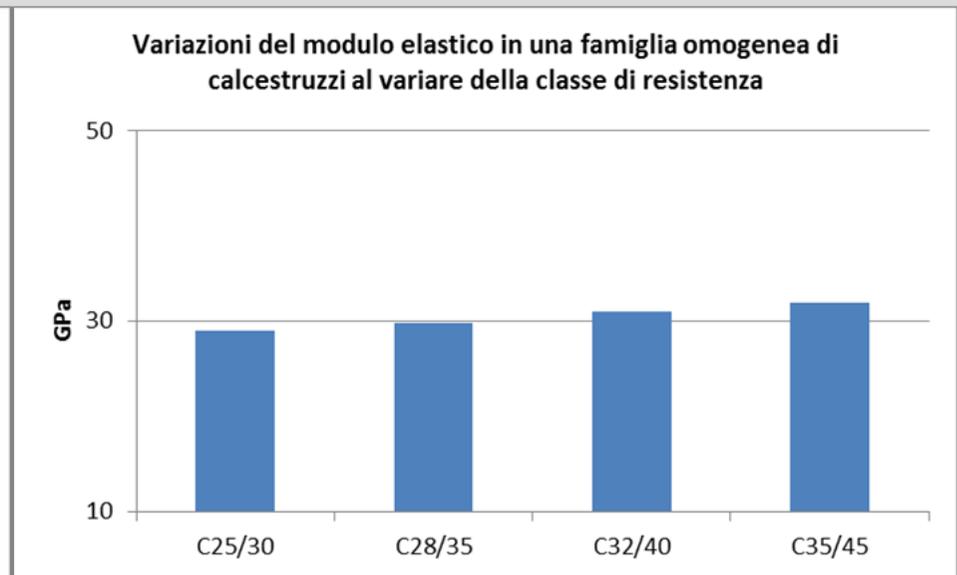
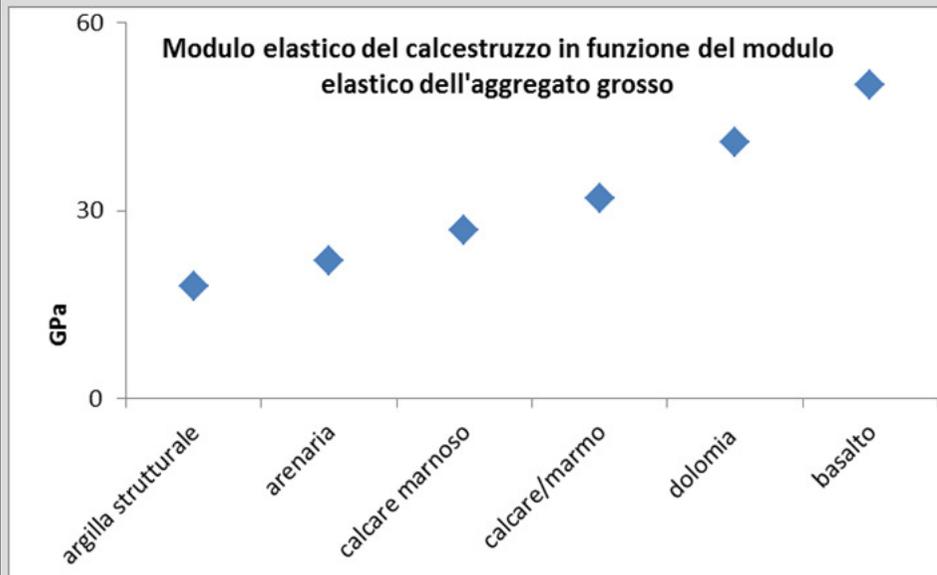
Prescrizione

APPROFONDIMENTI RISULTATI SPERIMENTALI

Il modulo elastico del calcestruzzo dipende sostanzialmente dal mix-design e dall'aggregato grosso impiegato

Calcestruzzi a pari classe di resistenza possono far riscontrare valori molto diversi.

Variando la classe di resistenza di calcestruzzi omogenei si trovano valori molto simili



Prescrizione

APPROFONDIMENTI

PRESTAZIONE GARANTITA

Classe di resistenza

Classe di esposizione

Classe di consistenza

Diametro massimo dell'aggregato

Resistenza a breve termine, resistenza a trazione o a flessione, modulo elastico, ritiro, e specifiche integrative per SCC

Ulteriori prescrizioni che possono essere richieste contrattualmente

Valori del copriferro

Procedure di messa in opera

Processi di maturazione

RITIRO

Prescrizione

APPROFONDIMENTI

11.2.10.6 Ritiro

In sede di progettazione, e quando non si ricorra ad additivi speciali, il ritiro del calcestruzzo può essere valutato sulla base delle indicazioni di seguito fornite.

La deformazione totale da ritiro si può esprimere come:

$$\underline{\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca}} \quad (11.2.6)$$

dove:

ϵ_{cs} è la deformazione totale per ritiro

ϵ_{cd} è la deformazione per ritiro da essiccamento

ϵ_{ca} è la deformazione per ritiro autogeno.

ϵ_{cd} dipende da f_{ck} , U.R., h_0 area e perimetro dell'elemento strutturale

ϵ_{ca} dipende da f_{ck}

Prescrizione

APPROFONDIMENTI

METODO DI PROVA UNI 11307

11.2.10.6 Ritiro

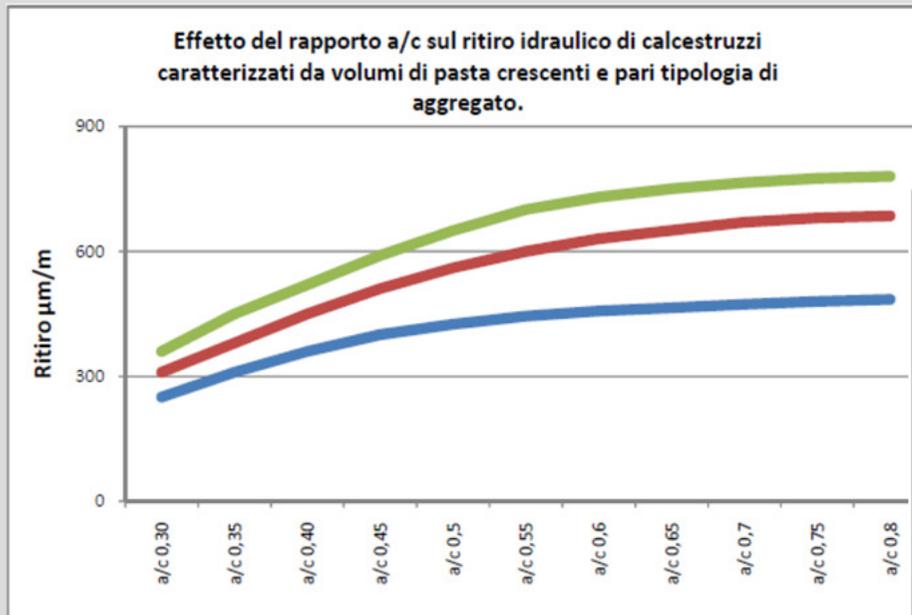
La deformazione assiale per ritiro del calcestruzzo può essere determinata a mezzo di apposite prove, da eseguirsi secondo le norme UNI 6555:1973 e UNI 7086:1972, rispettivamente per calcestruzzi confezionati con inerti aventi dimensioni massime sino a 30 mm, od oltre 30 mm.



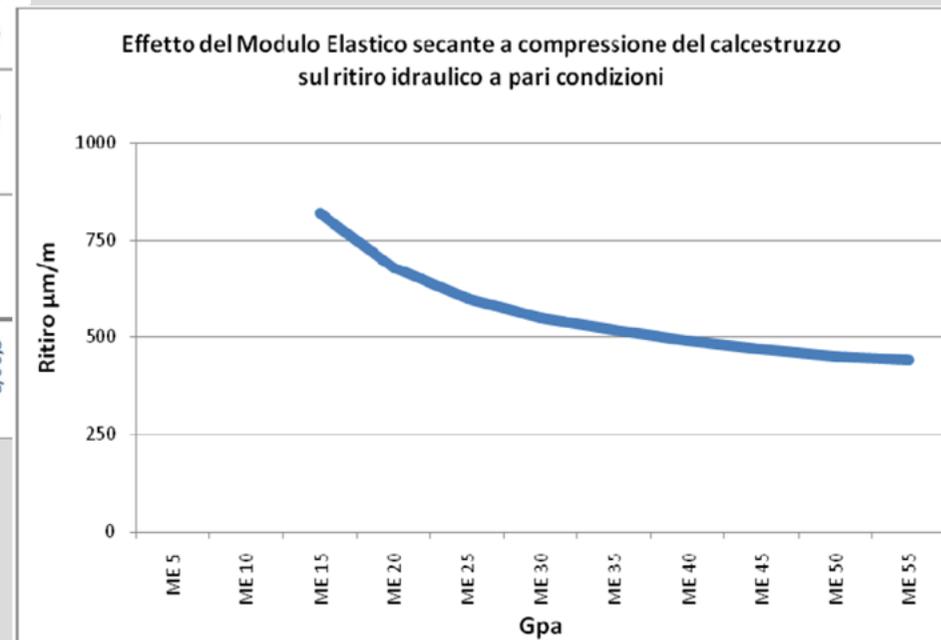
Prescrizione

APPROFONDIMENTI

RISULTATI SPERIMENTALI



Il ritiro idraulico è influenzato dal mix-design e dal Modulo elastico degli aggregati



Prescrizione

TIPI DI RITIRO E FASI

- Ritiro autogeno **Fase plastica** (calcestruzzi poveri di acqua, bassissimi rapporti a/c)
- Ritiro plastico **Fase plastica** (calcestruzzi che subiscono forte evaporazione superficiale)
- Ritiro termico **Fase di idratazione** (Δt tra nucleo-strato corticale-esterno)
- Ritiro idraulico **Fase di esercizio** (contrazione della pasta cementizia per perdita di umidità)

Calcestruzzo: prestazioni non ordinarie, norme e applicazioni

Incontro con gli Ingegneri della provincia di Pesaro

Pesaro, 04/04/2014, Massimiliano Berti, Leonardo Euzor, Emiliano Pesciolini

Prescrizione, Durabilità, Controlli di accettazione

➤ PRESCRIZIONE

➤ DURABILITA'
• classi di esposizione

➤ CONTROLLI DI ACCETTAZIONE

Prescrizione

APPROFONDIMENTI

PRESTAZIONE GARANTITA

Classe di resistenza

Classe di esposizione

Classe di consistenza

Diametro massimo dell'aggregato

Resistenza a breve termine, resistenza a trazione o a flessione, modulo elastico, ritiro, e specifiche integrative per SCC

Ulteriori prescrizioni che possono essere richieste contrattualmente

Valori del copriferro

Procedure di messa in opera

Processi di maturazione

Durabilità - classi di esposizione

Riferimenti

NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

11.2.11 Durabilità

4.1.2.2.4.3 Condizioni ambientali

4.1.6.1.3 Copriferro ed interferro

C4.1.6.1.3 Copriferro ed interferro

NORME RICHIAMATE DALLE NTC COME UTILE RIFERIMENTO

UNI EN 206-1: 2006 Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità

UNI 11104: 2004 Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1

Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive

Durabilità - classi di esposizione

11.2.11 Durabilità

A tal fine in fase di progetto la prescrizione, valutate opportunamente le condizioni ambientali del sito ove sorgerà la costruzione o quelle di impiego, deve fissare le caratteristiche del calcestruzzo da impiegare (composizione e resistenza meccanica), i valori del copriferro e le regole di maturazione.

Ai fini della valutazione della durabilità, nella formulazione delle prescrizioni sul calcestruzzo, si potranno prescrivere anche prove per la verifica della resistenza alla penetrazione agli agenti aggressivi, ad esempio si può tener conto del grado di impermeabilità del calcestruzzo. A tal fine può essere determinato il valore della profondità di penetrazione dell'acqua in pressione in mm.

Per la prova di determinazione della profondità della penetrazione dell'acqua in pressione nel calcestruzzo indurito vale quanto indicato nella norma UNI EN 12390-8:2002.

Al fine di ottenere la prestazione richiesta in funzione delle condizioni ambientali, nonché per la definizione della relativa classe, si potrà fare utile riferimento alle indicazioni contenute nelle Linee Guida sul calcestruzzo strutturale edite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ovvero alle norme UNI EN 206-1:2006 ed UNI 11104:2004.

Durabilità - classi di esposizione

CLASSI DI ESPOSIZIONE

4.1.2.2.4.3 Condizioni ambientali

4.1.2.2.4.3 *Condizioni ambientali*

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche, possono essere suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato nella Tab. 4.1.III con riferimento alle classi di esposizione definite nelle Linee Guida per il calcestruzzo strutturale emesse dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Tabella 4.1.III – *Descrizione delle condizioni ambientali*

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, <u>XA1, XA2, XF2, XF3</u>
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, <u>XA3, XF4</u>

Durabilità - classi di esposizione

CLASSI DI ESPOSIZIONE

UNI EN 206-1:2006 – 4.1 Classi di esposizione riferite all'azione dell'ambiente

Il calcestruzzo può essere soggetto a più di una delle azioni descritte nel prospetto 1 e può essere necessario esprimere le condizioni dell'ambiente alle quali esso è esposto come combinazione di classi di esposizione.

Prospetto 1 –
Classi di
esposizione

2 Corrosione Indotta da carbonatazione		
Nel caso in cui il calcestruzzo contenente armature o inserti metallici sia esposto all'aria e all'umidità, l'esposizione sarà classificata nel modo seguente: Nota Le condizioni di umidità si riferiscono a quelle presenti nel copriferro o nel ricoprimento di inserti metallici, ma in molti casi si può considerare che tali condizioni riflettano quelle dell'ambiente circostante. In questi casi la classificazione dell'ambiente circostante può essere adeguata. Questo può non essere il caso se c'è una barriera fra il calcestruzzo e il suo ambiente.		
XC1	Asciutto o permanentemente bagnato	Calcestruzzo all'interno di edifici con bassa umidità relativa Calcestruzzo costantemente immerso in acqua
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Superfici di calcestruzzo a contatto con acqua per lungo tempo Molte fondazioni
XC3	Umidità moderata	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità relativa dell'aria moderata oppure elevata Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia
XC4	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2

**DESCRIZIONE
AMBIENTE**

**DENOMINAZIONE
CLASSE**

**ESEMPI
INFORMATIVI DI
SITUAZIONI**

Durabilità - classi di esposizione

CLASSI DI ESPOSIZIONE

UNI EN 206-1:2006 – Prospetto 1 Classi di esposizione

1 Assenza di rischio di corrosione o attacco				
2 Corrosione indotta da carbonatazione				
3 Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare				
4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare				
5 Attacco dei cicli gelo/disgelo con o senza sali disgelanti				
6 Attacco chimico				
Caratteristica chimica	Metodo di prova di riferimento	XA1	XA2	XA3
Acqua nel terreno				
SO ₄ ²⁻ mg/l	EN 196-2	≥200 e ≤600	>600 e ≤3 000	>3 000 e ≤6 000
pH	ISO 4316	≤6,5 e ≥5,5	<5,5 e ≥4,5	<4,5 e ≥4,0
CO ₂ mg/l aggressiva	prEN 13577:1999	≥15 e ≤40	>40 e ≤100	>100 fino a saturazione
NH ₄ ⁺ mg/l	ISO 7150-1 oppure ISO 7150-2	≥15 e ≤30	>30 e ≤60	>60 e ≤100
Caratteristica chimica	Metodo di prova di riferimento	XA1	XA2	XA3
Mg ²⁺ mg/l	ISO 7980	≥300 e ≤1 000	>1 000 e ≤3 000	>3 000 fino a saturazione
Terreno				
SO ₄ ²⁻ mg/kg ^(a) totale	EN 196-2 ^(b)	≥2 000 e ≤3 000 ^(c)	>3 000 ^(c) e ≤12 000	>12 000 e ≤24 000
Acidità ml/kg	DIN 4030-2	>200 Baumann Gully	Non incontrato in pratica	

X0	Nessun rischio di corrosione dell'armatura
XC	Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione
XD	Corrosione delle armature indotta da cloruri – Cloruri esclusi quelli di acqua di mare
XS	Corrosione delle armature indotta da cloruri – Acqua di mare
XF	Attacco da cicli di gelo a disgelo
XA	Ambiente aggressivo per attacco chimico

Durabilità - classi di esposizione

CLASSI DI ESPOSIZIONE

UNI 11104:2004 – prospetto 4.1 Valori limiti per la composizione e le proprietà del calcestruzzo

	Classi di esposizione																	
	Nessun rischio di corrosione dell'armatura	Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione				Corrosione delle armature indotta da cloruri						Attacco da cicli di gelo/disgelo				Ambiente aggressivo per attacco chimico		
						Acqua di mare			Cloruri provenienti da altre fonti									
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Massimo rapporto <i>a/c</i>	-	0,60		0,55	0,50	0,50	0,45		0,55	0,50	0,45	0,50	0,50		0,45	0,55	0,50	0,45
Minima classe di resistenza ^{a)}	C12/15	C25/30		C28/35	C32/40	C32/40	C35/45		C28/35	C32/40	C35/45	32/40	25/30		28/35	28,35	32/40	35/45
Minimo contenuto in cemento (kg/m ³)	-	300		320	340	340	360		320	340	360	320	340		360	320	340	360
Contenuto minimo in aria (%)													3,0 ^{a)}					
Altri requisiti												Aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo				È richiesto l'impiego di cementi resistenti ai solfati ^{b)}		

^{a)} Nel prospetto 7 della UNI EN 206-1 viene riportata la classe C8/10 che corrisponde a specifici calcestruzzi destinati a sottofondazioni e ricoprimenti. Per tale classe dovrebbero essere definite le prescrizioni di durabilità nei riguardi di acque o terreni aggressivi.

a) Quando il calcestruzzo non contiene aria aggiunta, le sue prestazioni devono essere verificate rispetto ad un calcestruzzo aerato per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo, da determinarsi secondo UNI 7087, per la relativa classe di esposizione.

b) Qualora la presenza di solfati comporti le classi di esposizione XA2 e XA3 è essenziale utilizzare un cemento resistente ai solfati secondo UNI 9156.

Durabilità - classi di esposizione

Esempio



UNI EN 206 – prospetto 1
Esempi informativi
Superfici di calcestruzzo a contatto
con acqua per lungo tempo
Molte fondazioni

- edificio commerciale a Pesaro
- parcheggio sopraelevato
- circa 100 metri dal mare
- fondazioni in terreno con un tenore di solfati pari a 3500mg/kg

X0	Nessun rischio di corrosione dell'armatura
XC	Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione
XD	Corrosione delle armature indotta da cloruri – Cloruri esclusi quelli di acqua di mare
XS	Corrosione delle armature indotta da cloruri – Acqua di mare
XF	Attacco da cicli di gelo a disgelo
XA	Ambiente aggressivo per attacco chimico

STRUTTURE DI FONDAZIONE

	asciutto o permanentemente bagnato	XD1	Umidità moderata
		XD2	Bagnato, raramente asciutto
XC2	Bagnato, raramente asciutto	XD3	Ciclicamente asciutto e bagnato
XC3	Umidità moderata		
XC4	Ciclicamente asciutto e bagnato	XS1	Esposizione a marea
		XS2	Permanentemente sommerso
XF1	Moderata saturazione d'acqua, in assenza di agente disgelante	XS3	Zone esposte agli spruzzi oppure alla marea
XF2	Moderata saturazione d'acqua in presenza di agente disgelante	XA1	Ambiente chimicamente debolmente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1
XF3	Elevata saturazione d'acqua in assenza di agente disgelante	XA2	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1
XF4	Elevata saturazione d'acqua con presenza di agente antigelo oppure acqua di mare	XA3	Ambiente chimicamente fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1

UNI EN 206 – prospetto 1
Esempi informativi
Parti di strutture marine

Durabilità - classi di esposizione

Esempio



- edificio commerciale a Pesaro
- parcheggio sopraelevato
- circa 100 metri dal mare
- fondazioni in terreno con un tenore di solfati pari a 3500mg/kg

X0	Nessun rischio di corrosione dell'armatura
XC	Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione
XD	Corrosione delle armature indotta da cloruri – Cloruri esclusi quelli di acqua di mare
XS	Corrosione delle armature indotta da cloruri – Acqua di mare
XF	Attacco da cicli di gelo a disgelo
XA	Ambiente aggressivo per attacco chimico

STRUTTURE DI FONDAZIONE

XC1	Asciutto o permanentemente bagnato	XD1	Umidità moderata						
XC2	Bagnato, raramente asciutto	XD2	Bagnato, raramente asciutto						
XC3	Umidità moderata	XD3	Ciclicamente asciutto e bagnato						
XC4									
			TERRENO		ACQUA				
			Acidità Bauman Gully	SO ₄ ⁼ (mg/Kg)	SO ₄ ⁼ (mg/l)	pH	CO ₂ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)
			XA2 moderatamente e aggressivo	> 3000 ≤ 12000	> 600 ≤ 3000	< 5.0 ≥ 4.5	> 40 ≤ 100	> 30 ≤ 60	> 1000 ≤ 3000
XF3	Elevata saturazione d'acqua in assenza di agente disgelante						Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1		
XF4	Elevata saturazione d'acqua con presenza di agente antigelo oppure acqua di mare	XA3					Ambiente chimicamente fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1		

Durabilità - classi di esposizione

Esempio



- edificio commerciale a Pesaro
- parcheggio sopraelevato
- circa 100 metri dal mare
- fondazioni in terreno con un tenore di solfati pari a 3500mg/kg

X0	Nessun rischio di corrosione dell'armatura
XC	Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione
XD	Corrosione delle armature indotta da cloruri – Cloruri esclusi quelli di acqua di mare
XS	Corrosione delle armature indotta da cloruri – Acqua di mare
XF	Attacco da cicli di gelo a disgelo
XA	Ambiente aggressivo per attacco chimico

STRUTTURE IN ELEVAZIONE

XC1	Asciutto o permanentemente bagnato	XD1	Umidità moderata
		XD2	Bagnato, raramente asciutto
		XD3	Ciclicamente asciutto e bagnato
XC4	Ciclicamente asciutto e bagnato	XS1	Esposto alla salsedine marina ma non direttamente in contatto con l'acqua di mare
XF1	Moderata saturazione d'acqua, in assenza di agente disgelante	XS2	Esposto alla salsedine marina ma non direttamente in contatto con l'acqua di mare
XF2	Moderata saturazione d'acqua in presenza di agente disgelante	XS3	Esposto alla salsedine marina ma non direttamente in contatto con l'acqua di mare
XF3	Elevata saturazione d'acqua in assenza di agente disgelante	XA1	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1
XF4	Elevata saturazione d'acqua con presenza di agente antigelo oppure acqua di mare	XA2	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1
		XA3	Ambiente chimicamente fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1

UNI EN 206 – prospetto 1
Esempi informativi
Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2

UNI EN 206 – prospetto 1
Esempi informativi
Strutture prossime oppure sulla costa

Durabilità - classi di esposizione

Esempio



- edificio commerciale a Pesaro
- parcheggio sopraelevato
- circa 100 metri dal mare
- fondazioni in terreno con un tenore di solfati pari a 3500mg/kg

X0	Nessun rischio di corrosione dell'armatura
XC	Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione
XD	Corrosione delle armature indotta da cloruri – Cloruri esclusi quelli di acqua di mare
XS	Corrosione delle armature indotta da cloruri – Acqua di mare
XF	Attacco da cicli di gelo a disgelo
XA	Ambiente aggressivo per attacco chimico

PARCHEGGIO SOPRAELEVATO

XC1	Asciutto o permanentemente bagnato	XD1	UNI EN 206 – prospetto 1 Esempi informativi <i>Parti di ponti esposte a spruzzi contenenti cloruri</i> <i>Pavimentazioni</i> <i>Pavimentazioni di parcheggi</i>
		XD2	
	UNI EN 206 – prospetto 1 Esempi informativi <i>Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2</i>	XD3	Ciclicamente asciutto e bagnato
XC4	Ciclicamente asciutto e bagnato	XS1	Esposto alla salsedine marina ma non direttamente in contatto con l'acqua di mare
XF1	Moderata saturazione d'acqua, in assenza di agente disgelante	XS3	UNI EN 206 – prospetto 1 Esempi informativi <i>Strutture prossime oppure sulla costa</i>
XF2	Moderata saturazione d'acqua in presenza di agente disgelante	XA1	secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1
XF3	Elevata saturazione d'acqua in assenza di agente disgelante	XA2	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1
XF4	Elevata saturazione d'acqua con presenza di agente antigelo oppure acqua di mare	XA3	Ambiente chimicamente fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1

Durabilità - classi di esposizione

Esempio



- edificio commerciale a Pesaro
- parcheggio sopraelevato
- circa 100 metri dal mare
- fondazioni in terreno con un tenore di solfati pari a 3500mg/kg

X0	Nessun rischio di corrosione dell'armatura
XC	Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione
XD	Corrosione delle armature indotta da cloruri – Cloruri esclusi quelli di acqua di mare
XS	Corrosione delle armature indotta da cloruri – Acqua di mare
XF	Attacco da cicli di gelo a disgelo
XA	Ambiente aggressivo per attacco chimico

STRUTTURE DI FONDAZIONE

- XC2** Bagnato – Raramente Asciutto
- XS2** Perennemente sommerso
- XA2** Ambiente moderatamente aggressivo

STRUTTURE IN ELEVAZIONE

- XC4** Ciclicamente bagnato ed asciutto
- XS1** Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare

PARCHEGGIO

- XC4** Ciclicamente bagnato ed asciutto
- XS1** Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare
- XD3** Ciclicamente bagnato ed asciutto

Durabilità - classi di esposizione

Esempio



- edificio commerciale a Pesaro
- parcheggio sopraelevato
- circa 100 metri dal mare
- fondazioni in terreno con un tenore di solfati pari a 3500mg/kg

STRUTTURE DI FONDAZIONE

XC2 Bagnato – Raramente Asciutto

XS2 Perennemente sommerso

XA2 Ambiente moderatamente aggressivo

UNI 11104

X0	Nessun rischio di corrosione dell'armatura
XC	Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione
XD	Corrosione delle armature indotta da cloruri – Cloruri esclusi quelli di acqua di mare
XS	Corrosione delle armature indotta da cloruri – Acqua di mare
XF	Attacco da cicli di gelo a disgelo
XA	Ambiente aggressivo per attacco chimico

Durabilità - classi di esposizione

Esempio



STRUTTURE DI FONDAZIONE

XC2 Bagnato – Raramente Asciutto

XS2 Perennemente sommerso

XA2 Ambiente moderatamente aggressivo

UNI 11194

	Classi di esposizione																	
	Nessun rischio di corrosione dell'armatura	Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione				Corrosione delle armature indotta da cloruri						Attacco da cicli di gelo/disgelo				Ambiente aggressivo per attacco chimico		
						Acqua di mare			Cloruri provenienti da altre fonti									
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Massimo rapporto <i>a/c</i>	-	0,60		0,55	0,50	0,50	0,45		0,55	0,50	0,45	0,50	0,50		0,45	0,55	0,50	0,45
Minima classe di resistenza ^{*)}	C12/15	C25/30		C28/35	C32/40	C32/40	C35/45		C28/35	C32/40	C35/45	32/40	25/30		28/35	28,35	32/40	35/45
Minimo contenuto in cemento (kg/m ³)	-	300		320	340	340	360		320	340	360	320	340		360	320	340	360
Contenuto minimo in aria (%)													3,0 ^{a)}					
Altri requisiti												Aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo				È richiesto l'impiego di cementi resistenti ai solfati ^{b)}		

*) Nel prospetto 7 della UNI EN 206-1 viene riportata la classe C8/10 che corrisponde a specifici calcestruzzi destinati a soффondazioni e ricoprimenti. Per tale classe dovrebbero essere definite le prescrizioni di durabilità nei riguardi di acque o terreni aggressivi.

a) Quando il calcestruzzo non contiene aria aggiunta, le sue prestazioni devono essere verificate rispetto ad un calcestruzzo aerato per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo, da determinarsi secondo UNI 7087, per la relativa classe di esposizione.

b) Qualora la presenza di solfati comporti le classi di esposizione XA2 e XA3 è essenziale utilizzare un cemento resistente ai solfati secondo UNI 9156.

XA Ambiente aggressivo per attacco chimico

Durabilità - classi di esposizione

Esempio



- edificio commerciale a Pesaro
- parcheggio sopraelevato
- circa 100 metri dal mare
- fondazioni in terreno con un tenore di solfati pari a 3500mg/kg

X0	Nessun rischio di corrosione dell'armatura
XC	Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione
XD	Corrosione delle armature indotta da cloruri – Cloruri esclusi quelli di acqua di mare
XS	Corrosione delle armature indotta da cloruri – Acqua di mare
XF	Attacco da cicli di gelo a disgelo
XA	Ambiente aggressivo per attacco chimico

STRUTTURE DI FONDAZIONE

XC2 Bagnato – Raramente Asciutto

XS2 Perennemente sommerso

XA2 Ambiente moderatamente aggressivo

UNI 11104

CLASSE DI ESPOSIZIONE	Minima classe di resistenza	Massimo rapporto a/c	Minimo contenuto in cemento	Contenuto minimo in aria	Altri requisiti
XC2	C25/30	0,60	300	-	
XS2	C35/45	0,45	360	-	
XA2	C32/40	0,50	340	-	Cementi resistenti ai solfati

Classe di esposizione ambientale XC2+XS2+XA2

Minima classe di resistenza C35/45

Massimo rapporto a/c 0,45

Minimo contenuto in cemento 360 Kg/m³

Cemento resistente ai solfati ARS

Copriferro ambiente molto aggressivo (XS2) = 45+10=55mm

Durabilità - classi di esposizione

Esempio



- edificio commerciale a Pesaro
- parcheggio sopraelevato
- circa 100 metri dal mare
- fondazioni in terreno con un tenore di solfati pari a 3500mg/kg

X0	Nessun rischio di corrosione dell'armatura
XC	Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione
XD	Corrosione delle armature indotta da cloruri – Cloruri esclusi quelli di acqua di mare
XS	Corrosione delle armature indotta da cloruri – Acqua di mare
XF	Attacco da cicli di gelo a disgelo
XA	Ambiente aggressivo per attacco chimico

STRUTTURE IN ELEVAZIONE

XC4 Ciclicamente bagnato ed asciutto

XS1 Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare

UNI 11104

CLASSE DI ESPOSIZIONE	Minima classe di resistenza	Massimo rapporto a/c	Minimo contenuto in cemento	Contenuto minimo in aria	Altri requisiti
XC4	C32/40	0,50	340	-	
XS1	C32/40	0,50	340	-	

Classe di esposizione ambientale XC4+XS1

Minima classe di resistenza C35/40

Massimo rapporto a/c 0,50

Minimo contenuto in cemento 340 Kg/m³

Copriferro ambiente molto aggressivo (XC4, XS1) = 35+10=45mm

Durabilità - classi di esposizione

Esempio



- edificio commerciale a Pesaro
- parcheggio sopraelevato
- circa 100 metri dal mare
- fondazioni in terreno con un tenore di solfati pari a 3500mg/kg

X0	Nessun rischio di corrosione dell'armatura
XC	Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione
XD	Corrosione delle armature indotta da cloruri – Cloruri esclusi quelli di acqua di mare
XS	Corrosione delle armature indotta da cloruri – Acqua di mare
XF	Attacco da cicli di gelo a disgelo
XA	Amambiente aggressivo per attacco chimico

PARCHEGGIO

XC4 Ciclicamente bagnato ed asciutto

XS1 Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare

XD3 Ciclicamente bagnato ed asciutto

UNI 11104

CLASSE DI ESPOSIZIONE	Minima classe di resistenza	Massimo rapporto a/c	Minimo contenuto in cemento	Contenuto minimo in aria	Altri requisiti
XC4	C32/40	0,50	340	-	
XS1	C32/40	0,50	340	-	
XD3	C35/45	0,45	360	-	

Classe di esposizione ambientale XC4+XS1+XD3

Minima classe di resistenza C35/45

Massimo rapporto a/c 0,45

Minimo contenuto in cemento 360 Kg/m³

Copriferro ambiente molto aggressivo (XD3) = 45+10=55mm

Durabilità - classi di esposizione

APPROFONDIMENTI

Aggressioni ai ferri d'armatura

Carbonatazione
XC = *Carbonation*



Cloruri
XD = *Defreezing*



Cloruri (marini)
XS = *Seawater*



Gelo/Disegelo
XF = *Freezing*



Attacco
chimico
XA = *Chemical
Attack*



Aggressioni al calcestruzzo

Durabilità - classi di esposizione

ATTACCO AI FERRI DI ARMATURA

XC



Durabilità - classi di esposizione

ATTACCO AI FERRI DI ARMATURA

XD



Durabilità - classi di esposizione

ATTACCO AI FERRI DI ARMATURA

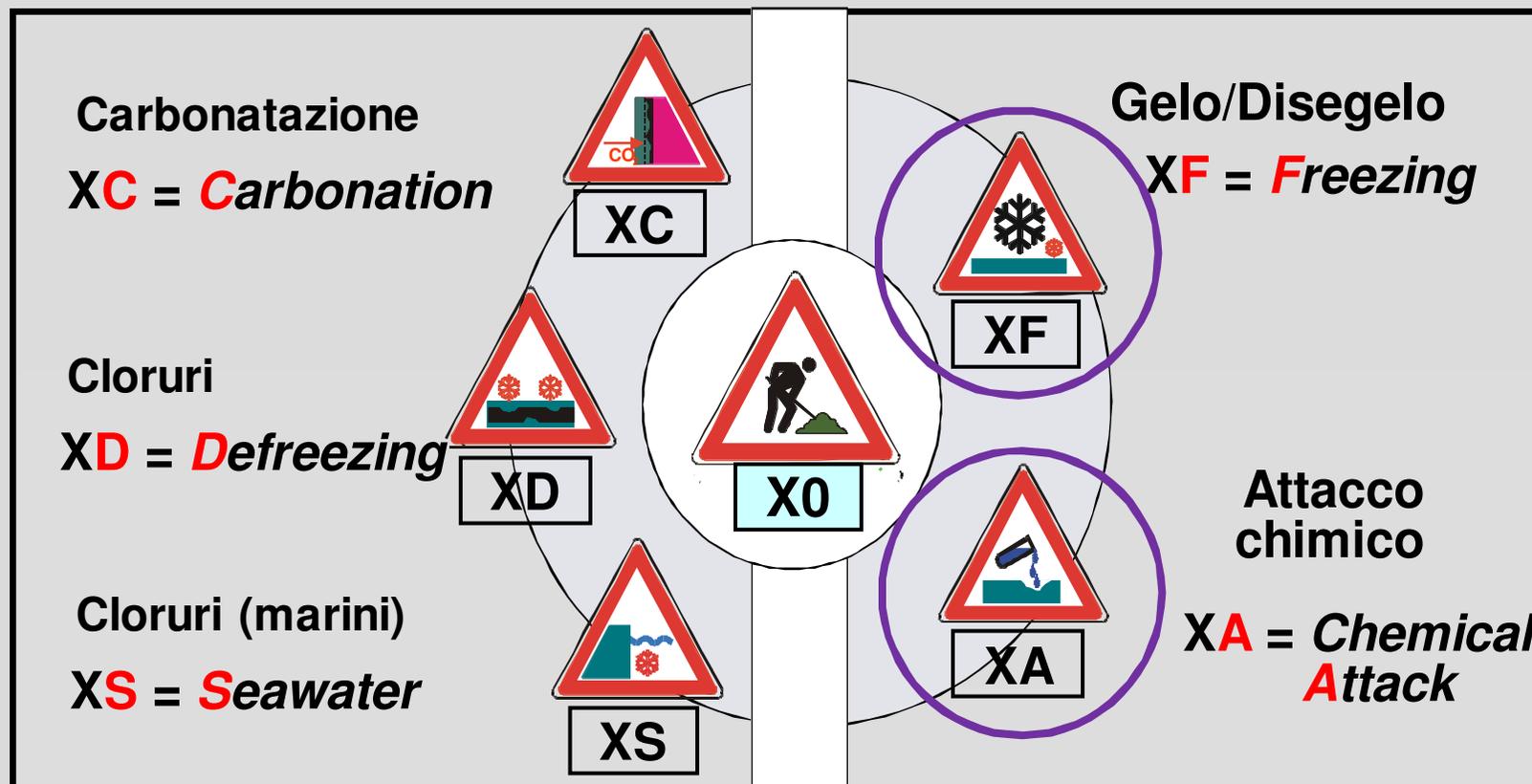
XS



Durabilità - classi di esposizione

APPROFONDIMENTI

Aggressioni ai ferri d'armatura

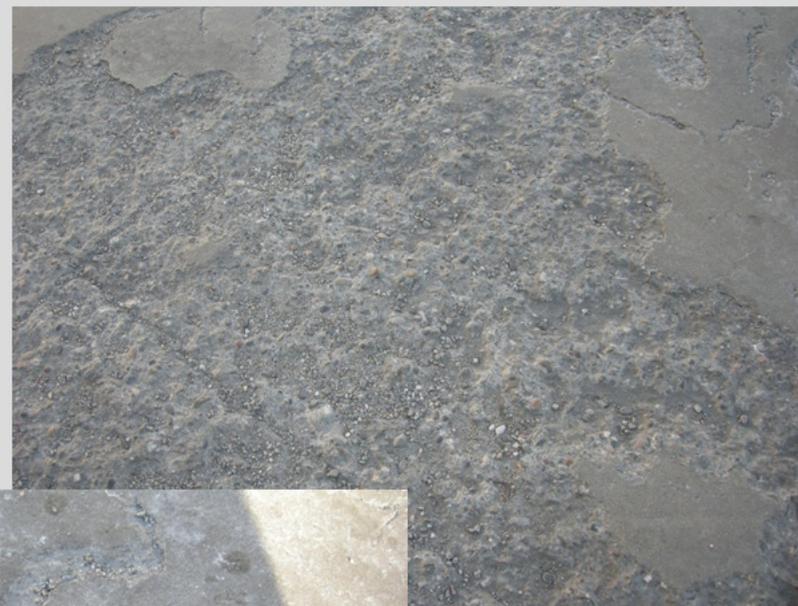


Aggressioni al calcestruzzo

Durabilità - classi di esposizione

ATTACCO AL CALCESTRUZZO

XF



Durabilità - classi di esposizione

ATTACCO AL CALCESTRUZZO

XA



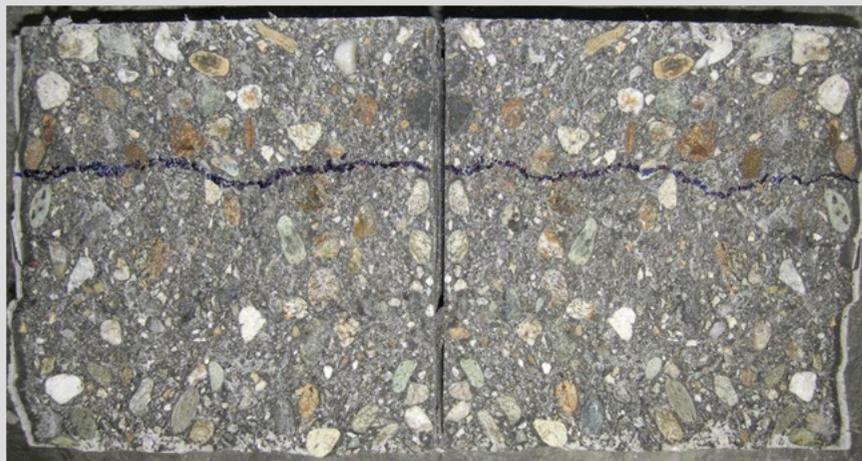
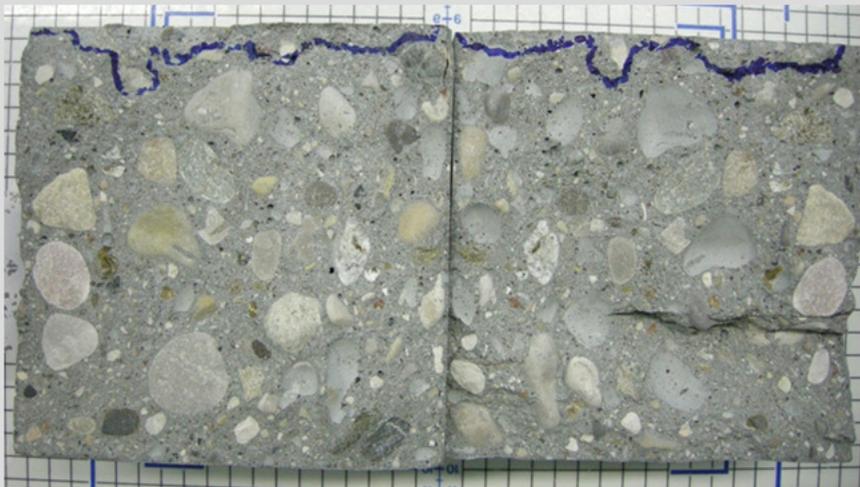
Fig. 3
in pro
ambiente
fessure
si è



Durabilità - classi di esposizione

APPROFONDIMENTI

METODO DI PROVA UNI EN 12390-8



PROVA DI PERMEABILITA' ALL'ACQUA



Durabilità - classi di esposizione, copriferro

COPRIFERRO

4.1.6.1.3 – Copriferro ed interferro

L'armatura resistente deve essere protetta da un adeguato ricoprimento di calcestruzzo. Gli elementi strutturali devono essere verificati allo stato limite di fessurazione secondo il § 4.1.2.2.4.

Al fine della protezione delle armature dalla corrosione, lo strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve essere dimensionato in funzione dell'aggressività dell'ambiente e della sensibilità delle armature alla corrosione, tenendo anche conto delle tolleranze di posa delle armature.

Per consentire un omogeneo getto del calcestruzzo, il copriferro e l'interferro delle armature devono essere rapportati alla dimensione massima degli inerti impiegati.

Il copriferro e l'interferro delle armature devono essere dimensionati anche con riferimento al necessario sviluppo delle tensioni di aderenza con il calcestruzzo.

Durabilità - classi di esposizione, copriferro

COPRIFERRO

C4.1.6.1.3 Copriferro ed interferro

Tabella C4.1.IV Copriferri minimi in mm

C_{min}	C_o	ambiente	barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
			$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C28/35	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Tolleranze di posa pari a 10mm
Per vita nominale di 100 anni i valori in tabella vanno aumentati di 10mm
Per resistenze inferiori a C_{min} i valori sono da aumentare di 5mm

Tabella 4.1.IV – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Durabilità - classi di esposizione, copriferro

COPRIFERRO

C4.1.6.1.3 Copriferro ed interferro

Tabella C4.1.IV Copriferri minimi in mm

C_{min}	C_o	ambiente	barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
			$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C28/35	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Tolleranze di posa pari a 10mm
Per vita nominale di 100 anni i valori in tabella vanno aumentati di 10mm
Per resistenze inferiori a C_{min} i valori sono da aumentare di 5mm

Tabella 4.1.IV – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di esigenze	Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali					
	CONDIZIONI AMBIENTALI			CLASSE DI ESPOSIZIONE		
a	Ordinarie			X0, XC1, XC2, XC3, XF1		
b	Aggressive			XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3		
c	Molto aggressive			XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4		
		frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

C32/40

C25/30

C28/35

Durabilità - classi di esposizione, copriferro

COPRIFERRO

C4.1.6.1.3 Copriferro ed interferro

Tabella C4.1.IV Copriferri minimi in mm

C _{min}	C _o	ambiente	barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
			C ≥ C _o	C _{min} ≤ C < C _o	C ≥ C _o	C _{min} ≤ C < C _o	C ≥ C _o	C _{min} ≤ C < C _o	C ≥ C _o	C _{min} ≤ C < C _o
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C28/35	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Tolleranze di posa pari a 10mm
Per vita nominale di 100 anni i valori in tabella vanno aumentati di 10mm
Per resistenze inferiori a C_{min} i valori sono da aumentare di 5mm

Tabella 2.4.I - Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V _N (in anni)
1	Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

ESPOSIZIONE
3, XF1
A1, XA1, XF2, XF3
XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

b	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	≤ w ₁
c	Molto aggressive	quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤ w ₁

C25/30

C28/35

Durabilità - classi di esposizione

APPROFONDIMENTI



Durabilità - classi di esposizione

APPROFONDIMENTI



Durabilità - classi di esposizione

APPROFONDIMENTI



Durabilità - classi di esposizione

APPROFONDIMENTI



Durabilità - classi di esposizione

APPROFONDIMENTI



Calcestruzzo: prestazioni non ordinarie, norme e applicazioni

Incontro con gli Ingegneri della provincia di Pesaro

Pesaro, 04/04/2014, Massimiliano Berti, Leonardo Euzor, Emiliano Pesciolini

Prescrizione, Durabilità, Controlli di accettazione

➤ PRESCRIZIONE

➤ DURABILITA'

- classi di esposizione

➤ CONTROLLI DI ACCETTAZIONE

Controlli di accettazione

Riferimenti

NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

11.2.5 Controllo di accettazione

11.2.4 Prelievo dei campioni

C11.2.5 Controllo di accettazione

NORME RICHIAMATE DALLE NTC COME OBBLIGATORIE

Prove su calcestruzzo indurito

UNI EN 12390 - 1: 2002 (2012) Forma, dimensioni ed altri requisiti per provini e per cassaforme

UNI EN 12390 - 2: 2002 (2009) Confezione e stagionatura dei provini per prove di resistenza

UNI EN 12390 - 3: 2003 (2009) Resistenza alla compressione dei provini

UNI EN 12390 - 4: 2002 Resistenza alla compressione – Specifiche per macchine di prova

UNI EN 12390 - 7: 2002 (2009) Massa volumica del calcestruzzo indurito

Controlli di accettazione

11.2.4 Prelievo dei campioni

Un prelievo consiste nel prelevare dagli impasti, al momento della posa in opera ed alla presenza del Direttore dei Lavori o di persona di sua fiducia, il calcestruzzo necessario per la confezione di un gruppo di due provini.

La media delle resistenze a compressione dei due provini di un prelievo rappresenta la “Resistenza di prelievo” che costituisce il valore mediante il quale vengono eseguiti i controlli del calcestruzzo.

È obbligo del Direttore dei Lavori prescrivere ulteriori prelievi rispetto al numero minimo, di cui ai successivi paragrafi, tutte le volte che variazioni di qualità e/o provenienza dei costituenti dell'impasto possano far presumere una variazione di qualità del calcestruzzo stesso, tale da non poter più essere considerato omogeneo.

Per la preparazione, la forma, le dimensioni e la stagionatura dei provini di calcestruzzo vale quanto indicato nelle norme UNI EN 12390-1:2002 e UNI EN 12390-2:2002.

Circa il procedimento da seguire per la determinazione della resistenza a compressione dei provini di calcestruzzo vale quanto indicato nelle norme UNI EN 12390-3:2003 e UNI EN 12390-4:2002.

Circa il procedimento da seguire per la determinazione della massa volumica vale quanto indicato nella norma UNI EN 12390-7:2002.

- Responsabilità del controllo
- Metodi di prova di riferimento

Controlli di accettazione

11.2.5 Controllo di accettazione

Controllo di tipo A	Controllo di tipo B
$R_f \geq R_{ck}-3,5$	
$R_m \geq R_{ck}+3,5$ (N° prelievi: 3)	$R_m \geq R_{ck}+1,4 s$ (N° prelievi ≥ 15)
Ove: R_m = resistenza media dei prelievi (N/mm ²); R_f = minore valore di resistenza dei prelievi (N/mm ²); s = scarto quadratico medio.	

11.2.5.1 Controllo di tipo A

Il controllo di tipo A è riferito ad un quantitativo di miscela omogenea non maggiore di 300 m³. Ogni controllo di accettazione di tipo A è rappresentato da tre prelievi, ciascuno dei quali eseguito su un massimo di 100 m³ di getto di miscela omogenea. Risulta quindi un controllo di accettazione ogni 300 m³ massimo di getto. Per ogni giorno di getto va comunque effettuato almeno un prelievo.

Nelle costruzioni con meno di 100 m³ di getto di miscela omogenea, fermo restando l'obbligo di almeno 3 prelievi e del rispetto delle limitazioni di cui sopra, è consentito derogare dall'obbligo di prelievo giornaliero.

11.2.5.2 Controllo di tipo B

Nella realizzazione di opere strutturali che richiedano l'impiego di più di 1500 m³ di miscela omogenea è obbligatorio il controllo di accettazione di tipo statistico (tipo B).

Il controllo è riferito ad una definita miscela omogenea e va eseguito con frequenza non minore di un controllo ogni 1500 m³ di calcestruzzo.

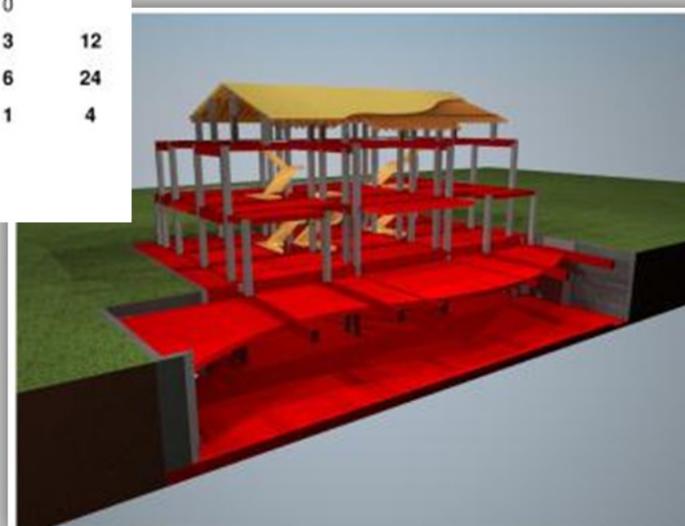
Per ogni giorno di getto di miscela omogenea va effettuato almeno un prelievo, e complessivamente almeno 15 prelievi sui 1500 m³.

Controlli di accettazione

Esempio

giorni di getto	getti giornalieri	m ³	classe di resistenza	classe di consistenza	combinazioni e di classi di esposizione	classe di contenuto in cloruri	diametro massimo aggregato	miscela C25/30	miscela C28/35	miscela C32/40	n° di prelievi
1	magrone di sottofondazione	85,0	C12/15	S5	X0	Cl 0,4	32				
2	platea di fondazione	229,0	C25/30	S5	XC2	Cl 0,4	32	3			3
3	muri di fondazione	65,0	C25/30	S4	XC2	Cl 0,4	32	2			2
4	muri di fondazione	47,0	C25/30	S4	XC2	Cl 0,4	32	1			1
5	pilastrini di fondazione	10,5	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		1		1
6	scale + solaio PT	29,5	C32/40	S3 + S5	XC4	Cl 0,4	20			3	3
7	pilastrini PT	10,5	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		1		1
8	scale + solaio 1°P	24,5	C32/40	S3 + S5	XC4	Cl 0,4	20			0	
9	pilastrini 1° piano	9,0	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		1		1
10	solaio sottotetto	16,0	C32/40	S5	XC4	Cl 0,4	20			0	
11	pilastrini sottotetto	5,0	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		0		
12	tetto	10,0	C32/40	S3	XC4	Cl 0,4	20			0	
TOTALE volume		541,0					prelievi	6	3	3	12
TOTALE C12/15		85,0					provini	12	6	6	24
TOTALE C25/30		341,0					controlli di tipo A	2	1	1	4
TOTALE C28/35		35,0									
TOTALE C32/40		80,0									

- 4 classi di resistenza da controllare

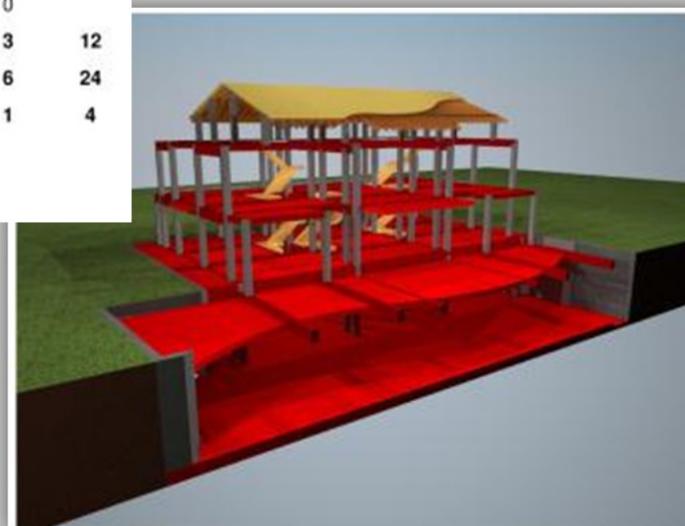


Controlli di accettazione

Esempio

giorni di getto	getti giornalieri	m ³	classe di resistenza	classe di consistenza	combinazioni e di classi di esposizione	classe di contenuto in cloruri	diametro massimo aggregato	miscela C25/30	miscela C28/35	miscela C32/40	n° di prelievi
1	magrone di sottofondazione	85,0	C12/15	S5	X0	Cl 0,4	32				
2	platea di fondazione	229,0	C25/30	S5	XC2	Cl 0,4	32	3			3
3	muri di fondazione	65,0	C25/30	S4	XC2	Cl 0,4	32	2			2
4	muri di fondazione	47,0	C25/30	S4	XC2	Cl 0,4	32	1			1
5	pilastrini di fondazione	10,5	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		1		1
6	scale + solaio PT	29,5	C32/40	S3 + S5	XC4	Cl 0,4	20			3	3
7	pilastrini PT	10,5	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		1		1
8	scale + solaio 1°P	24,5	C32/40	S3 + S5	XC4	Cl 0,4	20			0	
9	pilastrini 1° piano	9,0	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		1		1
10	solaio sottotetto	16,0	C32/40	S5	XC4	Cl 0,4	20			0	
11	pilastrini sottotetto	5,0	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		0		
12	tetto	10,0	C32/40	S3	XC4	Cl 0,4	20			0	
TOTALE volume		541,0					prelievi	6	3	3	12
TOTALE C12/15		85,0					provini	12	6	6	24
TOTALE C25/30		341,0					controlli di tipo A	2	1	1	4
TOTALE C28/35		35,0									
TOTALE C32/40		80,0									

- 4 classi di resistenza da controllare
- Nessun controllo sul cls usato per il magrone

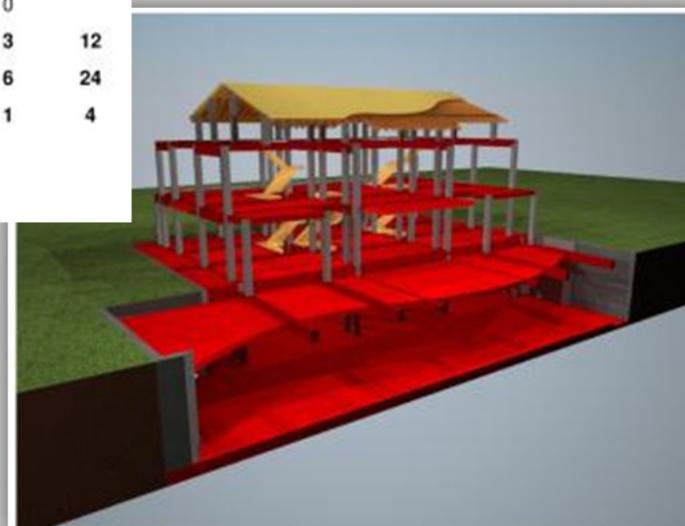


Controlli di accettazione

Esempio

giorni di getto	getti giornalieri	m ³	classe di resistenza	classe di consistenza	combinazioni e di classi di esposizione	classe di contenuto in cloruri	diametro massimo aggregato	miscela C25/30	miscela C28/35	miscela C32/40	n° di prelievi
1	magrone di soффondazione	85,0	C12/15	S5	X0	Cl 0,4	32				
2	platea di fondazione	229,0	C25/30	S5	XC2	Cl 0,4	32	3			3
3	muri di fondazione	65,0	C25/30	S4	XC2	Cl 0,4	32	2			2
4	muri di fondazione	47,0	C25/30	S4	XC2	Cl 0,4	32	1			1
5	pilastrini di fondazione	10,5	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		1		1
6	scale + solaio PT	29,5	C32/40	S3 + S5	XC4	Cl 0,4	20			3	3
7	pilastrini PT	10,5	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		1		1
8	scale + solaio 1°P	24,5	C32/40	S3 + S5	XC4	Cl 0,4	20			0	
9	pilastrini 1° piano	9,0	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		1		1
10	solaio sottotetto	16,0	C32/40	S5	XC4	Cl 0,4	20			0	
11	pilastrini sottotetto	5,0	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		0		
12	tetto	10,0	C32/40	S3	XC4	Cl 0,4	20			0	
TOTALE volume		541,0					prelievi	6	3	3	12
TOTALE C12/15		85,0					provini	12	6	6	24
TOTALE C25/30		341,0					controlli di tipo A	2	1	1	4
TOTALE C28/35		35,0									
TOTALE C32/40		80,0									

- 4 classi di resistenza da controllare
- Nessun controllo sul cls usato per il magrone
- Prelievo giornaliero su C25/30 perché volumi totali > 100 m³



Controlli di accettazione

Esempio

giorni di getto	getti giornalieri	m ³	classe di resistenza	classe di consistenza	combinazioni e di classi di esposizione	classe di contenuto in cloruri	diametro massimo aggregato	miscela C25/30	miscela C28/35	miscela C32/40	n° di prelievi	
1	magrone di soффondazione	85,0	C12/15	S5	X0	Cl 0,4	32					
2	platea di fondazione	229,0	C25/30	S5	XC2	Cl 0,4	32	3			3	
3	muri di fondazione	65,0	C25/30	S4	XC2	Cl 0,4	32	2			2	
4	muri di fondazione	47,0	C25/30	S4	XC2	Cl 0,4	32	1			1	
5	pilastrini di fondazione	10,5	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		1		1	
6	scale + solaio 1°P	29,5	C32/40	S3 + S5	XC4	Cl 0,4	20			3	3	
7	pilastrini PT	10,5	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		1		1	
8	scale + solaio 1°P	24,5	C32/40	S3 + S5	XC4	Cl 0,4	20			0		
9	pilastrini 1° piano	9,0	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		1		1	
10	solaio sottotetto	16,0	C32/40	S5	XC4	Cl 0,4	20			0		
11	pilastrini sottotetto	5,0	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		0			
12	tetto	10,0	C32/40	S3	XC4	Cl 0,4	20			0		
TOTALE volume		541,0						prelievi	6	3	3	12
TOTALE C12/15		85,0						provini	12	6	6	24
TOTALE C25/30		341,0						controlli di tipo A	2	1	1	4
TOTALE C28/35		35,0										
TOTALE C32/40		80,0										

341 m³
3 gg di getto

- 4 classi di resistenza da controllare
- Nessun controllo sul cls usato per il magrone
- Prelievo giornaliero su C25/30 perché volumi totali > 100 m³
- Per C25/30 eseguiti 2 prelievi il 3° giorno altrimenti 5 prelievi non sufficienti per i due controlli tipo A necessari



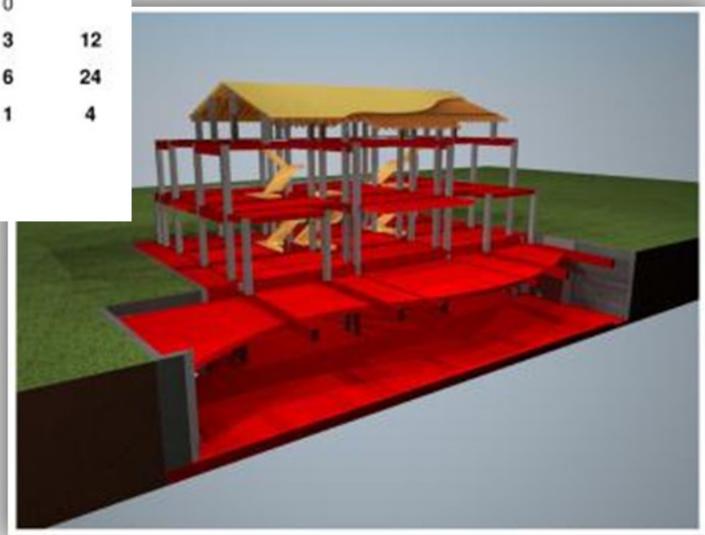
Controlli di accettazione

Esempio

giorni di getto	getti giornalieri	m ³	classe di resistenza	classe di consistenza	combinazioni e di classi di esposizione	classe di contenuto in cloruri	diametro massimo aggregato	miscela C25/30	miscela C28/35	miscela C32/40	n° di prelievi	
1	magrone di soффondazione	85,0	C12/15	S5	X0	Cl 0,4	32					
2	platea di fondazione	229,0	C25/30	S5	XC2	Cl 0,4	32	3			3	
3	muri di fondazione	65,0	C25/30	S4	XC2	Cl 0,4	32	2			2	
4	muri di fondazione	47,0	C25/30	S4	XC2	Cl 0,4	32	1			1	
5	pilastrini di fondazione	10,5	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		1		1	
6	scale + solaio PT	29,5	C32/40	S3 + S5	XC4	Cl 0,4	20			3	3	
7	pilastrini PT	10,5	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		1		1	
8	scale + solaio 1° piano	24,5	C32/40	S3 + S5	XC4	Cl 0,4	20			0		
9	pilastrini 1° piano	9,0	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		1		1	
10	solaio sottotetto	16,0	C32/40	S5	XC4	Cl 0,4	20			0		
11	pilastrini sottotetto	5,0	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		0			
12	tetto	10,0	C32/40	S3	XC4	Cl 0,4	20			0		
TOTALE volume		541,0						prelievi	6	3	3	12
TOTALE C12/15		85,0						provini	12	6	6	24
TOTALE C25/30		341,0						controlli di tipo A	2	1	1	4
TOTALE C28/35		35,0										
TOTALE C32/40		80,0										

35 m³

- 4 classi di resistenza da controllare
- Nessun controllo sul cls usato per il magrone
- Prelievo giornaliero su C25/30 perché volumi totali > 100 m³
- Per C25/30 eseguiti 2 prelievi il 3° giorno altrimenti 5 prelievi non sufficienti per i due controlli tipo A necessari
- Per C28/35 volumi totali < 100 m³ quindi 3 prelievi su 4 gg di getto



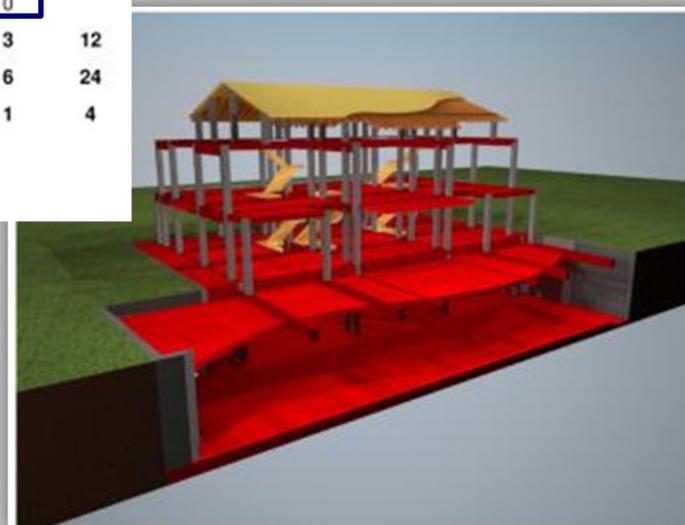
Controlli di accettazione

Esempio

giorni di getto	getti giornalieri	m ³	classe di resistenza	classe di consistenza	combinazioni e di classi di esposizione	classe di contenuto in cloruri	diametro massimo aggregato	miscela C25/30	miscela C28/35	miscela C32/40	n° di prelievi	
1	magrone di soффondazione	85,0	C12/15	S5	X0	Cl 0,4	32					
2	platea di fondazione	229,0	C25/30	S5	XC2	Cl 0,4	32	3			3	
3	muri di fondazione	65,0	C25/30	S4	XC2	Cl 0,4	32	2			2	
4	muri di fondazione	47,0	C25/30	S4	XC2	Cl 0,4	32	1			1	
5	pilastrini di fondazione	10,5	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		1		1	
6	scale + solaio PT	29,5	C32/40	S3 + S5	XC4	Cl 0,4	20			3	3	
7	pilastrini PT	10,5	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		1		1	
8	scale	24,5	C32/40	S3 + S5	XC4	Cl 0,4	20			0		
9	pilastrini piano	9,0	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		1		1	
10	solaio sottotetto	16,0	C32/40	S5	XC4	Cl 0,4	20			0		
11	pilastrini sottotetto	5,0	C28/35	S4	XC3	Cl 0,4	32		0			
12	tetto	10,0	C32/40	S3	XC4	Cl 0,4	20			0		
TOTALE volume		541,0						prelievi	6	3	3	12
TOTALE C12/15		85,0						provini	12	6	6	24
TOTALE C25/30		341,0						controlli di tipo A	2	1	1	4
TOTALE C28/35		35,0										
TOTALE C32/40		80,0										

80 m³

- 4 classi di resistenza da controllare
- Nessun controllo sul cls usato per il magrone
- Prelievo giornaliero su C25/30 perché volumi totali > 100 m³
- Per C25/30 eseguiti 2 prelievi il 3° giorno altrimenti 5 prelievi non sufficienti per i due controlli tipo A necessari
- Per C28/35 volumi totali < 100 m³ quindi 3 prelievi su 4 gg di getto
- Per C32/40 eseguiti 3 prelievi il primo giorno e nulla negli altri gg



Controlli di accettazione

APPROFONDIMENTI

Rappresentatività dei provini

1 autobetoniera 10 m³ 10000 dm³
2 provini cubici 6,75 dm³

10 autobetoniere 100 m³ 100000 dm³
2 provini cubici 6,75 dm³

$$6,75/10000 \leq \text{VOLUME RAPPRESENTATIVO SUL TOTALE} \leq 6,75/100000$$

Controlli di accettazione

C11.2.5.3 Prescrizioni comuni per entrambi i criteri di controllo

In questo paragrafo la norma fornisce una serie di prescrizioni comuni sia ai controlli di Tipo A che di Tipo B, utili ai fini di una corretta esecuzione dei controlli di accettazione. In primo luogo la norma intende sottolineare le responsabilità attribuite per legge al Direttore dei Lavori, che deve assicurare la propria presenza alle operazioni di prelievo dei campioni di calcestruzzo nella fase di getto, provvedendo:

- a redigere apposito Verbale di prelievo;
- a fornire indicazioni circa le corrette modalità di prelievo dei campioni;
- a fornire indicazioni circa le corrette modalità di conservazione dei campioni in cantiere, fino alla consegna al laboratorio incaricato delle prove;
- ad identificare i provini mediante sigle, etichettature indelebili, etc.;
- a sottoscrivere la domanda di prove al laboratorio, avendo cura di fornire, nella domanda, precise indicazioni sulla posizione delle strutture interessate da ciascun prelievo, la data di prelievo, gli estremi dei relativi Verbali di prelievo;
- alla consegna dei campioni presso uno dei laboratori di prova di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001.

Delle predette operazioni il Direttore dei lavori può incaricare un tecnico di sua fiducia, ferma restando tuttavia la personale responsabilità ad esso attribuita dalla legge.

Controlli di accettazione : CONFEZIONAMENTO

APPROFONDIMENTI

METODO DI PROVA UNI EN 12390-2

3.3

Mezzi per la compattazione del calcestruzzo (uno dei seguenti):

- a) vibratore interno (poker), con frequenza minima di 120 Hz (7 200 cicli al minuto), il diametro del vibratore interno non eccedente un quarto della dimensione più piccola del provino;
- b) tavola vibrante con frequenza minima di 40 Hz (2 400 cicli al minuto);
- c) pestello di compattazione di acciaio a sezione circolare, avente diametro di circa 16 mm, lunghezza di circa 600 mm e con estremità arrotondate;
- d) barra di compattazione di acciaio, diritta, a sezione quadrata di circa 25 mm × 25 mm, e lunghezza di circa 380 mm.

5.1.2

In base alla consistenza del calcestruzzo e al metodo di compattazione, le casseforme devono essere riempite in uno o più strati in modo da ottenere la compattazione completa. Nel caso di calcestruzzo autocompattante, la cassaforma deve essere riempita in una singola operazione e non deve essere applicata alcuna compattazione meccanica durante o dopo il riempimento della cassaforma.

Controlli di accettazione : CONFEZIONAMENTO

APPROFONDIMENTI

METODO DI PROVA UNI EN 12390-2



Controlli di accettazione: MATURAZIONE

APPROFONDIMENTI

METODO DI PROVA UNI EN 12390-2

5.5 Stagionatura dei provini

5.5.1 Lasciare i provini nella cassaforma per almeno 16 h, ma non oltre 3 giorni, proteggendoli da urti, vibrazioni e disidratazione, alla temperatura di (20 ± 5) °C [oppure (25 ± 5) °C nei climi caldi].

5.5.2 Una volta rimossi dalla cassaforma, conservare i provini fino al momento della prova in acqua alla temperatura di (20 ± 2) °C, oppure in una camera a (20 ± 2) °C ed umidità relativa $\geq 95\%$.

5.5.3 Possono essere utilizzati metodi di stagionatura differenti da quelli indicati nel punto 5.5.2 purché siano ad essi correlati.

Nota 1 In caso di contestazione, la maturazione in acqua deve essere il metodo di riferimento.

Nota 2 Non è semplice il mantenimento e la misurazione di un'umidità elevata $\geq 95\%$ a (20 ± 2) °C. Si dovrebbe pertanto procedere a controlli regolari per verificare che le superfici dei provini nell'ambiente siano sempre umide.

Controlli di accettazione: MATURAZIONE

APPROFONDIMENTI

METODO DI PROVA UNI EN 12390-2



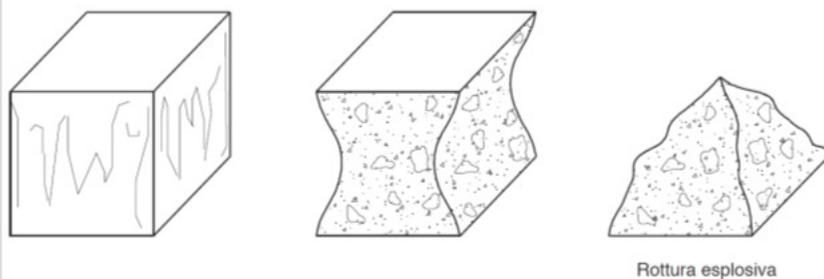
Controlli di accettazione: PLANARITA' - ROTTURA

APPROFONDIMENTI

METODO DI PROVA UNI EN 12390-2

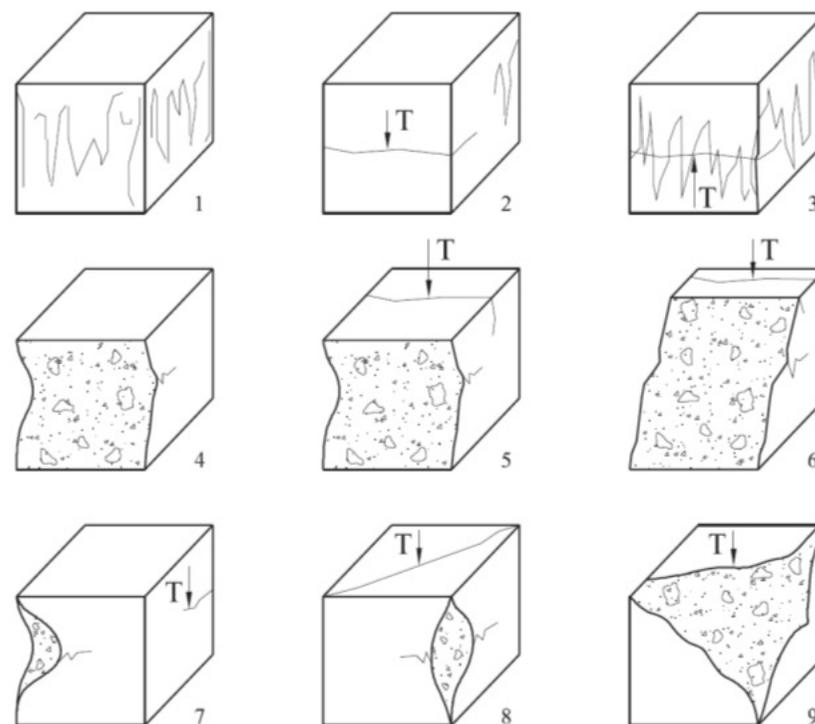
Le superfici destinate a sopportare il carico, se necessario, devono essere preparate mediante molatura o cappatura

figura 1 Rotture soddisfacenti di provini cubici



Nota Tutte e quattro le facce esposte sono fessurate in modo pressoché uguale, generalmente con minore danno alle facce in contatto con i piatti.

figura 2 Alcune rotture non soddisfacenti di provini cubici



Nota T = fessurazioni da trazione.

Calcestruzzi speciali

➤ CALCESTRUZZI ALLEGGERITI

➤ CALCESTRUZZI A RITIRO COMPENSATO

Calcestruzzi speciali

CALCESTRUZZI ALLEGGERITI

Riferimenti specifici

NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

Tabella 3.1.I Pesì dell'unità di volume dei principali materiali strutturali

4.1.12 Calcestruzzo di aggregati leggeri

C4.1.12 Calcestruzzo di aggregati leggeri

NORME RICHIAMATE DALLE NTC COME OBBLIGATORIE

UNI EN 12390 - 7: 2002 (2009) Massa volumica del calcestruzzo indurito

NORME RICHIAMATE DALLE NTC

UNI EN 206-1: 2006 Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità

Calcestruzzi speciali

CALCESTRUZZI ALLEGGERITI

Tabella 3.1.I Pesì dell'unità di volume dei principali materiali strutturali

Tabella 3.1.I - Pesì dell' unità di volume dei principali materiali strutturali

MATERIALI	PESO UNITÀ DI VOLUME [kN/m ³]
Calcestruzzi cementizi e malte	
Calcestruzzo ordinario	24,0
Calcestruzzo armato (e/o precompresso)	25,0
Calcestruzzi "leggeri": da determinarsi caso per caso	14,0 ÷ 20,0
Calcestruzzi "pesanti": da determinarsi caso per caso	28,0 ÷ 50,0
Malta di calce	18,0
Malta di cemento	21,0
Calce in polvere	10,0
Cemento in polvere	14,0
Sabbia	17,0

Calcestruzzi speciali

CALCESTRUZZI ALLEGGERITI

4.1.12 Calcestruzzo di aggregati leggeri

Il presente capitolo si applica ai calcestruzzi di aggregati leggeri minerali, artificiali o naturali, con esclusione dei calcestruzzi aerati.

Per le classi di densità e di resistenza normalizzate può farsi utile riferimento a quanto riportato nella norma UNI EN 206-1:2006.

Sulla base della denominazione normalizzata come definita in § 4.1 per il calcestruzzo di peso normale, vengono ammesse classi di resistenza fino alla classe LC55/60.

I calcestruzzi delle diverse classi trovano impiego secondo quanto riportato nella Tab. 4.1.II.

Valgono le specifiche prescrizioni sul controllo della qualità date in § 4.1 e in § 11.1.

Tabella 4.1.II – Impiego delle diverse classi di resistenza

STRUTTURE DI DESTINAZIONE	CLASSE DI RESISTENZA MINIMA
Per strutture non armate o a bassa percentuale di armatura (§ 4.1.11)	C8/10
Per strutture semplicemente armate	C16/20
Per strutture precomprese	C28/35

Calcestruzzi speciali

CALCESTRUZZI ALLEGGERITI

4.1.12 Calcestruzzo di aggregati leggeri

Il presente capitolo si applica ai calcestruzzi di aggregati leggeri minerali, artificiali o naturali, con esclusione dei calcestruzzi aerati.

Per le classi di densità e di resistenza normalizzate può farsi utile riferimento a quanto riportato nella norma UNI EN 206-1:2006.

... per il calcestruzzo di peso

prospetto 8

Classi di resistenza a compressione per calcestruzzo leggero

Classe di resistenza a compressione	Resistenza caratteristica cilindrica minima $f_{ck,cyl}$ N/mm ²	Resistenza caratteristica cubica minima ^{a)} $f_{ck,cube}$ N/mm ²
LC8/9	8	9
LC12/13	12	13
LC16/18	16	18
LC20/22	20	22
LC25/28	25	28
LC30/33	30	33
LC35/38	35	38
LC40/44	40	44
LC45/50	45	50
LC50/55	50	55
LC55/60	55	60
LC60/66	60	66
LC70/77	70	77
LC80/88	80	88

a) Possono essere utilizzati anche altri valori, se la relazione fra questi e la resistenza cilindrica di riferimento è stabilita con sufficiente accuratezza ed è documentata.

Tabella 4.1.I – Classi di resistenza

CLASSE DI RESISTENZA
C8/10
C12/15
C16/20
C20/25
C25/30
C28/35
C32/40
C35/45
C40/50
C45/55
C50/60
C55/67
C60/75
C70/85
C80/95
C90/105

Calcestruzzi speciali

CALCESTRUZZI ALLEGGERITI

C4.1.12 Calcestruzzo di aggregati leggeri

Le classi di resistenza ammesse per impieghi strutturali sono dalla LC16/18 fino alla LC55/60, secondo la classificazione di cui alla UNI EN 206-1:2006, riportata nella Tabella C4.1.V.

Tabella C4.1.V *Classi di resistenza a compressione per il calcestruzzo leggero strutturale*

Classe di resistenza a compressione	Resistenza caratteristica cilindrica minima f_{ck} [N/mm ²]	Resistenza caratteristica cubica minima R_{ck} [N/mm ²]
LC 16/18	16	18
LC 20/22	20	22
LC 25/28	25	28
LC 30/33	30	33
LC 35/38	35	38
LC 40/44	40	44
LC 45/50	45	50
LC 50/55	50	55
LC 55/60	55	60

Classe di resistenza a compressione
LC8/9
LC12/13
LC16/18
LC20/22
LC25/28
LC30/33
LC35/38
LC40/44
LC45/50
LC50/55
LC55/60
LC60/66
LC70/77
LC80/88

a) Possono essere utilizzati anche altri

Calcestruzzi speciali

CALCESTRUZZI ALLEGGERITI

C4.1.12 Calcestruzzo di aggregati leggeri

Tabella C4.1.VI *Classi di massa per unità di volume del calcestruzzo di aggregati leggeri ammesse per l'impiego strutturale*

Classe di massa per unità di volume	D1,5	D1,6	D1,7	D1,8	D1,9	D2,0
Intervallo di massa per unità di volume [kg/m ³]	$1400 < \rho \leq 1500$	$1500 < \rho \leq 1600$	$1600 < \rho \leq 1700$	$1700 < \rho \leq 1800$	$1800 < \rho \leq 1900$	$1900 < \rho \leq 2000$
Massa per unità di volume calcestruzzo non armato [kg/m ³]	1550	1650	1750	1850	1950	2050
Massa per unità di volume calcestruzzo armato [kg/m ³]						

prospetto 9

Classificazione del calcestruzzo leggero in base alla massa volumica

Classe di massa volumica	D1,0	D1,2	D1,4	D1,6	D1,8	D2,0
Intervallo di massa volumica	≥ 800 e $\leq 1\ 000$	$> 1\ 000$ e $\leq 1\ 200$	$> 1\ 200$ e $\leq 1\ 400$	$> 1\ 400$ e $\leq 1\ 600$	$> 1\ 600$ e $\leq 1\ 800$	$> 1\ 800$ e $\leq 2\ 000$

Calcestruzzi speciali: ALLEGGERITI

APPROFONDIMENTI

RISULTATI SPERIMENTALI

DIFFERENZE FRA ALLEGGERITI STRUTTURALI ED ORDINARI	
Resistenza compressione	<i>Nessuna differenza</i>
Densità	-15/20%
Modulo elastico	- 30/40%
Ritiro idraulico	+ 20/30%
Trazione indiretta	<i>Nessuna differenza</i>
Trazione per flessione	<i>Nessuna differenza</i>
Permeabilità all'acqua	<i>Non applicabile</i>

Calcestruzzi speciali: ALLEGGERITI

APPROFONDIMENTI

RISULTATI SPERIMENTALI

Permeabilità (UNI EN 12390-8)



Calcestruzzi speciali: ALLEGGERITI

APPROFONDIMENTI

RISULTATI SPERIMENTALI

	DENSITA' (kg/m ³)		
	< 1400	< 2000	>2000 Ordinari
Resistenza	< LC 12/13	< LC 45/50	-
Modulo Elastico	< 15 GPa	< 25 GPa	-
Ritiro	+ 30/40%	+ 20/30%	0 (riferimento)
Trazione indiretta	-		
Flessione			
Permeabilità	Non applicabile		

Calcestruzzi speciali: ALLEGGERITI



Calcestruzzi speciali: ALLEGGERITI



Calcestruzzi speciali

➤ CALCESTRUZZI ALLEGGERITI

➤ CALCESTRUZZI A RITIRO COMPENSATO

Calcestruzzi speciali: CALCESTRUZZI A RITIRO COMPENSATO

CALCESTRUZZI A RITIRO COMPENSATO

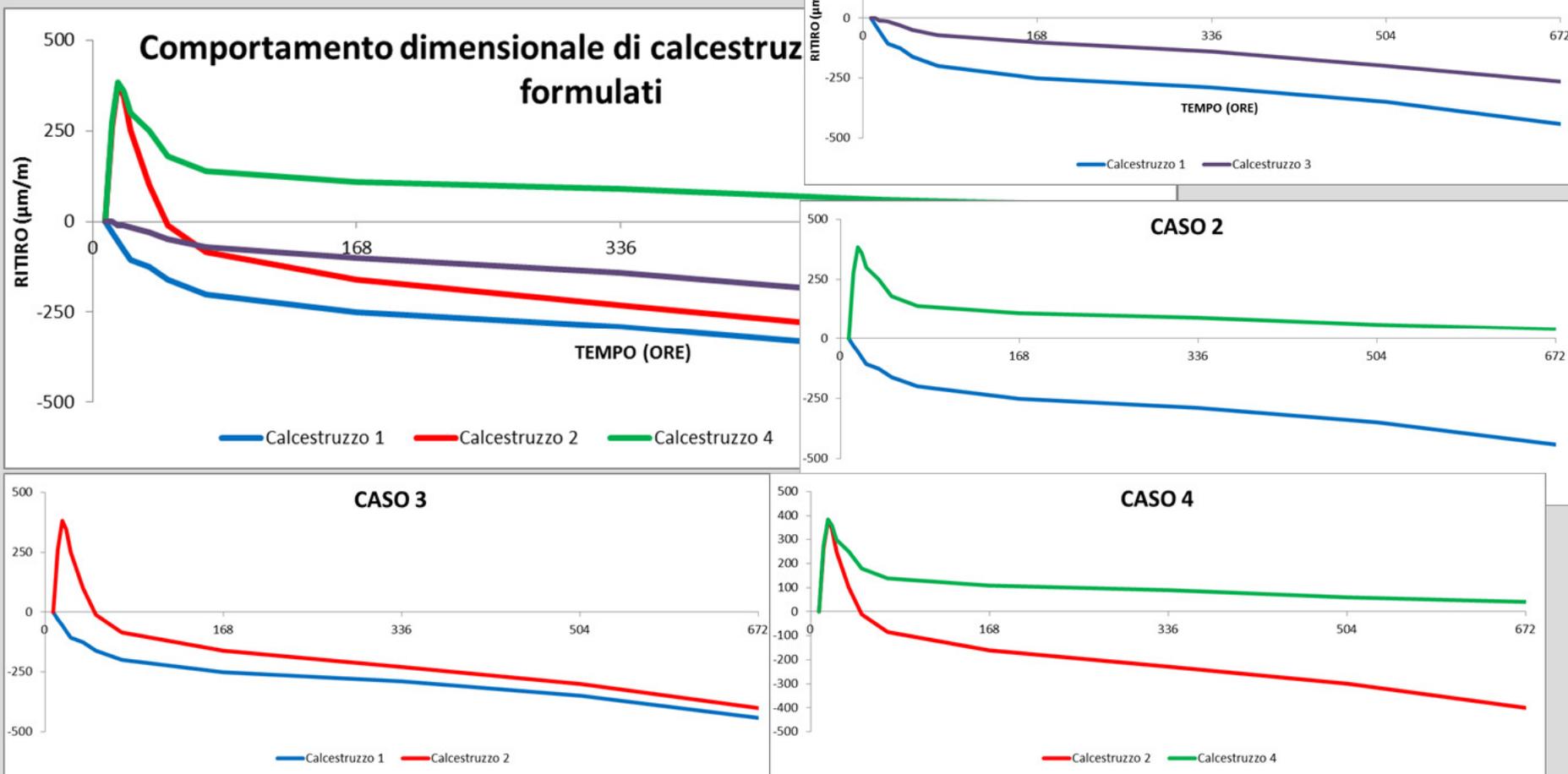
Riferimenti specifici

„non ci sono“

Calcestruzzi speciali: CALCESTRUZZI A RITIRO COMPENSATO

APPROFONDIMENTI

RISULTATI SPERIMENTALI



Calcestruzzi speciali: CALCESTRUZZI A RITIRO COMPENSATO



Calcestruzzi speciali: CALCESTRUZZI A RITIRO COMPENSATO



Calcestruzzi speciali: CALCESTRUZZI A RITIRO COMPENSATO



Domande

„certificati da richiedere alle centrali di betonaggio“

Domande

„certificati da richiedere alle centrali di betonaggio“

11.2.8 PRESCRIZIONI RELATIVE AL CALCESTRUZZO CONFEZIONATO CON PROCESSO INDUSTRIALIZZATO

Per calcestruzzo confezionato con processo industrializzato si intende quello prodotto mediante impianti, strutture e tecniche organizzate sia in cantiere che in uno stabilimento esterno al cantiere stesso.

Il sistema di controllo della produzione di calcestruzzo confezionato con processo industrializzato in impianti di un fornitore, predisposto in coerenza con la norma UNI EN ISO 9001:2000, deve fare riferimento alle specifiche indicazioni contenute nelle Linee guida sul calcestruzzo preconfezionato elaborato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei LL.PP.

Detto sistema di controllo deve essere certificato da organismi terzi indipendenti che operano in coerenza con la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17021:2006, autorizzati dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei LL.PP. sulla base dei criteri di cui al DM 9/5/2003 n. 156.

I documenti che accompagnano ogni fornitura di calcestruzzo confezionato con processo industrializzato devono indicare gli estremi di tale certificazione.

Il Direttore dei Lavori, che è tenuto a verificare quanto sopra indicato ed a rifiutare le eventuali forniture provenienti da impianti non conformi; dovrà comunque effettuare le prove di accettazione previste al § 11.2.5 e ricevere, prima dell'inizio della fornitura, copia della certificazione del controllo di processo produttivo.

Domande

„certificati da richiedere alle centrali di betonaggio“

C11.1 GENERALITA'

“Controllo del processo di fabbrica (FPC)”

Si intende per Controllo del Processo di Fabbrica (in Inglese, *Factory Production Control*, in sigla *FPC*) il controllo interno permanente del processo di produzione esercitato dal produttore (da non confondere con il Sistema di Gestione per la Qualità, di cui alla Norma UNI EN ISO 9001:2000, che tipicamente concerne il regime volontario). Tutti gli elementi, i requisiti e le disposizioni adottati dal produttore devono essere documentati in maniera sistematica ed in forma di obiettivi e procedure scritte.

DOCUMENTO DI TRASPORTO

Certificazioni	
<u>FPC Nr 114 - UNI EN ISO 9001 ICMQ</u>	
R 271007	DESTINATARIO

Domande

„certificati da richiedere alle centrali di betonaggio“

11.2.8 PRESCRIZIONI RELATIVE AL CALCESTRUZZO CONFEZIONATO CON PROCESSO INDUSTRIALIZZATO

Per produzioni di calcestruzzo inferiori a 1500 m³ di miscela omogenea, effettuate direttamente in cantiere, mediante processi di produzione temporanei e non industrializzati, la stessa deve essere confezionata sotto la diretta responsabilità del costruttore. Il Direttore dei Lavori deve avere, prima dell'inizio delle forniture, evidenza documentata dei criteri e delle prove che hanno portato alla determinazione della resistenza caratteristica di ciascuna miscela omogenea di conglomerato, così come indicato al § 11.2.3.

Domande

„certificati da richiedere alle centrali di betonaggio“

11.2.9 COMPONENTI DEL CALCESTRUZZO

Leganti UNI EN 197

Aggregati UNI EN 12620 e UNI EN 13055-1

Aggiunte UNI EN 450-1

Fumi di silice UNI EN 13263-1

.....

11.2.9.2 Aggregati

Per quanto riguarda gli eventuali controlli di accettazione da effettuarsi a cura del Direttore dei Lavori, questi sono finalizzati almeno alla determinazione delle caratteristiche tecniche riportate nella Tab. 11.2.IV. I metodi di prova da utilizzarsi sono quelli indicati nelle Norme Europee Armonizzate citate, in relazione a ciascuna caratteristica.

Tabella 11.2.IV – Controlli di accettazione per aggregati per calcestruzzo strutturale

Caratteristiche tecniche
Descrizione petrografica semplificata
Dimensione dell'aggregato (analisi granulometrica e contenuto dei fini)
Indice di appiattimento
Dimensione per il filler
Forma dell'aggregato grosso (per aggregato proveniente da riciclo)
Resistenza alla frammentazione/frantumazione (per calcestruzzo Rck \geq C50/60)

11.2.9.6 Miscela preconfezionata di componenti per calcestruzzo

In assenza di specifica norma armonizzata europea, il produttore di miscele preconfezionate di componenti per calcestruzzi, cui sia da aggiungere in cantiere l'acqua di impasto, deve documentare per ogni componente utilizzato la conformità alla relativa norma armonizzata europea.

Produttore dei componenti per calcestruzzi prodotti direttamente in cantiere

Domande

«lavorando prevalentemente nel Pesarese, fino a che distanza dalla costa devo progettare calcestruzzi in classe di esposizione XS?»

Domande

«Lavorando prevalentemente nel Pesarese, fino a che distanza dalla costa devo progettare calcestruzzi in classe di esposizione XS?»

Le norme iniziano fornendo le prime direttive tecniche sull'esposizione derivante dal cosiddetto "aerosol marino" per tutte le strutture fuori terra, edificate sulla costa fino a circa.

3 km dal fronte del mare

E' l'azione delle brezze a costituire il principale responsabile del trasporto dei cloruri a livello aereo. Il meccanismo è abbastanza articolato e curioso.

Il sole colpisce sia la terraferma che il mare ma a causa del proprio calore specifico si riscaldano in maniera differente.

L'acqua del mare è più lenta a riscaldarsi e a rilasciare il calore accumulato rispetto al suolo.

Durante il giorno, il terreno cede velocemente il calore accumulato all'aria la quale si riscalda e tende a salire determinando una diminuzione della pressione atmosferica esistente sulla terraferma.

L'aria che si trova sopra la superficie del mare sarà più fredda, poiché l'acqua del mare impiega più tempo ad accumulare e cedere calore.

Quest'aria essendo più fresca non salirà verso l'alto e genererà una pressione maggiore.

A causa del differente gradiente di pressione, per legge fisica, l'aria più fresca stazionante sopra il mare, inizierà a muoversi verso terra per colmare il vuoto lasciato da quella calda che si innalza, innescando un flusso d'aria conosciuto come "brezza di mare" (tipicamente diurna).

Il movimento dell'aria, unitamente gli spruzzi delle onde, faciliterà il sollevamento ed il trasporto di goccioline d'acqua marina ricche di cloruri. Tale flusso d'aria è chiamato aerosol marino.

Domande

„come si pone la normativa in vigore nei confronti dei calcestruzzi ad altissime prestazioni, procedure per la sua omologazione, una volta utilizzato tutele nei confronti del progettista“

„durabilità, inquadramento dei calcestruzzi fibrorinforzati (additivati ad esempio con polimeri)“

Domande

„come si pone la normativa in vigore nei confronti dei calcestruzzi ad altissime prestazioni, procedure per la sua omologazione, una volta utilizzato tutelate nei confronti del progettista“

CLASSE DI RESISTENZA
C8/10
C12/15
C16/20
C20/25
C25/30
C28/35
C 32/40
C35/45
C40/50
C45/55
C50/60
C55/67
C60/75
C70/85
C80/95
C90/105

Tabella 4.1.I Classi di resistenza

4.1 Costruzioni in calcestruzzo

Le grandezze meccaniche e fisiche che hanno influenza sulla resistenza e durabilità devono essere accertate prima dell'inizio dei lavori tramite un'apposita sperimentazione preventiva

La produzione deve eseguire specifiche procedure per il controllo di qualità

INCONTRI per scambio e condivisione informazioni
RELAZIONE TECNICA con sperimentazione preventiva e prestazioni attese, aspetti di produzione e controllo

4.6 Costruzioni di altri materiali

Autorizzazione del STC su parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Domande

„come si pone la normativa in vigore nei confronti dei calcestruzzi ad altissime prestazioni, procedure per la sua omologazione, una volta utilizzato tutele nei confronti del progettista“



5.6.2 Preservare l'approccio prestazionale

L'effettiva fattibilità dei requisiti prestazionali di un HPC non può essere assicurata attraverso la proliferazione e il grande dettaglio delle specifiche progettuali. Al contrario, quanto più si fa complesso lo studio tecnologico della miscela, tanto più la sua fattibilità deriva dal soddisfacimento di tutti i requisiti prestazionali, anche quando siano parzialmente contrastanti.

La frequente aggiunta, nei capitolati o nei documenti progettuali, di prescrizioni operative o di requisiti compositivi, anche quando sono ispirati alle conoscenze tecnologiche più aggiornate, ottiene talvolta il solo risultato di confondere il quadro di responsabilità delle parti.

Requisiti contrastanti	Proprietà che generano il contrasto
Alte resistenze ↔ basso calore d'idratazione	contenuto di cemento e aggiunte attive
Alta fluidità ↔ basso rapporto a/c	contenuto d'acqua
Prestazioni precoci ↔ mantenimento di consistenza	velocità d'idratazione
Diametri aggregati ridotti ↔ basso ritiro	volume di pasta
Bassi contenuti d'acqua ↔ qualità estetica della finitura superficiale	bassa velocità di scorrimento
Basso ritiro ↔ robustezza reologica	Basso contenuto di pasta e di parti fini

Tabella 5-1 -Contrasti tra requisiti