

Dip. di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale

Università Federico II di Napoli

Corso di Laurea in Ingegneria Edile (A.A.2024-25)

“Tecnologia dei Materiali e Chimica Applicata”

(Prof. Fabio Iucolano)

*Altri costituenti del calcestruzzo:
acqua di impasto, aggregati, additivi*



Il calcestruzzo

E' il materiale da costruzione in assoluto più utilizzato dall'uomo: se ne stima una produzione di **2 miliardi di m³ all'anno**, per impieghi sia nell'edilizia civile ed industriale che nelle infrastrutture.

Tale ampia diffusione è dovuta ad una serie di motivi:

- Ottima resistenza a compressione;
- Buona compatibilità con le armature in acciaio, per ottenere cls armati e porre così rimedio alla scarsa resistenza a trazione;
- Può essere confezionato facilmente e messo in opera nella forma desiderata;
- Economico, perché prodotto con materie prime facilmente reperibili.



DI
C
Ma
PI

Dipartimento
di Ingegneria Chimica,
dei Materiali e della
Produzione Industriale
Università degli Studi
di Napoli Federico II

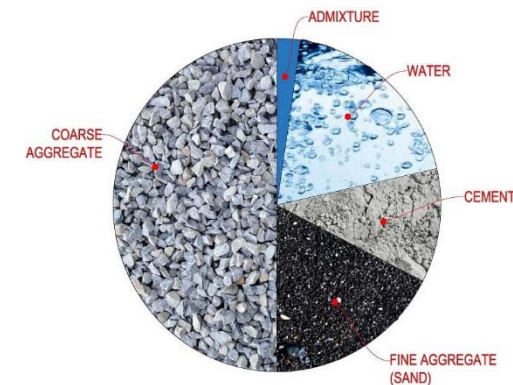
Il calcestruzzo

*UNI EN 206:2021 Calcestruzzo - Specificazione,
prestazione, produzione e conformità*

Il calcestruzzo (cls) può essere considerato un materiale composito:

Cemento + Acqua + Aggregati (fini e grossi) + Additivi

Sia le caratteristiche del **cls fresco** (principalmente la lavorabilità) sia quelle finali del **cls indurito** (resistenza meccanica, stabilità di volume, durabilità,) dipendono dunque non solo dalla tipologia di legante usato, ma anche dalle **caratteristiche degli altri tre costituenti**.



I quattro costituenti del cls vengono opportunamente introdotti e miscelati nelle **betoniere**, al fine di ottenere un impasto plastico omogeneo che verrà successivamente gettato all'interno di casseforme.





Acqua di impasto per il cls

UNI EN 1008:2003 **Acqua d'impasto per il calcestruzzo** - 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

La qualità dell'acqua di impasto è importante perché **i sali e le impurezze** che essa può contenere possono **interferire con i processi di presa ed indurimento, influenzare le proprietà meccaniche e causare efflorescenze** e macchie sulla superficie del calcestruzzo.

I principali sali disciolti nelle acque dolci naturali sono i seguenti:

Carbonati	CO_3^{--}
Bicarbonati	HCO_3^-
Solfati	SO_4^{--}
Cloruri	Cl^-
Altri ioni	$(\text{Ca}^{++}, \text{Na}^+, \text{K}^+, \dots)$



Acqua di impasto per il cls

La norma UNI EN 1008 classifica differenti tipologie di acque, indica i **controlli** ai quali vanno sottoposte e le **massime concentrazioni** ammissibili per poter essere usate come «acque di impasto per il cls».

 Le **acque potabili** possono essere utilizzate senza alcun tipo di controllo, mentre quelle **marine o salmastre** possono essere utilizzabili solo per cls senza armature o altri elementi metallici inglobati!

Tra i vari sali disciolti, quelli più pericolosi sono i **cloruri, i solfati e gli alcali**:

Concentrazione limite per Cl^-	$< 500 \text{ mg/l}$ (strutture in c.a.p.) $< 1000 \text{ mg/l}$ (strutture in c.a.) $< 4500 \text{ mg/l}$ (strutture in cls senza armatura)
Concentrazione limite per $\text{SO}_4^{=}$	$< 2000 \text{ mg/l}$
Concentrazione limite per Na_{eq}^+	$< 1500 \text{ mg/l}$



La norma UNI EN 1008 classifica differenti tipologie di acque, indica i **controlli** ai quali vanno sottoposte e le **massime concentrazioni** ammissibili per poter essere usate come «acque di impasto per il cls».

 Le **acque potabili** possono essere utilizzate senza alcun tipo di controllo, mentre quelle **marine o salmastre** possono essere utilizzabili solo per cls senza armature o altri elementi metallici inglobati!

Tra i vari sali disciolti, quelli più pericolosi sono i **cloruri, i solfati e gli alcali**:

Concentrazione limite per Cl^-	$< 500 \text{ mg/l}$ (strutture in c.a.p.) $< 1000 \text{ mg/l}$ (strutture in c.a.) $< 4500 \text{ mg/l}$ (strutture in cls senza armatura)
Concentrazione limite per $\text{SO}_4^{=}$	$< 2000 \text{ mg/l}$
Concentrazione limite per Na_{eq}^+	$< 1500 \text{ mg/l}$

La norma UNI EN 1008 classifica differenti tipologie di acque, indica i **controlli** ai quali vanno sottoposte e le **massime concentrazioni** ammissibili per poter essere usate come «acque di impasto per il cls».

 Le **acque potabili** possono essere utilizzate senza alcun tipo di controllo, mentre quelle **marine o salmastre** possono essere utilizzabili solo per cls senza armature o altri elementi metallici inglobati!

Tra i vari sali disciolti, quelli più pericolosi sono i **cloruri, i solfati e gli alcali**:

Concentrazione limite per Cl^-	$< 500 \text{ mg/l}$ (strutture in c.a.p.) $< 1000 \text{ mg/l}$ (strutture in c.a.) $< 4500 \text{ mg/l}$ (strutture in cls senza armatura)
Concentrazione limite per $\text{SO}_4^{=}$	$< 2000 \text{ mg/l}$
Concentrazione limite per Na_{eq}^+	$< 1500 \text{ mg/l}$

La norma UNI EN 1008 classifica differenti tipologie di acque, indica i **controlli** ai quali vanno sottoposte e le **massime concentrazioni** ammissibili per poter essere usate come «acque di impasto per il cls».

 Le **acque potabili** possono essere utilizzate senza alcun tipo di controllo, mentre quelle **marine o salmastre** possono essere utilizzabili solo per cls senza armature o altri elementi metallici inglobati!

Tra i vari sali disciolti, quelli più pericolosi sono i **cloruri, i solfati e gli alcali**:

Concentrazione limite per Cl^-	$< 500 \text{ mg/l}$ (strutture in c.a.p.) $< 1000 \text{ mg/l}$ (strutture in c.a.) $< 4500 \text{ mg/l}$ (strutture in cls senza armatura)
Concentrazione limite per $\text{SO}_4^{=}$	$< 2000 \text{ mg/l}$
Concentrazione limite per Na_{eq}^+	$< 1500 \text{ mg/l}$

La norma UNI EN 1008 classifica differenti tipologie di acque, indica i **controlli** ai quali vanno sottoposte e le **massime concentrazioni** ammissibili per poter essere usate come «acque di impasto per il cls».

 Le **acque potabili** possono essere utilizzate senza alcun tipo di controllo, mentre quelle **marine o salmastre** possono essere utilizzabili solo per cls senza armature o altri elementi metallici inglobati!

Tra i vari sali disciolti, quelli più pericolosi sono i **cloruri, i solfati e gli alcali**:

Concentrazione limite per Cl^-	$< 500 \text{ mg/l}$ (strutture in c.a.p.) $< 1000 \text{ mg/l}$ (strutture in c.a.) $< 4500 \text{ mg/l}$ (strutture in cls senza armatura)
Concentrazione limite per $\text{SO}_4^{=}$	$< 2000 \text{ mg/l}$
Concentrazione limite per Na_{eq}^+	$< 1500 \text{ mg/l}$

La norma UNI EN 1008 classifica differenti tipologie di acque, indica i **controlli** ai quali vanno sottoposte e le **massime concentrazioni** ammissibili per poter essere usate come «acque di impasto per il cls».

 Le **acque potabili** possono essere utilizzate senza alcun tipo di controllo, mentre quelle **marine o salmastre** possono essere utilizzabili solo per cls senza armature o altri elementi metallici inglobati!

Tra i vari sali disciolti, quelli più pericolosi sono i **cloruri, i solfati e gli alcali**:

Concentrazione limite per Cl^-	$< 500 \text{ mg/l}$ (strutture in c.a.p.) $< 1000 \text{ mg/l}$ (strutture in c.a.) $< 4500 \text{ mg/l}$ (strutture in cls senza armatura)
Concentrazione limite per $\text{SO}_4^{=}$	$< 2000 \text{ mg/l}$
Concentrazione limite per Na_{eq}^+	$< 1500 \text{ mg/l}$



DI
C
Ma
PI

Dipartimento
di Ingegneria Chimica,
dei Materiali e della
Produzione Industriale
Università degli Studi
di Napoli Federico II

Acqua di impasto per il cls

Requisiti per altre sostanze dannose

Sostanza	Contenuto massimo (mg/l)
Zuccheri	100
Fosfati, espressi come P_2O_5	100
Nitrati, espressi come NO_3^-	500
Piombo, espresso come Pb^{2+}	100
Zinco, espresso come Zn^{2+}	100



DI
C
Ma
PI

Dipartimento
di Ingegneria Chimica,
dei Materiali e della
Produzione Industriale
Università degli Studi
di Napoli Federico II

Aggregati per cls

UNI EN 12620:2008



In passato gli aggregati venivano chiamati «**inerti**»; questo nome è stato sostituito in quanto, pur non partecipando ai processi di presa ed indurimento, essi comunque interagiscono con la matrice cementizia e **contribuiscono alle caratteristiche sia del cls fresco che di quello indurito.**

NORMA
EUROPEA

Aggregati per calcestruzzo

UNI EN 12620

SETTEMBRE 2008

Aggregates for concrete

Versione italiana
del dicembre 2009

La norma specifica le proprietà degli aggregati e dei filler ottenuti dalla lavorazione di materiali naturali, artificiali o riciclati miscelati per essere utilizzati nella confezione di calcestruzzi che soddisfano i requisiti della UNI EN 206-1 compresi i calcestruzzi destinati alle pavimentazioni stradali e alla produzione di prefabbricati.



Funzioni degli aggregati

Gli aggregati occupano una consistente frazione volumetrica del calcestruzzo (dal 60% all'80%) e svolgono funzioni importanti:

- Fungono da **riempitivo** e quindi riducono la quantità di cemento necessaria, riducendo quindi i costi ed il calore di idratazione;
- Costituiscono lo **scheletro del cls**, contribuendo in modo determinante alle resistenze meccaniche;
- Aumentano la **stabilità dimensionale** del cls indurito, opponendosi al ritiro della pasta legante e riducendo le conseguenti fessurazioni;
- Determinano **altre proprietà** quali la lavorabilità, il modulo elastico, la resistenza all'abrasione, la durabilità.



Origine degli aggregati

- ✓ Nella maggior parte dei casi si utilizzano **aggregati naturali**: «aggregato di origine minerale che è stato sottoposto unicamente a lavorazione meccanica».
 - Estratti in blocchi da cave e poi opportunamente macinati (**pietrisco**);
 - Prelevati già con granulometria adatta all'impiego (**ghiaia-sabbia**) e quindi solamente da vagliare.
- ✓ Più raramente si utilizzano **aggregati industriali**: «aggregato di origine minerale derivante da un processo industriale che implica una modificazione termica o di altro tipo» (**es.:** loppa d'altoforno raffreddata lentamente e poi macinata).
- ✓ Tenuto conto della riduzione della disponibilità di cave per aggregati, e del conseguente aumento di costi per l'approvvigionamento, la normativa ha previsto, e regolamentato, anche l'utilizzo di **aggregati riciclati**: «aggregati risultanti dalla lavorazione di materiali precedentemente utilizzati in edilizia».



Alcuni requisiti geometrici

- *Dimensioni* -

Gli aggregati vengono classificati in base alla dimensione in due categorie principali:

Aggregati fini: particelle con $d \leq 4 \text{ mm}$ (principalmente sabbia naturale o sabbia frantumata);

Aggregati grossi: particelle con $d > 4 \text{ mm}$ (tipicamente ghiaia o pietrisco).

Oltre a questa suddivisione di base, vengono ulteriormente classificati attraverso intervalli granulometrici definiti dalla stessa norma. Alcuni esempi comuni di classi granulometriche sono:

- 0/4 mm → Sabbia
- 4/8 mm → Ghiaietto
- 8/16 mm → Ghiaia media
- 16/32 mm → Ghiaia grossa



La **distribuzione** delle dimensioni delle particelle degli aggregati è di fondamentale importanza nel *mix design* di un buon cls, soprattutto in relazione alla sua **lavorabilità**.



DI
C
Ma
PI

Dipartimento
di Ingegneria Chimica,
dei Materiali e della
Produzione Industriale
Università degli Studi
di Napoli Federico II

Alcuni requisiti geometrici

- Forma -

La forma delle particelle che costituiscono l'aggregato dipende sostanzialmente dalla sua provenienza, e può essere arrotondata, piatta e allungata, angolare, irregolare. Gli aggregati provenienti da frantumazione (**pietrisco**) hanno in genere forme irregolari, mentre quelli di origine alluvionale (**ghiaie**) hanno forme più tondeggianti.



Ciascuna forma influenza, seppur in maniera modesta, alcune caratteristiche del cls, sia allo stato fresco che indurito!



DI
C
Ma
PI

Dipartimento
di Ingegneria Chimica,
dei Materiali e della
Produzione Industriale
Università degli Studi
di Napoli Federico II

Alcuni requisiti fisici

- Porosità, densità e assorbimento acqua -

La porosità di un aggregato dipende dalla roccia da cui deriva e può variare da valori molto bassi (circa 2%, tipici delle **rocce ignee intrusive**) fino a valori molto elevati (10÷40 %, tipici dei **calcari** o delle **rocce vulcaniche**).

La porosità degli aggregati influenza le proprietà fisiche, chimiche, meccaniche e termiche di un cls; inoltre ne determina le **capacità di assorbimento d'acqua**.

Dalla % di H₂O assorbita, dipende anche la **resistenza dell'aggregato ai cicli gelo/disgelo!**



Se un aggregato poroso viene utilizzato «**asciutto**», può assorbire parte dell'acqua di impasto; se viene utilizzato «**bagnato**» può cedere acqua all'impasto: in entrambi i casi modifica il rapporto a/c previsto!

L'aggregato, soprattutto se fortemente poroso, deve dunque essere utilizzato «**saturo a superficie asciutta**» (*ssa*)



DI
C
Ma
PI

Dipartimento
di Ingegneria Chimica,
dei Materiali e della
Produzione Industriale
Università degli Studi
di Napoli Federico II

Alcuni requisiti fisici

- Porosità, densità e assorbimento acqua -

La **densità** è definita come il rapporto tra la massa ed il volume occupato dall'aggregato ed è una caratteristica fondamentale ai fini del dimensionamento del cls.

Quando si ha a che fare con aggregati porosi (caso piuttosto frequente) bisogna fare una distinzione tra il **volume «apparente»** di una particella ed il suo **volume «reale»** = volume apparente - volume dei pori.

Essendo $\delta = m/V$ si ha che:

$$V_{\text{app}} > V_{\text{reale}} \rightarrow \delta_{\text{app}} < \delta_{\text{reale}}$$

N.B. Nelle norme ci si riferisce alla δ_{app} ed in base ad essa si definiscono:

Aggregati leggeri	$\delta_{\text{app}} < 2000 \text{ kg/m}^3$
Aggregati normali	$\delta_{\text{app}} 2000 \div 3000 \text{ kg/m}^3$
Aggregati pesanti	$\delta_{\text{app}} > 3000 \text{ kg/m}^3$



Alcuni requisiti chimici

Se richiesto, per gli aggregati e filler per calcestruzzi deve essere valutato:

- Il contenuto di **ioni cloruro** idrosolubili;
- Il contenuto di **solfati** idrosolubili;
- Il contenuto di eventuali costituenti che alterano la velocità di presa ed indurimento del cls;
- L'eventuale **reattività degli aggregati in ambiente alcalino** (per ridurre il rischio di degrado da reazione alcali/silice).



DI
C
Ma
PI

Dipartimento
di Ingegneria Chimica,
dei Materiali e della
Produzione Industriale
Università degli Studi
di Napoli Federico II

Additivi per cls

UNI EN 934-2:2012

Parte 2: Additivi per calcestruzzo - Definizioni, requisiti, conformità, marcatura ed etichettatura



Sostanze, in genere di **natura sintetica**, che aggiunte in **piccole quantità** all'impasto (mai maggiore del 5% in massa rispetto al contenuto di cemento) migliorano le proprietà del calcestruzzo allo stato fresco o allo stato indurito.

- Fluidificanti e Superfluidificanti
- Acceleranti e ritardanti di presa
- Acceleranti di indurimento
- Aeranti

La norma UNI EN 934-2 si concentra sugli additivi che modificano le **proprietà reologiche** e **di indurimento** del cls.

- **Antimuffa**
- **Antiritiro**
- **Inibitori di corrosione**
- **Disarmanti**

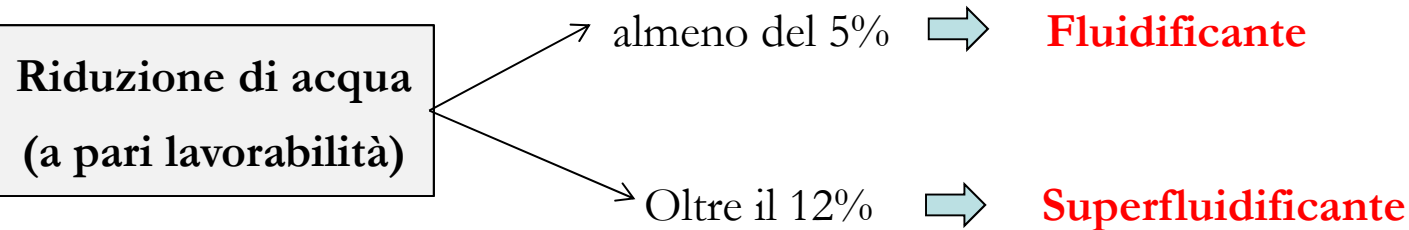
Sono considerati **additivi funzionali speciali**, spesso regolati da altre normative o standard specifici in base all'ambito di applicazione.



Additivi fluidificanti

Grazie all'aggiunta di tali additivi di **natura polimerica** è possibile:

- **Ridurre il rapporto a/c** senza influenzare la lavorabilità di un cls;
- **Aumentare la lavorabilità** di un cls senza modificare a/c;



- 3.2.2** **additivo riduttore di acqua/fluidificante:** Additivo che, senza influenzare la consistenza, permette di ridurre il contenuto di acqua di una data miscela di calcestruzzo o che, senza influenzare il contenuto di acqua, ne aumenta l'abbassamento al cono/spandimento o produce entrambi gli effetti simultaneamente.
- 3.2.3** **additivo riduttore di acqua ad alta efficacia/superfluidificante:** Additivo che, senza influenzare la consistenza, permette un'alta riduzione del contenuto di acqua di una determinata miscela di calcestruzzo o che, senza influenzare il contenuto di acqua, ne aumenta considerevolmente l'abbassamento al cono/spandimento o produce entrambi gli effetti simultaneamente.



DI
C
Ma
PI

Dipartimento
di Ingegneria Chimica,
dei Materiali e della
Produzione Industriale
Università degli Studi
di Napoli Federico II

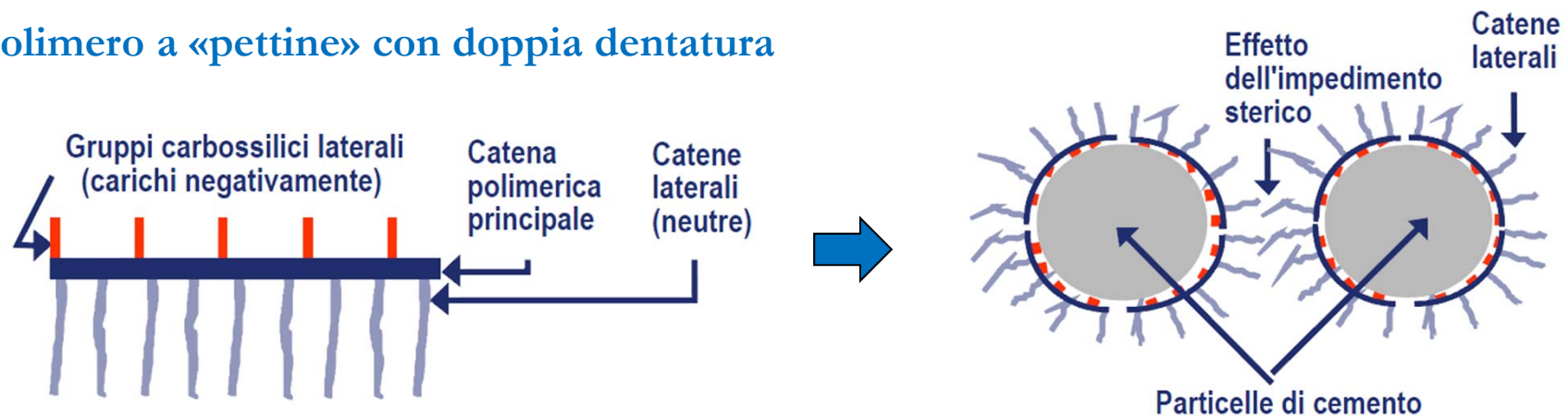
Additivi fluidificanti



Il principio su cui si basano è quello di aderire alla superficie dei grani di cemento ed esercitare **un'azione disperdente sui grani stessi**, in modo da incrementare la superficie a contatto diretto con l'acqua. Tale azione può essere esercitata mediante meccanismi di **repulsione elettrostatica** oppure **ingombro sterico**.

Esempio: uso di poli-carbossilati (**PC**) per ottenere una dispersione dei grani per **ingombro sterico**:

Polimero a «pettine» con doppia dentatura





DI
C
Ma
PI

Dipartimento
di Ingegneria Chimica,
dei Materiali e della
Produzione Industriale
Università degli Studi
di Napoli Federico II

Additivi acceleranti e ritardanti

Il comportamento a breve termine del cls può essere modificato con additivi che **modificano i tempi di presa** (acceleranti e ritardanti di presa) o le **velocità di indurimento iniziale** (acceleranti di indurimento).

Alcuni esempi....

Acceleranti di presa: confezionamento del «cls proiettato» (*spritz beton*), che si utilizza per il rivestimento delle gallerie o delle pareti degli scavi.

Ritardanti di presa: consentono di mantenere a lungo un conglomerato con una buona lavorabilità, esigenza molto utile quando il cls deve essere **trasportato a lunga distanza**. In aggiunta, **ritardano** anche **lo sviluppo di calore**.

Acceleranti di indurimento: aumentano la velocità di idratazione dei silicati, e quindi consentono di ottenere una Rc più elevata nei primi giorni dopo il getto. Sono molto utili nei **climi freddi**, per ridurre i tempi di stagionatura e garantire una **rapida entrata in servizio della costruzione**.

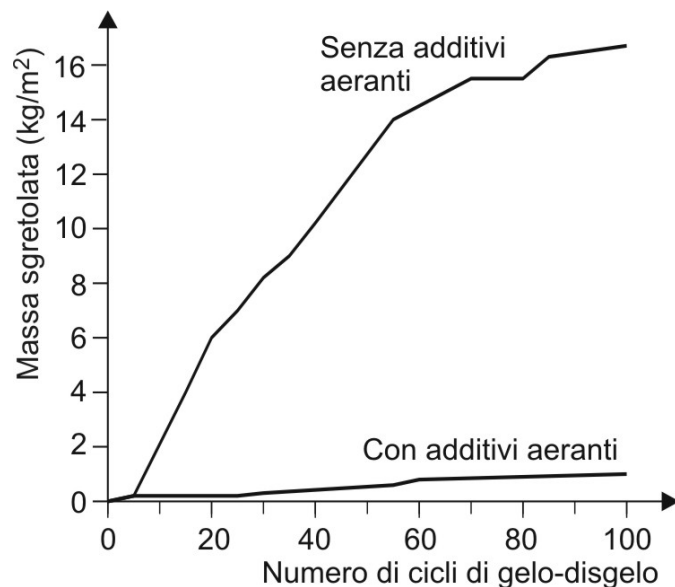


Additivi aeranti

Sono costituiti da sostanze (di origine sia naturale che di sintesi) che possiedono **caratteristiche tensioattive**, e che aggiunte in piccolissime quantità consentono la formazione di bolle d'aria di diametro compreso tra i 50 e 350 μm , per un volume variabile dal 4 al 6%.



La presenza di tali bolle d'aria **riduce il degrado** subito dal cls per effetto dei cicli di gelo-disgelo.



L'aria inglobata **riduce la R_c** del cls

