

# **Altri costituenti del Calcestruzzo**

Aggregati, Acqua, Additivi



# Il Calcestruzzo

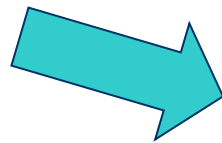
Il calcestruzzo è un materiale composito ottenuto miscelando, secondo rapporti opportuni, materiali lapidei grossi e fini (aggregati), cemento e acqua.

Oltre a questi componenti di base può contenere anche additivi e/o aggiunte specifiche.

## Impieghi



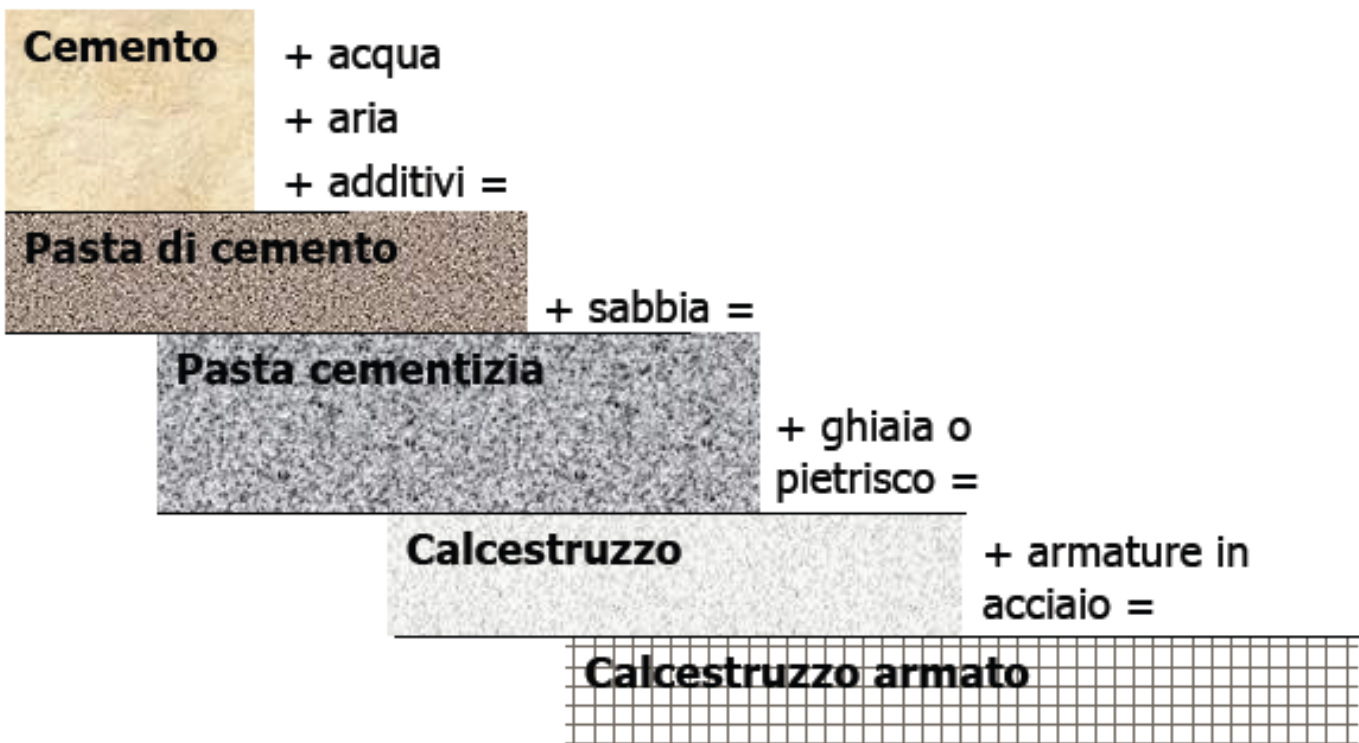
**Edilizia  
civile ed  
industriale**



**Infrastrutture**

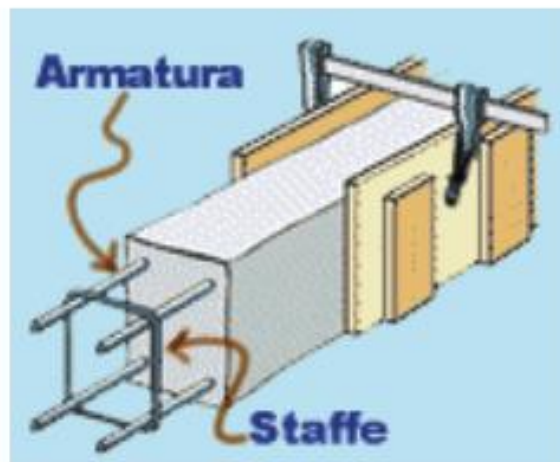


# I calcestruzzi, compositi da costruzione



## Il cemento armato

- ❑ Il cemento è molto fragile nelle sollecitazioni a trazione
- ❑ La fessurazione che si forma (cricca) si propaga molto velocemente
- ❑ In presenza di armatura metallica, lo sforzo di trazione viene trasferito alla trave metallica, che regge il carico
- ❑ L'acciaio è invece l'anello debole nei problemi di durabilità



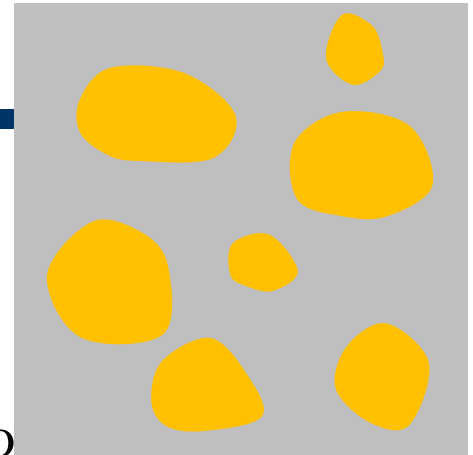
- ❑ Copriferro: distanza tra il ferro di armatura e la superficie esposta della gettata
- ❑ Distanza tra i ferri: influenza la qualità del cemento da utilizzare

# Il calcestruzzo

Calcestruzzo: materiale composito:

Matrice: cemento (legante)

Rinforzo: inerte (aggregato)



Matrice

Ingredienti:

Acqua + cemento (legante)



Matrice cementizia

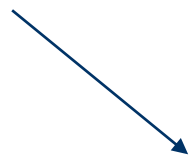
Inerte

Ingredienti:

sabbia+ ghiaia o pietrisco



Aggregato



Calcestruzzo

Acqua+ legante+inerte

# Funzione degli aggregati

- ✓ Fungono da riempitivo e quindi riducono la quantità di cemento necessaria (riducendo costi e 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, modulo elastico, resistenza all'abrasione, durabilità.

# Gli aggregati o inerti

Sostanze minerali che vengono aggiunte al calcestruzzo con diverse finalità:

- Migliorare le proprietà di rigidezza
- Abbassare i costi
- Ridurre i fenomeni di ritiro e riscaldamento

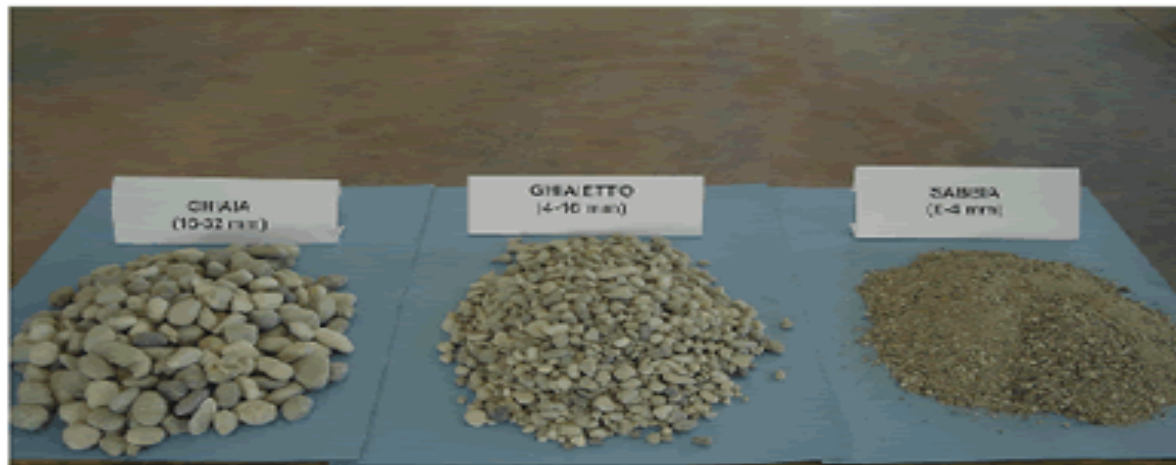
Il loro contenuto può essere aumentato entro certi limiti

Diversa natura:

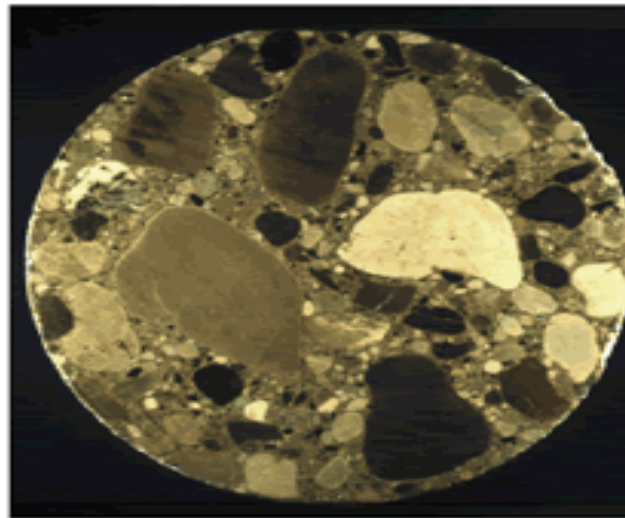
- Aggregati naturali: Rocce eruttive, Rocce sedimentarie, Rocce metamorfiche
- Aggregati artificiali
- Aggregati riciclati

Dimensioni

Sabbia	$D \leq 4$ mm	Aggregato fine
Ghiaia	$d \geq 4$ mm	Aggregato grosso di cava
Pietrisco	$d \geq 4$ mm	Aggregato grosso di frantumazione
Filler	$D < 0,063$ mm	Aggregato finissimo
d = dimensione più piccola D = dimensione più grande		



- Granulometrie di aggregati tipicamente adottati in un moderno calcestruzzo: ghiaia (16-32 mm); ghiaietto (4-16 mm); sabbia (0-4 mm)



Sezione di una colonna di calcestruzzo moderno con sabbia, ghiaietto e ghiaia incollati dal collante (acqua + cemento)

# Caratteristiche degli aggregati

- ✓ **Dimensione:** sono detti fini (sabbia) o grossi rispettivamente se passano o no per almeno il 95% a un vaglio con maglie di apertura 4 mm;
- ✓ **Forma:** può essere arrotondata, irregolare, piatta, angolare, piatta e allungata (coefficiente di forma);
- ✓ **Porosità:** dipende dal tipo di roccia da cui deriva (può variare da meno del 2% per le rocce intrusive ignee al 10-40% dei calcari e delle rocce vulcaniche), influenza molte proprietà (fisiche, meccaniche, durabilità);
- ✓ **Caratteristiche meccaniche:** le resistenze meccaniche dell'aggregato non influenzano quelle del cemento.
- ✓ **Tessitura superficiale:** particelle più rugose hanno migliori proprietà meccaniche (aumenta l'aderenza con la matrice) ma richiedono più acqua per avere la stessa lavorabilità

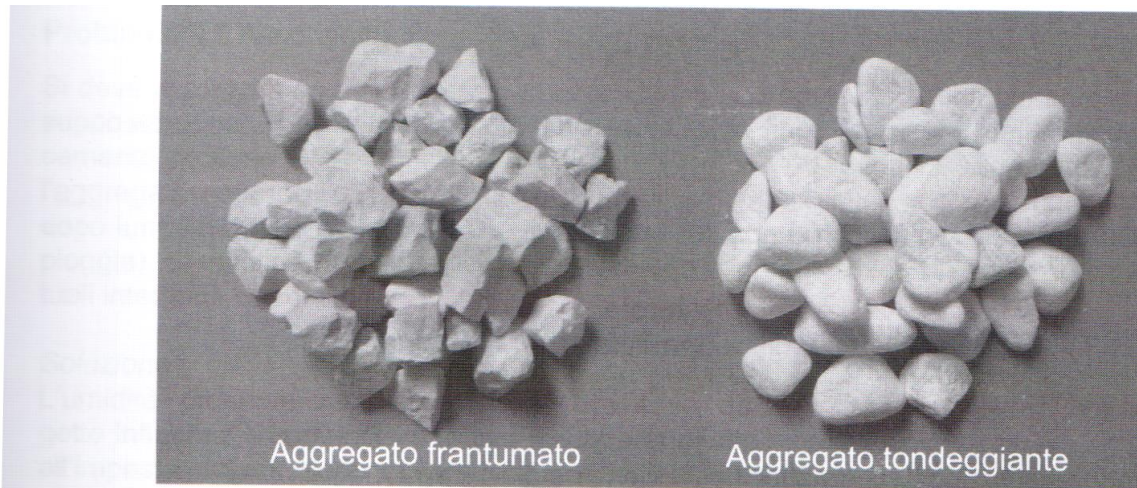
# Forma

Diverse norme permettono di classificare gli aggregati in base alla loro forma:

**UNI EN 933-3**: definisce la forma degli aggregati in base ad un indice di appiattimento;

**UNI EN 933-4**: Introduce un indice di forma.

La forma dell'aggregato dipende dal modo in cui si è formato; se è naturale di origine alluvionale avrà forma più arrotondata (Ghiaia), mentre gli aggregati di frantumazione, più irregolari, sono indicati come pietrisco.



**Fig. 8.1** Esempio di particelle di aggregato di frantumazione e di aggregato alluvionale tondeggiate.

# Umidità

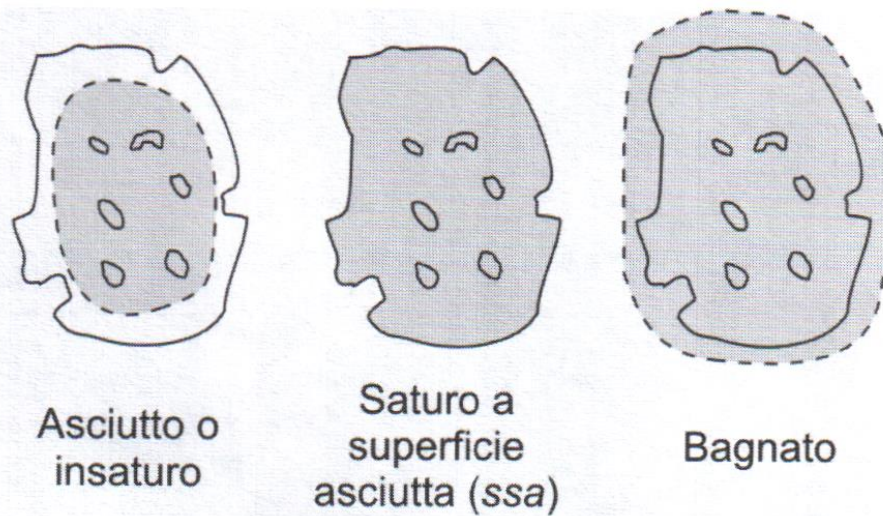
Un inerte ha al suo interno dei pori, sia aperti che chiusi.

Per le proprietà di lavorabilità sono molto importanti i pori aperti

Un inerte può essere:

1. *Asciutto o insaturo*, se i suoi pori aperti sono completamente o parzialmente privi di acqua
2. *Bagnato*, se tutti i pori aperti sono pieni di acqua e la superficie è ricoperta di acqua
3. *Saturo a superficie asciutta (ssa)*, se i suoi pori aperti sono completamente pieni di acqua, e la superficie è asciutta
  - ❖ *Assorbimento*: contenuto di umidità nell'inerte che determina la condizione di ssa.

# Umidità



**Fig. 8.2** Rappresentazione schematica dell'umidità negli aggregati.

# Densità

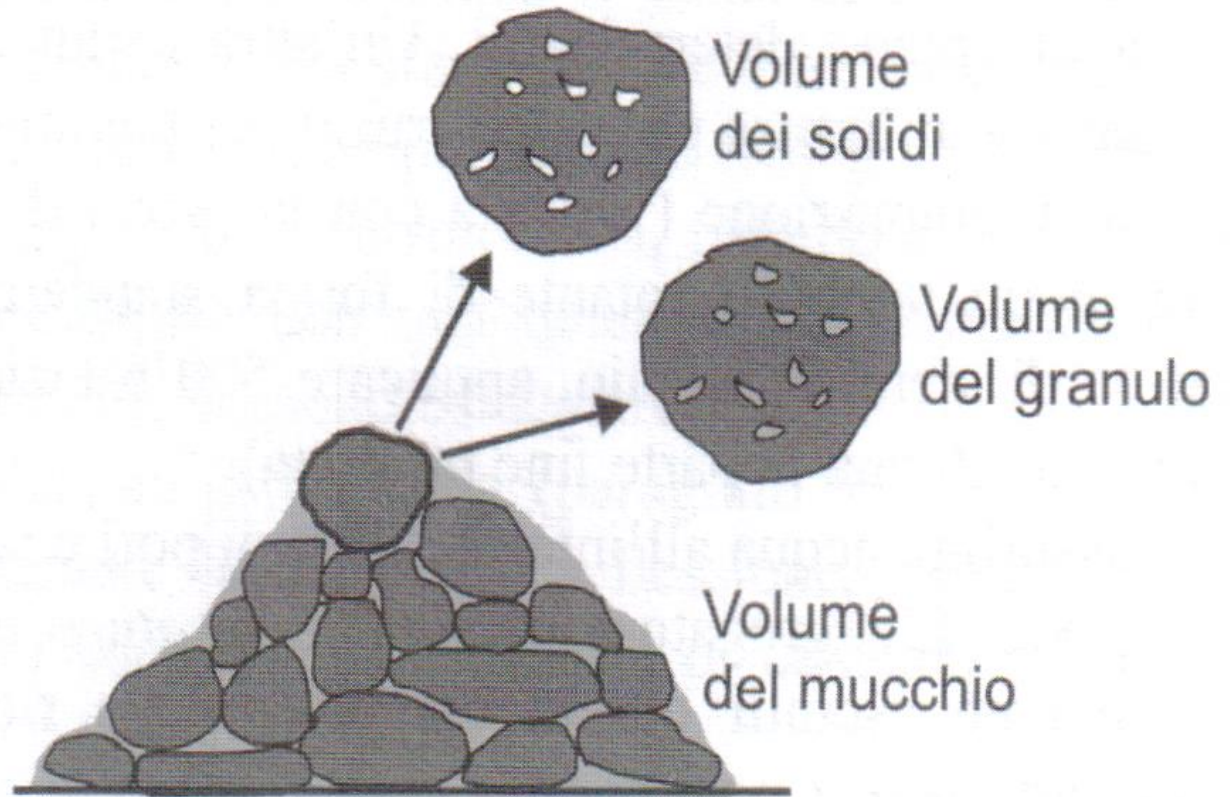
È definita come il rapporto tra la massa ed il volume occupato dall'aggregato; è una caratteristica fondamentale ai fini del proporzionamento del calcestruzzo. Si definiscono:

**Densità assoluta:** la massa per unità di volume dei solidi che costituiscono ogni particella con esclusione dei pori;

**Densità apparente:** la massa per unità di volume di ogni particella del materiale così come si presenta pori compresi. Secondo la norma UNI EN 206-1 si distinguono in leggeri ( $d < 2000 \text{ Kg/m}^3$ ), normali ( $d = 2000\text{-}3000 \text{ Kg/m}^3$ ) e pesanti ( $d > 3000 \text{ Kg/m}^3$ ).

**Densità in mucchio:** la massa contenuta in un volume unitario di materiale nello stato in cui effettivamente si trova prima dell'impiego, dato dalla somma del volume occupato dalle particelle e quello dei vuoti.

# Densità



**Fig. 8.3** Volumi considerati per la definizione della densità degli aggregati.

# Classificazione degli aggregati

Possono essere divisi in

**Aggregati di origine naturale:** derivano da attività estrattiva di cava e successivo processo di frantumazione per ottenere la giusta granulometria; oppure sono prelevati da depositi naturali di tipo alluvionale o glaciale che richiede solo vagliatura.

**Aggregati artificiali:** rientra in tale classe solo la loppa di altoforno lasciata raffreddare lentamente e dopo frantumata ed i prodotti di pellettizzazione delle ceneri volanti.

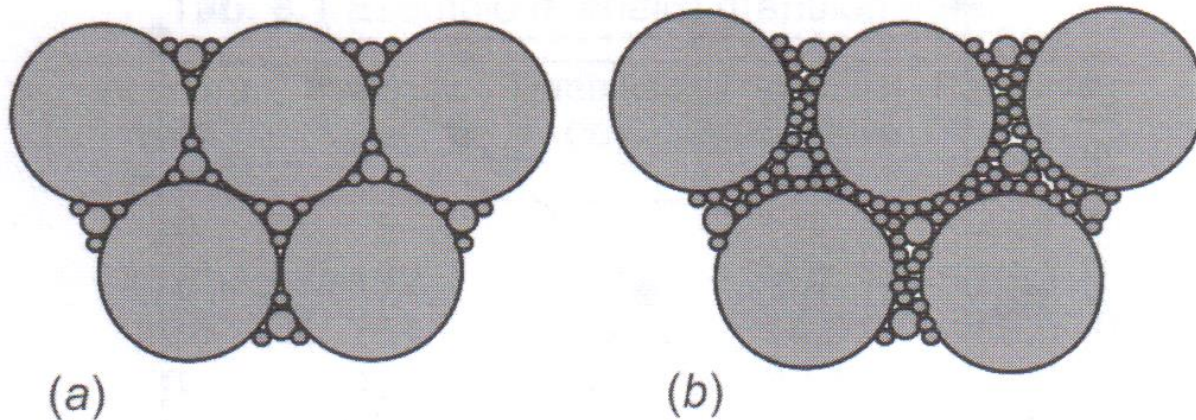
**Aggregati leggeri (UNI EN 206-1):** hanno densità apparente inferiore a  $2000 \text{ Kg/m}^3$ . sono materiali naturali ad elevato porosità o che sono stati sottoposti a trattamenti industriali che ne comportano la variazione di densità (**artificiali**). Esempi: *pomice, argilla espansa, vermiculite, perlite.*



# Assortimento granulometrico dell'inerte

L'inerte deve essere ben assortito: le diverse frazioni (pezzature), dalle più piccole alle più grandi, devono essere presenti nelle dovute proporzioni

1. Massimo impacchettamento
2. Migliore lavorabilità



**Fig. 8.5** Riempimento del volume con particelle di dimensioni diverse (a) ed effetto di un eccesso di fini rispetto alla distribuzione di massima densità (b).

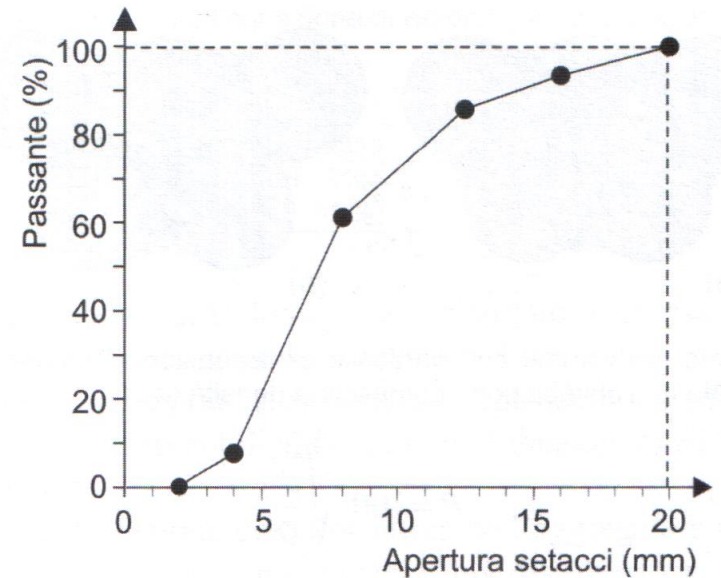
# Setacciatura

- Si posizionano dei setacci con apertura ( $W$ ) decrescente andando verso il basso
- Su ciascun setaccio di apertura  $W_i$  passano gli inerti che hanno diametro  $d < W_i$  e restano bloccati gli inerti per cui  $d > W_i$
- Su ciascun setaccio  $i$  viene raccolta una massa  $M_i$  di inerti di cui  $W_i < d < W_{i-1}$



**Tab. 8.1** Esempio di analisi granulometrica.

Apertura vagli (mm)	Trattenuto (g)	Trattenuto (%)	Trattenuto cumulativo (%)	Passante (%)
20	0	0	0	100
16	132	6.7	6.7	93.3
12.5	151	7.7	14.5	85.5
8	483	24.7	39.1	60.9
4	1049	53.6	92.7	7.3
2	140	7.2	99.9	0.1
1	2	0.1	100	0
0.5	0	0	100	0
0.25	0	0	100	0
0.125	0	0	100	0
<0.063	0	0	100	0



**Fig. 8.4** Curva granulometrica relativa all'analisi riportata in Tab. 8.1.

# Distribuzioni ideali

Nel definire una distribuzione granulometrica ottimale degli inerti si possono considerare due obiettivi:

1. Minimizzare il volume dei vuoti tra le particelle di inerte, in modo da rendere minimo il contenuto di cemento
2. Garantire la massima lavorabilità del calcestruzzo fresco

Massimo impacchettamento: curva di FULLER. Calcestruzzi molto asciutti

Migliore lavorabilità: curva di BOLOMEY Il parametro A tiene conto della lavorabilità

A	Terra umida	Plastica semifluida	Fluida-superfluida
Aggregati alluvionali	8	10	12
Aggregati frantumati	10	12	14

$$P(d) = 100 \sqrt{\frac{d}{D_{\max}}}$$

$$P(d) = A + (100 - A) \sqrt{\frac{d}{D_{\max}}}$$

# Altre proprietà dell'aggregato

## CARATTERISTICHE CHIMICO-MINERALOGICHE

Alcune sostanze devono essere mantenute entro certi limiti, perché riducono la durabilità del calcestruzzo. Le sostanze indesiderate possono:

1. Rallentare le reazioni di idratazione (sostanze organiche)
2. Depositarsi sulla superficie degli aggregati riducendo l'adesione alla matrice (argille)
3. Avere scarse caratteristiche meccaniche (carbone, mica)
4. Causare reazioni espansive (solfati o silici reattive ad alcali)
5. Causare problemi di corrosione (cloruri)

# Acqua di impasto

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, influenzando le proprietà meccaniche.

I principali sali disciolti sono:

Carbonati  $\text{CO}_3^{=}$

Bicarbonati  $\text{HCO}_3^-$

Solfati  $\text{SO}_4^{=}$

Cloruri  $\text{Cl}^-$

Altri ioni (calcio, sodio, potassio)

Normalmente sono in quantità totale inferiori a 1000 ppm e tenendo conto dei rapporti a/c (tra 0,4 e 0,6), il tenore dei solidi che entra nel cemento tramite l'acqua è pari allo 0,2-0,3% del peso totale.

Per i cloruri la concentrazione deve essere  $< 500$  ppm nei cls armati

**(Normativa UNI EN 1008)**

# Additivi

Vengono aggiunti al calcestruzzo, durante la miscelazione in quantità mai superiori al 5% in peso, per modificare alcune caratteristiche sia del cls fresco che indurito.

Ad esempio gli additivi fluidificanti possono:

1. rendere più lavorabile l'impasto a parità di a/c;
2. diminuire il rapporto a/c a parità di lavorabilità (aumento delle resistenze meccaniche).

Il principio sui cui si basa la loro azione è quello di esercitare un'azione disperdente sui grani di cemento, sono molecole che si adsorbono sulla superficie dei grani ed esercitano un'azione repulsiva, allontanando i grani (i prodotti più usati sono polimerici).C

# Additivi

Migliorano specifiche proprietà del getto in base a determinate esigenze

## Acceleranti

- ✓ Migliorano lo sviluppo delle proprietà a tempi brevi. Il genere, non hanno influenza sulle proprietà a lungo termine. Applicazioni tipiche: getti in clima freddo.
- ✓ Acceleranti di presa: è richiesto che il tempo di inizio presa a 5°C sia pari al massimo al 60% del cemento senza additivo. Il tempo di inizio presa a 20°C deve comunque essere maggiore di 30 minuti
- ✓ Acceleranti di indurimento: trietanolamina, formiato di calcio. La resistenza dopo 24 ore a 20°C deve essere il 20% in più rispetto al calcestruzzo senza additivo. Dopo 48 ore a 5°C deve essere il 30% in più. Dato che in genere la loro presenza comporta una riduzione della resistenza finale, si richiede che la resistenza dopo 28 giorni sia pari almeno al 90% del cemento senza additivo

## Ritardanti di presa

- ✓ Hanno funzione opposta rispetto agli acceleranti. Utilizzati per getti massivi o in clima caldo. Viene richiesto che il tempo di inizio e fine presa siano 90 minuti e 4 ore maggiori rispetto a quelli di un cemento senza additivo

# Additivi

## Aeranti

1. Formano bolle d'aria all'interno della malta indurita, migliorando la resistenza ai cicli di gelo-disgelo
2. La presenza di bolle d'aria favorisce la lavorabilità

## Fluidificanti / superfluidificanti

1. A parità di contenuto di acqua, aumentano le proprietà di flusso del materiale
2. A parità di lavorabilità, riducono il contenuto di acqua
3. Diventano possibili anche getti di forme molto complesse e sezioni sottili
4. Sono in genere polimeri, assorbiti sulla superficie delle particelle, aumentando le forze repulsive tra particelle, impedendone l'aggregazione

