

CALCESTRUZZO: COME REALIZZARE E CONTROLLARE IL PROCESSO DI PRODUZIONE

LE PROVE ED I CONTROLLI

Ing. Genti Nallbati

DEFINIZIONI

Calcestruzzo: Materiale formato miscelando cemento, aggregato grosso e fino ed acqua, con o senza l'aggiunta di additivi o aggiunte, il quale sviluppa le sue proprietà a seguito dell'idratazione del cemento.

Calcestruzzo fresco: Calcestruzzo che è completamente miscelato ed ancora in una condizione che lo rende in grado di essere compattato mediante il metodo previsto.

Calcestruzzo indurito: Calcestruzzo allo stato solido e che ha sviluppato una certa resistenza.

Calcestruzzo miscelato in cantiere: Calcestruzzo prodotto nel luogo di costruzione dall'utilizzatore del calcestruzzo per il suo proprio impiego.

Calcestruzzo premiscelato: Calcestruzzo consegnato come calcestruzzo fresco da persona o organizzazione che non è l'utilizzatore.

Calcestruzzo a PRESTAZIONE GARANTITA

Calcestruzzo le cui proprietà richieste e caratteristiche addizionali sono specificate dal produttore il quale è responsabile della fornitura di un calcestruzzo conforme alle proprietà richieste ed alle caratteristiche addizionali.

Prescrizioni di base

- Classe di resistenza caratteristica (indicando se cubica: Rck o cilindrica: fck);
- Classe di esposizione ambientale;
- Classe di consistenza, indicando il relativo metodo di misura;
- Diametro massimo nominale dell'aggregato in mm.

Prescrizioni aggiuntive

Prescrizioni particolari richieste dal Progettista o dal Committente quali, ad esempio:

- la resistenza a breve termine, la resistenza a trazione o a flessione;
- il modulo elastico;
- il ritiro e, per il calcestruzzo autocompattante (SCC), le relative pertinenti specifiche integrative.

Ulteriori prescrizioni che possono essere espressamente richieste contrattualmente.

Calcestruzzo a COMPOSIZIONE (richiesta)

Calcestruzzo la cui composizione ed i materiali componenti da utilizzare sono specificati al produttore il quale ha la responsabilità di produrre un calcestruzzo con la composizione specificata.

Prescrizioni di base

Dettaglio della composizione e comunque:

- dosaggio del cemento (in Kg/m³);
- tipo e classe di resistenza del cemento;
- diametro massimo nominale degli aggregati (in mm);
- composizione granulometrica della miscela degli aggregati;
- tipo e dosaggio dell'eventuale additivo e/o aggiunta;
- classe di consistenza o rapporto a/c.

Prescrizioni aggiuntive

Ulteriori prescrizioni che possono essere espressamente richieste contrattualmente.

Il processo di produzione del calcestruzzo viene definito speciale per la peculiarità del prodotto, le cui caratteristiche sono controllabili solamente dopo l'avvenuta messa in opera.

Per questa sua caratteristica il controllo di produzione deve essere intensificato a monte del ciclo produttivo.

Le verifiche da effettuare nel sistema di produzione di calcestruzzo si distinguono in:

- Prove e controlli sui materiali componenti;
- Controlli sul calcestruzzo fresco e indurito;
- Qualifiche delle ricette di calcestruzzo (mix-design);
- Controlli sulle strumentazioni/apparecchiature di laboratorio

Si deve definire il ruolo cui compete la gestione dei controlli sulle apparecchiature di laboratorio e sulle apparecchiature del ciclo produttivo.

Per l'esecuzione delle prove, qualifiche e controlli ci si deve avvalere del supporto di un laboratorio che garantisca il corretto utilizzo delle apparecchiature di prova e personale qualificato.

Tale responsabilità può essere demandata anche ad un laboratorio esterno purché ne sia verificata preventivamente l'idoneità secondo i principi di cui sopra.

Si devono documentare le diverse fasi sia di prova sui materiali componenti prima del loro impiego in produzione, sia di controllo in corso d'opera delle medesime materie prime.

Nelle rappresentazioni successive sono indicati i controlli necessari e le relative frequenze minime per garantire che non vengano immessi nel ciclo produttivo materiali non conformi e comunque non idonei.

MATERIALI COMPONENTI IL CLS

REQUISITI, PROVE E CONTROLLI

- I materiali componenti non devono contenere sostanze nocive in quantità tali che possano compromettere la durabilità del cls o causare corrosione dell'armatura e devono essere idonei all'impiego previsto nel cls;
- Nel cls conforme alla norma UNI EN 206-1:2006 devono essere utilizzati solo i componenti di idoneità accertata per la specifica applicazione.

CEMENTO

Un cemento conforme alla norma UNI EN 197-1 è generalmente idoneo.

La scelta del cemento si effettua tenendo in considerazione:

- l'esecuzione dell'opera;
- L'uso finale del cls;
- Le condizioni di maturazione;
- Le dimensioni della struttura;
- Le condizioni ambientali alle quali la struttura sarà esposta (classi di esposizione);
- La potenziale reattività degli aggregati agli alcali provenienti dai componenti.

AGGREGATI

Sono riconosciuti generalmente idonei:

- Gli aggregati normali e pesanti conformi alla norma UNI EN 12620:2008 “Aggregati per calcestruzzo”;
- Gli aggregati leggeri conformi alla norma UNI EN 13055-1:2003 “Aggregati leggeri per calcestruzzo, malta e malta per iniezione”.

Il tipo di aggregato, la granulometria e le proprietà, per esempio appiattimento, resistenza al gelo – disgelo, resistenza all’abrasione, presenza di fini devono essere scelti considerando:

- l’esecuzione dell’opera;
- L’impiego finale del cls;
- Le condizioni ambientali alle quali la struttura sarà esposta (classi di esposizione);
- Ogni requisito per l’aggregato esposto o per le finiture lavorate del cls.

La dimensione massima nominale dell’aggregato (D_{max}) deve essere scelta tenendo conto del coprifero e della larghezza della sezione minima.

NOTA 1:

L’aggregato in frazione unica conforme alla norma UNI EN 12620:2008 deve essere utilizzato solo nel cls di classe di resistenza \leq C12/15.

NOTA 2:

- L’aggregato di recupero dall’acqua di lavaggio o dal cls fresco può essere utilizzato come aggregato per cls;
- L’aggregato di recupero non suddiviso non deve essere aggiunto in quantità maggiore del 5% rispetto all’aggregato totale;
- Qualora l’aggregato di recupero venga aggiunto in quantità $> 5\%$, deve essere dello stesso tipo dell’aggregato primario e deve essere suddiviso nelle frazioni granulometriche separate grossolana e fine e conforme alla norma UNI EN 12620:2008.

NOTA 3:

Nel caso d’uso di aggregati potenzialmente reattivi agli alcali, dovranno essere impiegate combinazioni, tra cemento ed aggregati, tali da evitare il rischio di detta reazione.

ACQUA D'IMPASTO

Sono considerate idonee **l'acqua d'impasto** e **l'acqua di riciclo** della produzione di cls, conformi alla norma UNI EN 1008:2003 “Specifiche di campionamento, di prova e di valutazione dell'idoneità dell'acqua, incluse le acque di recupero dei processi dell'industria del calcestruzzo, come acqua d'impasto del calcestruzzo ”.

L'acqua di impasto, compresa l'acqua di riciclo proveniente dal lavaggio delle betoniere e dal punto di carico, non dovrà contenere materie organiche o sali aggressivi od altri materiali che possano pregiudicare la resistenza e la durabilità delle opere realizzate.

ADDITIVI

Sono considerati idonei gli additivi conformi alla norma UNI EN 934-2:2007 “Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Parte 2: Additivi per calcestruzzo - Definizioni, requisiti, conformità, marcatura ed etichettatura”.

- La quantità totale di additivi, ove utilizzati, non deve superare il dosaggio massimo raccomandato dal produttore e non deve superare il 5% sul peso del cemento, a meno che non sia stabilita l'influenza di un più alto dosaggio sulle prestazioni e sulla durabilità del cls;

- L'uso di additivi in quantità minore di 2% sul peso del cemento è consentito solo se vengono dispersi in una parte dell'acqua d'impasto;
- Qualora la quantità totale di additivi liquidi superi 3 l/m³ di cls, il suo contenuto d'acqua deve essere considerato nel calcolo del rapporto a/c;
- Se vengono impiegati più additivi, la loro compatibilità deve essere controllata nelle prove iniziali.

NOTA: I calcestruzzi con classe di consistenza \geq S4, V4, C3, F4 dovrebbero essere confezionati con additivi superfluidificanti.

AGGIUNTE (inclusi i filler minerali e i pigmenti):

Sono considerate generalmente idonee le aggiunte di tipo I (aggiunte praticamente inerti):

- Filler conformi alla norma UNI EN 12620:2008;
- Pigmenti conformi alla norma UNI EN 12878:2005;

Sono considerate generalmente idonee le aggiunte di tipo II (aggiunte pozzolaniche o ad attività idraulica latente):

- Ceneri volanti conformi alla norma UNI EN 450:2007;
- Fumi di silice conformi alla norma UNI EN 450:2005.

La loro quantità da utilizzare nel cls deve essere dedotta dalle prove iniziali.

CONTENUTO DI CLORURI

Il contenuto di cloruri di un cls, espresso come % di ioni Cl^- rispetto alla massa del cemento, non deve superare il valore per la classe prescelta di cui al prospetto 10 (UNI EN 206-1:2006).

Contenuto massimo di cloruri nel calcestruzzo

Impiego del calcestruzzo	Classe di contenuto in cloruri ^{a)}	Massimo contenuto di Cl^- rispetto alla massa del cemento ^{b)}
In assenza di armatura di acciaio o di altri inserti metallici (ad eccezione dei dispositivi di sollevamento resistenti alla corrosione)	Cl 1,0	1,0%
In presenza di armatura d'acciaio o di altri inserti metallici	Cl 0,20	0,20%
	Cl 0,40	0,40%
In presenza di armatura d'acciaio da precompressione	Cl 0,10	0,10%
	Cl 0,20	0,20%

a) La classe da applicare per uno specifico utilizzo del calcestruzzo dipende da disposizioni valide nel luogo d'impiego del calcestruzzo.

b) Qualora siano impiegate aggiunte di tipo II e siano considerate nel computo del dosaggio di cemento, il contenuto in cloruri viene espresso come percentuale di ioni cloruro in massa rispetto al cemento + la massa totale delle aggiunte considerate.

TEMPERATURA DEL CALCESTRUZZO

- La temperatura del cls fresco al momento della consegna non deve essere minore di 5° C;
- Qualora sia necessario applicare un requisito per una temperatura minima differente oppure una temperatura massima del cls fresco, detto requisito deve essere applicato con la relativa tolleranza;
- Qualunque requisito di raffreddamento o di riscaldamento artificiale del cls prima della consegna deve essere concordato fra il produttore e l'utilizzatore.

CONCLUSIONE

(Requisiti di base per la composizione del cls)

- La composizione del cls ed i materiali componenti il cls a prestazione o a composizione devono essere scelti in modo da soddisfare i requisiti specificati per il cls fresco ed indurito, includendo consistenza, massa volumica, resistenza, protezione degli inserti metallici dalla corrosione, tenendo conto del processo produttivo e del metodo previsto per l'esecuzione delle opere di cls;
- Il produttore, qualora non siano dettagliati nella specifica, deve scegliere i tipi e le classi dei materiali componenti tra quelli in possesso di idoneità stabilita per le specifiche condizioni di esposizione ambientale;
- Il cls deve essere progettato da minimizzare la segregazione e l'essudazione allo stato fresco;
- Le proprietà richieste del cls nella struttura saranno raggiunto solo se saranno soddisfatte certe procedure esecutive per il cls fresco nel luogo d'impiego. Pertanto, prima di formulare le specifiche del cls, occorre tenere conto delle modalità di trasporto, posa in opera, compattazione, maturazione e ulteriori trattamenti.

Controllo dei materiali componenti

	Materiale componente	Controllo/prova	Scopo	Frequenza minima
1	Cementi ^{a)}	Esame del documento di consegna ^{d)} prima dello scarico	Verificare se la consegna è conforme all'ordine e alla provenienza attesa	Ad ogni consegna
2	Aggregati	Esame del documento di consegna ^{b)} ^{d)} prima dello scarico	Verificare se la consegna è conforme all'ordine e alla provenienza attesa	Ad ogni consegna
3		Esame visivo dell'aggregato prima dello scarico	Confronto con un aggregato di aspetto normale per quanto riguarda granulometria, dimensioni e impurezze	Ad ogni consegna Periodicamente, secondo le condizioni locali o di consegna, quando la consegna avviene a mezzo di nastro trasportatore
4		Stacciatura in accordo alla EN 933-1	Valutare la conformità con la granulometria di norma o concordata	Prima consegna da parte di una nuova provenienza, quando tale informazione non è data dal fornitore di aggregati In caso di dubbio conseguente all'esame visivo Periodicamente, secondo le condizioni locali o di consegna ^{e)}
5		Prova delle impurezze	Valutare la presenza e quantità di impurezze	Alla prima consegna da parte di una nuova provenienza, quando tale informazione non è data dal fornitore di aggregati In caso di dubbio conseguente all'esame visivo Periodicamente, a seconda delle condizioni locali o di consegna ^{e)}
6		Prova di assorbimento d'acqua secondo la EN 1097-6	Valutare il contenuto d'acqua effettiva del calcestruzzo, vedere 5.4.2	Alla prima consegna da parte di una nuova provenienza, quando l'informazione non è data dal fornitore In caso di dubbio

7	Controlli addizionali per aggregati leggeri o pesanti	Prova in accordo alla EN 1097-3	Determinare la massa volumica in mucchio	Alla prima consegna da parte di una nuova provenienza, quando tale informazione non è data dal fornitore di aggregati In caso di dubbio conseguente all'esame visivo Periodicamente, secondo le condizioni locali o di consegna ^{e)}
---	---	---------------------------------	--	--

	Materiale componente	Controllo/prova	Scopo	Frequenza minima
8	Additivi ^{c)}	Esame del documento di consegna e dell'etichetta del contenitore ^{d)} prima dello scarico	Verificare la conformità con l'ordine e se il contenitore è correttamente identificato	Ad ogni consegna
9		Prove di identificazione in accordo alla EN 934-2, per esempio massa volumica, prova agli infrarossi	Confronto con i valori dichiarati dal produttore	In caso di dubbio

10	Aggiunte sfuse ^{c)} in polvere	Esame del documento di consegna ^{d)} prima dello scarico	Verificare se la consegna è conforme all'ordine e alla provenienza attesa	Ad ogni consegna
11		Prova di perdita al fuoco delle ceneri volanti	Identificare cambiamenti nel contenuto di carbone che possono influenzare negativamente il calcestruzzo aerato	Ad ogni consegna utilizzata per calcestruzzo aerato, qualora tale informazione non sia disponibile dal fornitore
12	Aggiunte in sospensione	Esame del documento di consegna ^{d)} prima dello scarico	Verificare se la consegna è conforme all'ordine e alla provenienza attesa	Ad ogni consegna
13		Prova della massa volumica	Verificare l'uniformità	Ad ogni consegna periodicamente durante la produzione del calcestruzzo
14	Acqua	Prova secondo la EN 1008	Nel caso di acqua non potabile, per verificare che l'acqua sia priva di componenti nocivi	Al primo utilizzo di acqua non potabile di nuova provenienza In caso di dubbio

- a) Per ogni tipo di cemento impiegato si raccomanda che, una volta alla settimana, vengano prelevati e conservati campioni da assoggettare a prova in caso di dubbio.
- b) Il documento di consegna o la scheda tecnica del prodotto devono anche fornire informazioni sul massimo contenuto di cloruri e dovrebbero fornire una idonea classificazione nei riguardi della reazione alcali-silice, in accordo con le disposizioni valide nel luogo di impiego del calcestruzzo.
- c) Si raccomanda il prelievo e la conservazione di campioni ad ogni consegna.
- d) Il documento di consegna deve contenere o essere accompagnato da una dichiarazione di conformità o da un certificato di conformità, secondo quanto richiesto nelle norme o nelle specifiche relative.
- e) Non necessario qualora il controllo di produzione degli aggregati sia certificato.

CALCESTRUZZO FRESCO ED INDURITO

REQUISITI, PROVE E CONTROLLI

CLS FRESCO.

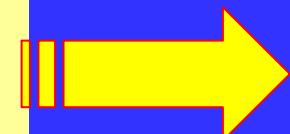
- *Consistenza;*
- *Contenuto di cemento e rapporto a/c;*
- *Contenuto d'aria;*
- *Dimensione massima dell'aggregato.*

1 - CONSISTENZA

La consistenza dell'impasto deve essere tale da permettere il trasporto e la messa in opera del calcestruzzo con sufficiente facilità, senza che si verifichino fenomeni di segregazione.

La classe di consistenza ottimale dipende dal tipo di getto e dai mezzi disponibili per la compattazione.

L'attuale normativa sul calcestruzzo (UNI EN 206-1) contempla i seguenti metodi di prova:



➤ **abbassamento al cono: in conformità alla UNI EN 12350-2.**

La norma UNI EN 206-1 raggruppa in cinque classi di consistenza gli abbassamenti al cono, si riporta di seguito tale classificazione affiancata dalla corrente denominazione Italiana (tabella 1.1).

Classe di consistenza	Abbassamento al cono	Denominazione corrente	Lavorabilità
	[mm]		
S1	10 ÷ 40	Terra umida	Minima lavorabilità
S2	50 ÷ 90	Plastica	
S3	100 ÷ 150	Semi – fluida	
S4	160 ÷ 210	Fluida	
S5	≥ 220	Superfluida	Massima lavorabilità

Tabella 1.1 - Classi di consistenza mediante misura dell'abbassamento al cono.

Poiché tale metodo manca di sensibilità al di fuori di certi intervalli di consistenza, il legislatore si raccomanda di utilizzarlo per valori maggiori o uguali a 10 mm e minori o uguali a 210 mm .

Tutti i diritti sono riservati Istituto Giordano S.p.A.

➤ **tempo Vébé: in conformità alla UNI EN 12350-3.**

Classe di consistenza	Tempo Vébé in secondi	Tolleranza in secondi
V0	≥31	±3
V1	da 30 a 21	±3
V2	da 20 a 11	±3
V3	da 10 a 6	±2
V4	da 5 a 3	±1

Con questo metodo, eseguibile sia in laboratorio che in cantiere, si può determinare la consistenza del cls fresco mediante la misura del tempo Vébé.

Il metodo non può essere applicato a calcestruzzi con aggregati aventi dimensione massima maggiore di 63 mm.

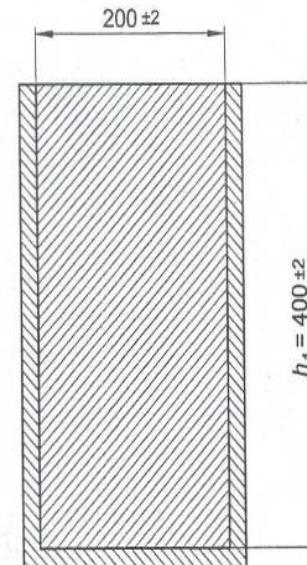
L'intervallo di tempo in secondi, detto tempo Vé - bé, esprime la consistenza dell'impasto esaminato. La prova è significativa soltanto se il tempo misurato è compreso nell'intervallo 5 – 30 secondi.

➤ **indice di compattabilità: in conformità alla UNI EN 12350-4.**

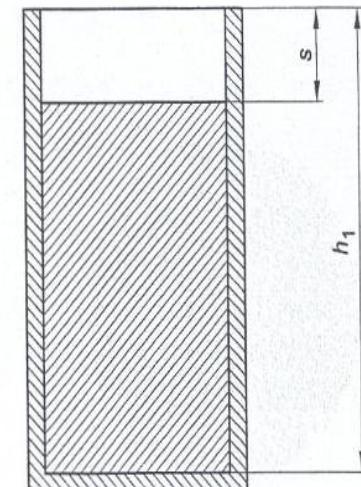
Classe di consistenza	Indice di Compattabilità	Tolleranza
C0	≥ 1.46	± 0.10
C1	da 1.45 ad 1.26	± 0.10
C2	da 1.25 ad 1.11	± 0.08
C3	da 1.10 ad 1.04	± 0.05

- *Questo tipo di prova è adatto per calcestruzzi di consistenza non maggiore della classe semifluida cioè quella definita S3 allo slump ovvero è significativa per valori dell'indice di compattabilità compresi tra 1.04 ed 1.46.*
- *Se l'indice di compattabilità è minore di 1,04 o maggiore di 1,46, la consistenza del cls è tale da rendere inadatta la prova.*

Calcestruzzo nel contenitore, prima e dopo la compattazione
Dimensioni in mm



$$c = \frac{h_1}{h_1 - s}$$



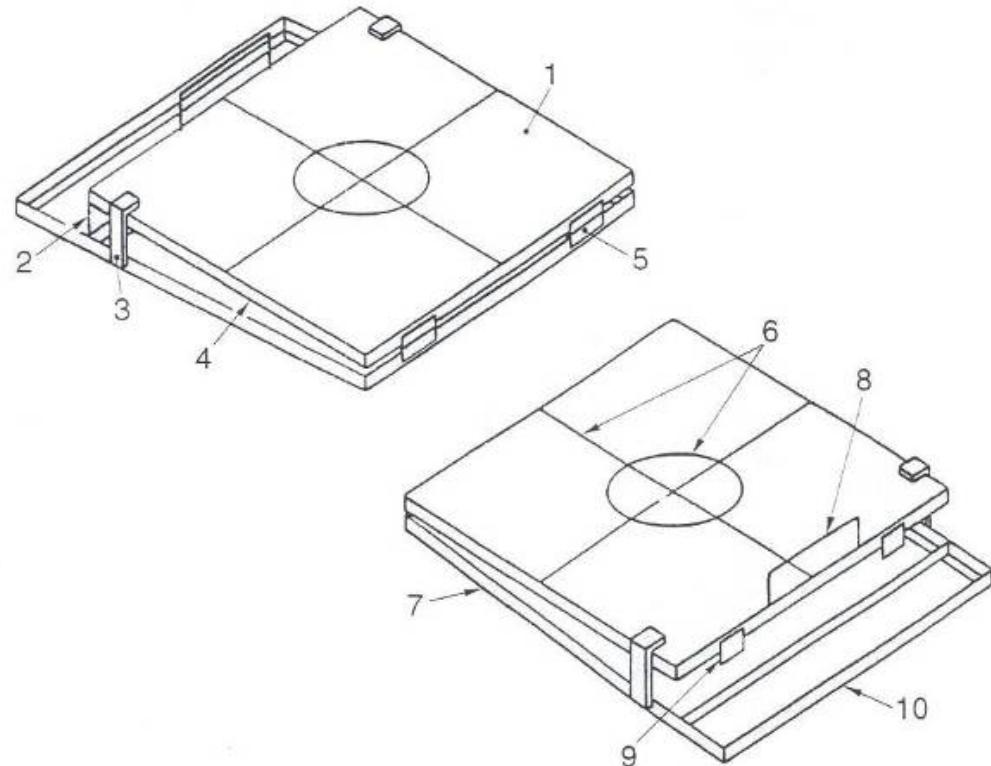
Tutti i diritti sono riservati Istituto Giordano S.p.A.

➤ ***spandimento alla tavola a scosse: in conformità alla UNI EN 12350-5.***

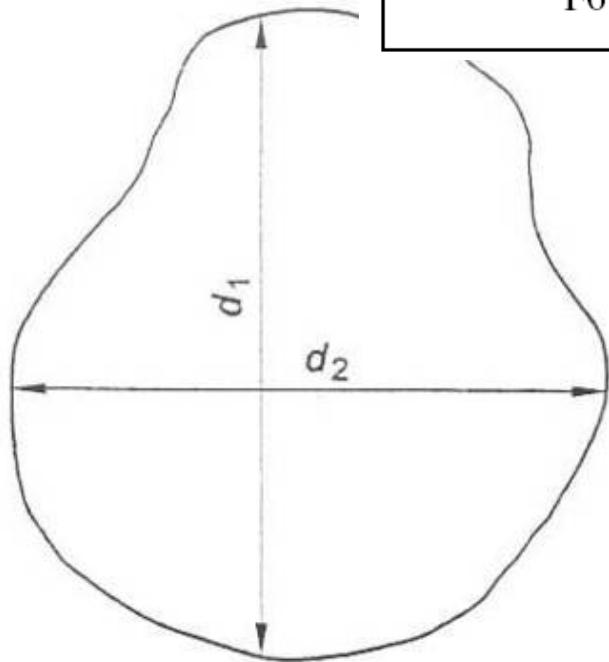
■ Questa prova, misurando la deformazione che subisce una data forma di calcestruzzo sottoposta ad una determinata oscillazione meccanica, oltre a discriminare le classi di consistenza dà anche un'indicazione sulla tendenza alla segregazione degli impasti. Tale metodo viene applicato per impasti di consistenza superiore a quella umida confezionati con inerti di dimensioni inferiori a 40 mm, esso trova facile esecuzione sia in cantiere che in laboratorio.

Legenda	
1)	Piastra di metallo
2)	Corsa limitata a (40 ± 1) mm
3)	Fermo superiore
4)	Parte superiore della tavola
5)	Cerniere esterne
6)	Marcature
7)	Telaio di base
8)	Maniglia di sollevamento
9)	Fermo inferiore
10)	Pedana

Dimensioni in mm



Classe di consistenza	Diametro spandimento in mm	Tolleranza in mm
F1	≤ 340	± 30
F2	da 350 a 410	± 30
F3	da 420 a 480	± 30
F4	da 490 a 550	± 30
F5	da 560 a 620	± 30
F6	≥ 630	± 30



2 – CONTENUTO DI CEMENTO E RAPPORTO a/c

Il contenuto di cemento, di aggiunta o di acqua immessa dovrà essere ricavato dalla copia stampata delle quantità registrate in fase di dosaggio oppure, nel caso non venga utilizzato un sistema automatico di registrazione, dovrà essere dedotto dal tabulato di produzione abbinato all'elenco di composizioni degli impasti;

Il rapporto a/c del cls deve essere calcolato in base al determinato contenuto di cemento e dell'effettivo contenuto d'acqua.

- L'assorbimento d'acqua degli aggregati normali e di quelli pesanti deve essere determinato in conformità alla norma UNI EN 1097-6:2008;
- L'assorbimento d'acqua degli aggregati leggeri nel cls fresco deve essere quello del valore ottenuto a 1 ora con riferimento al metodo riportato nell'appendice C della norma UNI EN 1097-6:2008 utilizzando le condizioni di umidità dell'aggregato all'atto dell'utilizzo anziché quelle legate alla condizione dopo essiccamiento.

Se è richiesta la determinazione per via analitica del contenuto di cemento, dell'aggiunta o del rapporto a/c sul cls fresco, il metodo di prova e le tolleranze devono essere oggetto di accordo tra il prescrittore ed il produttore.

3 - CONTENUTO D'ARIA

Il contenuto d'aria deve essere misurato in accordo alla UNI EN 12350-7:2002 per il cls normale e pesante ed in accordo alla norma ASTM C 173 per il cls leggero.

Il contenuto d'aria viene specificato come valore minimo.

Il limite superiore del contenuto d'aria è costituito dal valore minimo specificato più il 4% assoluto.

4 - DIMENSIONE MASSIMA DELL'AGGREGATO

La misurazione deve essere eseguita in accordo alla norma UNI EN 933-1:1999 “Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Determinazione della distribuzione granulometrica - Analisi granulometrica per stacciatura”.

La dimensione massima nominale dell'aggregato, come definita nella UNI EN 12620:2008, non deve essere maggiore del valore specificato.

CLS INDURITO.

- *Resistenza (a compressione ed a trazione);*
- *Massa volumica;*
- *Resistenza alla penetrazione dell'acqua;*
- *Reazione al fuoco.*

La determinazione della resistenza deve essere ottenuta in accordo alla norma UNI EN 12390-1:2002 mediante prove su provini cubici di lato 150 mm e su provini cilindrici di diametro 150 mm ed altezza 300 mm.

1 – Resistenza a compressione

- **Il produttore** deve dichiarare prima della consegna se la resistenza a compressione verrà valutata su provini cubici o cilindrici;
- Metodi differenti devono essere accordati tra prescrittore e produttore;
- La resistenza a compressione si misura al 28° giorno di maturazione; in casi particolari anche a 2, 7, 14, 60 o 90 giorni;
- La resistenza caratteristica a compressione del cls deve essere \geq della resistenza caratteristica minima a compressione richiesta per la classe specificata.

Classi di resistenza a compressione per cls normale e pesante

Classe di resistenza	f_{ck} N/mm ²	R_{ck} N/mm ²	Categoria del calcestruzzo
C8/10	8	10	Non strutturale
C12/15	12	15	"
C16/20	16	20	Ordinario
C20/25	20	25	"
C25/30	25	30	"
C30/37	30	37	"
C35/45	35	45	"
C40/50	40	50	"
C45/55	45	55	"
C50/60	50	60	Alte prestazioni
C55/67	55	67	"
C60/75	60	75	"
C70/85	70	85	Alta resistenza
C80/95	80	95	"
C90/105	90	105	"
C100/115	100	115	"

Tutti i diritti sono riservati Istituto Giordano S.p.A.

Classi di resistenza a compressione per cls 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.

2 – Resistenza a trazione

La resistenza a trazione del calcestruzzo dovrà essere prescritta e misurata

come resistenza “indiretta” (UNI EN 12390-6:2002):

1. prova brasiliiana (per spacco): $f_{ct,sp}$;
2. resistenza a flessione (prova su tre punti) $f_{ct,fl}$;

o come resistenza “diretta” (ISO 1920-4:2005):

1. prova assiale: f_{ct}

I risultati ottenuti con i metodi di prova sopra elencati non sono strettamente intercambiabili.

Classi di resistenza a trazione

Il calcestruzzo può essere classificato, se richiesto, in base alla sua resistenza a trazione assiale caratteristica f_{ck} come indicato nella seguente tabella (*Riferimento Istruzioni ATECAP*):

CLASSE DI RESISTENZA A TRAZIONE	f_{ctk} [N/mm ²]
T 1.0	1,0
T 1.5	1,5
T 2.0	2,0
T 2.5	2,5
T 3.0	3,0
T 3.5	3,5
T 4.0	4,0

3 - MASSA VOLUMICA

In funzione della sua massa volumica dopo essiccamento in stufa, il cls è definito come:

- 1.cls NORMALE (2000 kg/m³)<massa volumica < 2600 kg/m³);
- 2.cls LEGGERO (800 kg/m³)<massa volumica < 2000 kg/m³);
- 3.cls PESANTE (massa volumica > 2600 kg/m³);

La massa a secco del cls viene determinata secondo le indicazioni della norma UNI EN 12390-7:2002

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 $\leq 2\,000$

Tutti i diritti sono riservati Istituto Giordano S.p.A.

4 – RESISTENZA ALLA PENETRAZIONE DELL'ACQUA

Il metodo ed i criteri di conformità devono essere concordati fra il prescrittore ed il produttore cls.

UNI EN 12390-8:2002: La norma specifica un metodo per la determinazione della profondità di penetrazione dell'acqua sotto pressione nel calcestruzzo indurito conservato in acqua.

In assenza di un metodo concordato, la resistenza alla penetrazione dell'acqua può essere specificata per mezzo di valori limite per la composizione del cls.

5 – REAZIONE AL FUOCO

Il cls composto di:

- **AGGREGATI NATURALI** conformi alla norma UNI EN 12620:2008;
- **CEMENTO** conforme alla norma UNI EN 197-1;
- **ADDITIVI** conformi alla norma UNI EN 934-2;
- **AGGIUNTE** conformi alla norma UNI EN 12620 (filler) – UNI EN 12878 (pigmenti) – UNI EN 450-1:2007 (ceneri volanti) - UNI EN 13263:2005 (fumi di silice);
- o altri materiali componenti inorganici conformi alla norma UNI EN 206-1:2006

È CLASSIFICATO NELLA CLASSE EURO A E NON NECESSITA DI PROVE.

CONCLUSIONE

(Controllo sul cls fresco ed indurito)

L'Organizzazione deve dare evidenza del metodo di verifica secondo cui il processo produttivo avviene secondo quanto pianificato e deve poter documentare:

- ◆ i risultati delle prove secondo la **Tabella in seguito**
- ◆ il campionamento dei provini di calcestruzzo fresco/indurito
- ◆ lo strumento di analisi statistica in uso per la definizione della resistenza media e dello scarto quadratico medio.

I dati devono essere analizzati per valutare i cambiamenti significativi delle caratteristiche peculiari del calcestruzzo e poter correggere, se necessario, i dati di progetto e di produzione.

Il Produttore, anche in forma continuativa, in tutto od in parte, può affidare ad una struttura esterna l'autocontrollo della produzione. Egli comunque ne rimane esclusivo responsabile.

Tutti i diritti sono riservati Istituto Giordano S.p.A.

- Come previsto anche dalla Direttiva Europea 89/106 sui prodotti da costruzione (e relativi recepimenti) l'obiettivo di accertamento della consistenza può essere assicurato anche attraverso un metodo alternativo ai suddetti purché sia data evidenza della correlazione statistica fra metodo alternativo scelto e uno di quelli di cui alle norme citate. Secondo tale interpretazione, ad esempio, per il controllo giornaliero della consistenza può essere utilizzato il manometro dell'autobetoniera, ricavando il valore dello slump in maniera indiretta attraverso le apposite tabelle di correlazione. Tali tabelle di correlazione devono essere il risultato di prove storiche effettuate, registrate e conservate a dimostrazione dell'attendibilità del metodo alternativo individuato;
- si consiglia di effettuare il controllo su almeno quattro cubetti per singolo prelievo per la determinazione delle rotture a compressione a 7 e 8 gg, se non diversamente specificato;
- si consiglia di aumentare la frequenza per una migliore interpretazione statistica dei dati .

Nel caso di produzione di calcestruzzo autocompattante (SCC) devono essere definite e verificate, almeno in fase di qualifica della miscela, le seguenti proprietà:

- ◆ resistenza alla segregazione;
- ◆ capacità di passare attraverso i ferri di armatura;
- ◆ *capacità di riempire le casseforme in maniera omogenea*

Controllo delle procedure di produzione e delle proprietà del calcestruzzo

	Tipo di prova	Controllo/prova	Scopo	Frequenza minima
1	Proprietà del calcestruzzo a prestazione	Prove iniziali (vedere appendice A)	Per evidenziare che le proprietà specificate del calcestruzzo siano ottenute con un margine adeguato	Prima di utilizzare un calcestruzzo di nuova formulazione
2	Contenuto d'acqua degli aggregati fini	Misurazione in continuo, prova di essiccamiento o equivalente	Per determinare la massa asciutta dell'aggregato e l'acqua da aggiungere	Se non di continuo, giornaliera; può essere richiesto un numero di prove più o meno elevato, a seconda delle condizioni locali e del clima
3	Contenuto d'acqua degli aggregati grossi	Prova di essiccamiento o equivalente	Per determinare la massa asciutta dell'aggregato e l'acqua da aggiungere	Seconda le condizioni locali e del clima
4	Contenuto d'acqua nel calcestruzzo fresco	Verifica della quantità d'acqua aggiunta ^{a)}	Per fornire informazioni sul rapporto acqua/cemento	Ad ogni impasto o carico
5	Contenuto in cloruri nel calcestruzzo	Determinazione iniziale per calcolo	Per assicurare che non venga superato il massimo contenuto di cloruri	In occasione delle prove iniziali Nel caso di aumento del contenuto di cloruri nei materiali componenti
6	Consistenza	Controllo visivo	Per confronto con un calcestruzzo di consistenza normale	Ad ogni impasto o carico
7		Misurazione della consistenza secondo le EN 12350-2, EN 12350-3, EN 12350-4 o EN 12350-5	Per valutare il raggiungimento dei valori di consistenza specificati e verificare i possibili cambiamenti nel contenuto d'acqua	Quando è specificata la consistenza, come nel prospetto 13 per la resistenza a compressione In occasione della misurazione del contenuto d'aria In caso di dubbio conseguente a controllo visivo

8	Massa volumica del calcestruzzo fresco	Prova della massa volumica in accordo alla EN 12350-6	Per calcestruzzo leggero e pesante, come verifica della miscela e controllo della massa volumica	Ogni giorno
9	Contenuto di cemento nel calcestruzzo fresco	Controllo della quantità in massa di cemento nell'impasto ^{a)}	Per controllare il contenuto di cemento e fornire dati per il calcolo del rapporto acqua/cemento	Ad ogni impasto
10	Contenuto di aggiunte nel calcestruzzo fresco	Controllo della quantità in massa delle aggiunte nell'impasto ^{a)}	Per verificare il contenuto di aggiunte e fornire dati per il calcolo del rapporto acqua/cemento (vedere 5.4.2)	Ad ogni impasto
11	Contenuto di additivi nel calcestruzzo fresco	Controllo della quantità in massa o in volume degli additivi nell'impasto ^{a)}	Per verificare il contenuto di additivi	Ad ogni impasto
12	Rapporto acqua/cemento del calcestruzzo fresco	Mediante calcolo o prova, vedere 5.4.2	Per valutare il raggiungimento del rapporto acqua/cemento specificato	Ogni giorno, se specificato

	Tipo di prova	Controllo/prova	Scopo	Frequenza minima
13	Contenuto d'aria nel calcestruzzo fresco, se specificato	Per calcestruzzo normale e pesante: prova in accordo alla EN 12350-7; per calcestruzzo leggero: prova secondo ASTM C 173	Per valutare il raggiungimento del contenuto specificato d'aria aggiunta	Per calcestruzzo aerati: al primo impasto o carico di ogni giorno di produzione, fino a stabilizzazione dei valori
14	Temperatura del calcestruzzo fresco	Misurazione della temperatura	Per valutare il non superamento della temperatura limite di 5 °C o del limite specificato	In caso di dubbio Quando è specificata una temperatura: - periodicamente, secondo la situazione; - a ogni impasto o carico, quando la temperatura del calcestruzzo è vicina al limite
15	Massa volumica del calcestruzzo indurito, leggero o pesante	Prova in accordo alla EN 12390-7 ^{b)}	Per valutare il raggiungimento della massa volumica specificata	Quando viene specificata la massa volumica, con la stessa frequenza delle prove di compressione
16	Prove di compressione su provini di calcestruzzo	Prova in accordo alla EN 12390-3	Per valutare il raggiungimento della resistenza specificata	Quando è specificata una resistenza, con la stessa frequenza del controllo di conformità, vedere 8.1 e 8.2.1
a)	Se non è in uso un apparecchio di registrazione e le tolleranze di dosaggio per l'impasto o il carico risultano superate, registrare le quantità effettive nei registri di produzione.			
b)	La prova può essere effettuata anche in condizioni di saturazione, quando è stata stabilita una relazione affidabile con la massa volumica dopo essiccamiento in forno.			

QUALIFICA DELLE RICETTE DI CALCESTRUZZO (mix-design)

Si deve dare evidenza del metodo da utilizzare per progettare le miscele di calcestruzzo che si produce presso l'impianto e che si vende nel rispetto di una resistenza caratteristica dichiarata.

Altresì bisogna documentare per ogni mix-design:

- ◆ le composizioni granulometriche medie degli aggregati a disposizione;
- ◆ la classe e il tipo di cemento utilizzato per garantire la resistenza dichiarata;
- ◆ il valore del rapporto a/c e di additivi per garantire la classe di esposizione e la consistenza dichiarate;
- ◆ *il metodo di determinazione della corrispondente resistenza media di progetto R_{cm} .*

Negli impianti di produzione devono essere utilizzate solo miscele di calcestruzzo qualificate in fase preventiva

Per miscele qualificate si intendono sia nuove miscele composte da materie prime già qualificate ma mai utilizzate, che miscele già in uso che necessitano di un'ottimizzazione.

Lo studio di qualifica deve essere effettuato per **famiglie di calcestruzzo**, ossia “calcestruzzo costituito da:

- ◆ cemento di un solo tipo, classe di resistenza e origine;
- ◆ aggregati che si possono dimostrare simili;
- ◆ calcestruzzi con o senza additivi riduttori d'acqua/fluidificanti;
- ◆ tutta la gamma delle classi di consistenza;
- ◆ calcestruzzo con una gamma limitata di classi di resistenza (UNI EN 206-1:2006)

CONTROLLI SULLE APPARECCHIATURE/STRUMENTAZIONI DI LABORATORIO

Si deve documentare come si tiene sotto controllo le apparecchiature di misurazione e prova in dotazione al laboratorio tecnologico.

La scelta della strumentazione di misurazione e monitoraggio deve essere effettuata tenendo in considerazione il tipo di misurazione da effettuare e la precisione richiesta.

La strumentazione presente nel laboratorio deve essere inserita in un elenco che riporti almeno le attrezzature evidenziate in Tabella 6. Ogni documentazione relativa ai risultati di taratura/controllo deve essere allegata all'elenco strumenti.

In caso di produzione di calcestruzzi speciali (SCC, alta resistenza, ...), oltre agli strumenti elencati nel foglio seguente, l'Azienda deve aggiungere tutti gli strumenti necessari per le prove e i controlli sui medesimi calcestruzzi.

Tutti i diritti sono riservati Istituto Giordano S.p.A.

Il laboratorio di riferimento deve essere attrezzato almeno delle seguenti apparecchiature:

- termometri di ambiente (min. e max.) e per calcestruzzo;
- forno per l'essiccazione dei campioni di aggregato;
- serie di setacci UNI;
- bilancia di precisione (lettura minima 1g);
- attrezzatura per la determinazione dell'equivalente in sabbia;
- cilindri graduati e burette;
- contenitore rigido, di volume noto, per la determinazione della densità del cls fresco;
- cono di Abrams;
- porosimetro;
- mescolatore per calcestruzzo da laboratorio;
- adeguato numero di cubiere secondo UNI;
- vasca/ambiente di maturazione secondo UNI;
- bilancia con portata compresa tra 20 e 50 Kg.;
- pressa per le prove di compressione, di classe 1 (min. 200 t) conforme alla UNI EN 12390-4 in caso di produzione di calcestruzzo autocompattante (SCC);
- ulteriori attrezzature necessarie al controllo di questo materiale.

In assenza di disposizioni normative, le apparecchiature di misurazione e prova vanno controllate con frequenza minima annuale od ogni qual volta emergano dubbi sulla loro affidabilità. I verbali di verifica delle tarature vanno conservati.

Tutti i diritti sono riservati Istituto Giordano S.p.A.

RIEPILOGO

1. Le verifiche riguardano le Prove e controlli sui materiali componenti, i controlli sul calcestruzzo fresco e indurito, le qualifiche delle ricette di calcestruzzo (mix-design), e i controlli sulle strumentazioni/apparecchiature di laboratorio
2. La Tabella 4 indica i controlli necessari e le relative frequenze minime per garantire che non vengano immessi nel ciclo produttivo materiali non conformi e comunque non idonei
3. Si deve dare evidenza del metodo per progettare le miscele di calcestruzzo che si produce presso l'impianto e che si vende nel rispetto di una resistenza caratteristica dichiarata
4. Negli impianti di produzione devono essere utilizzate solo miscele di calcestruzzo qualificate in fase preventiva
5. Si deve documentare come avviene il controllo delle apparecchiature di misurazione e prova in dotazione al laboratorio tecnologico