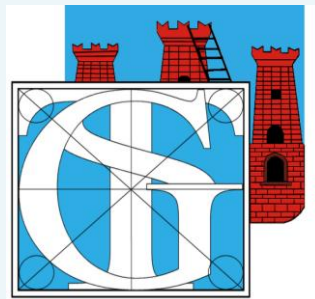
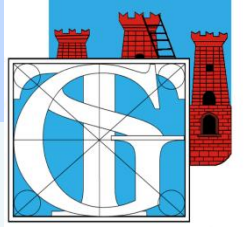


IL MIX DESIGN : PROGETTO DELLA MISCELA CALCESTRUZZO





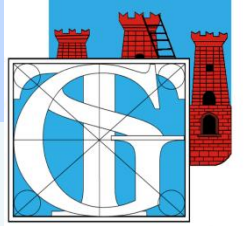
MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

Il **mix-design**, letteralmente progetto della miscela, è il procedimento per il calcolo della composizione del calcestruzzo (in termini di quantità di cemento, di acqua e di inerti per m^3 di calcestruzzo).

Per ottenere un calcestruzzo con buone qualità specifiche, sia la norma **UNI EN 206-1** che la norma **UNI 11104**, stabiliscono le **CONDIZIONI MINIME OPERATIVE** che i progettisti devono adottare per prescrivere un materiale con le caratteristiche prestazionali richieste.

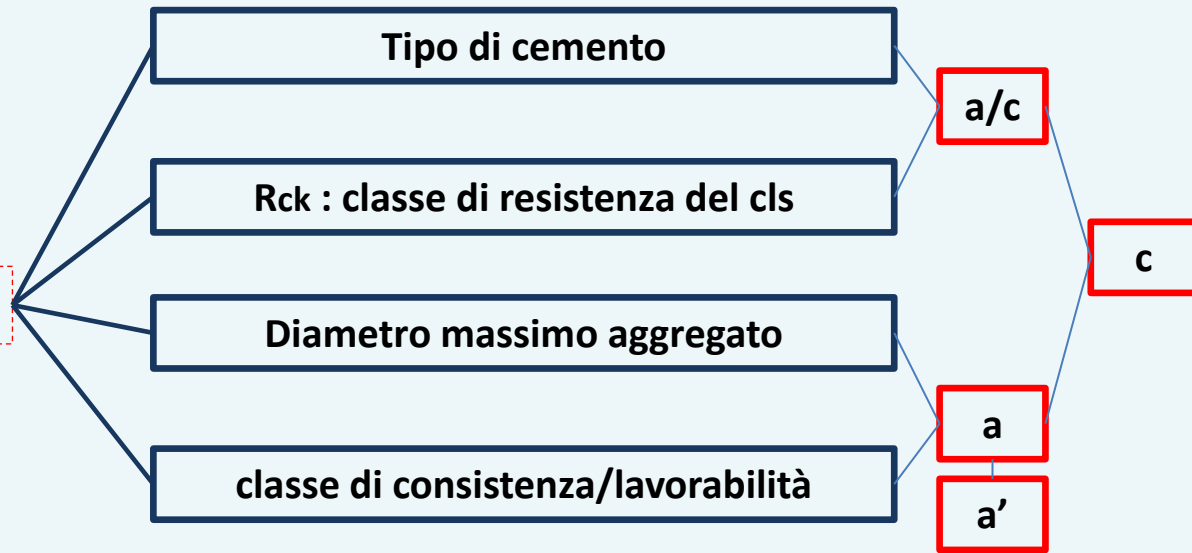
Il progettista, deve indicare, in modo chiaro ed inequivocabile, i seguenti dati:

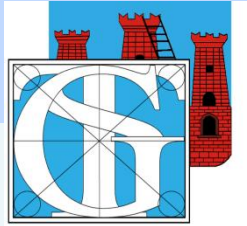
- *resistenza caratteristica* R_{ck} [espressa in N/mm^2] o classe di resistenza del calcestruzzo;
- *diametro massimo dell'aggregato* D_{max} [espresso in mm];
- *classe di consistenza* del calcestruzzo fresco;
- *classe di esposizione ambientale*;
- eventuali altre caratteristiche od aggiunte per getti particolari



MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

DATI IN INGRESSO





MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

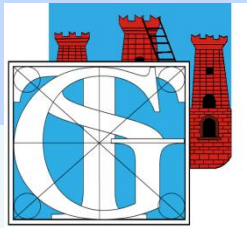
1

LAVORABILITA' DEL CALCESTRUZZO e SLUMP TEST

Lavorabilità del calcestruzzo è la capacità che esso possiede di assumere la forma del recipiente che lo contiene, normalmente il cassero. Ovviamente la lavorabilità deve essere scelta in funzione delle caratteristiche della struttura e dei metodi di compattazione e verificata al momento del getto in cantiere. La lavorabilità di un impasto è molto importante anche per il lavoro che si deve spendere durante la posa e la compattazione. Il procedimento più usato soprattutto in cantiere è lo **SLUMP TEST** il quale suddivide gli impasti in cinque classi basandosi sulla misura dell'abbassamento al **cono di Abrams** del calcestruzzo fresco per effetto del peso proprio:



| Classe di consistenza | Abbassamento | Denominazione corrente | Applicazioni |
|-----------------------|--------------|------------------------|--|
| S1 | da 10 a 40 | UMIDA | vibrofinitrici |
| S2 | da 50 a 90 | PLASTICA | casseri rampanti |
| S3 | da 100 a 150 | SEMIFLUIDA | scivoli e tetti |
| S4 | da 160 a 210 | FLUIDA | strutture debolmente armate |
| S5 | > di 210 | SUPERFLUIDA | strutture fortemente armate, getti orizzontali |



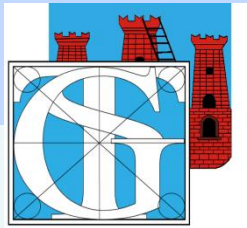
MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

INDIVIDUAZIONE DELLA CLASSE DI CONSISTENZA

La consistenza influisce in maniera fondamentale sulla resistenza del calcestruzzo indurito. E' pertanto necessario stabilire il suo valore a monte del progetto della miscela.

| CONSISTENZA PER TIPO DI COSTRUZIONE | | |
|---|--------------|--------------|
| TIPO DI COSTRUZIONE | SLUMP cm. | CONSISTENZA |
| fondazioni e pavimentazioni | 5-10 | plastica |
| costruzioni massicce | 0-5 | umida |
| opere comuni in cemento armato | 10-15 | fluida |
| opere sottili e/o con armatura molto densa | > 15 | molto fluida |

| CONSISTENZA PER TIPO DI COSTIPAMENTO | | |
|--------------------------------------|--------------|--------------|
| COSTIPAMENTO | SLUMP cm. | CONSISTENZA |
| forte vibrazione | 0-5 | umida |
| vibrazione comune | 5-10 | plastica |
| costipamento a mano | 10-15 | fluida |
| costipamento leggero | > 15 | molto fluida |



MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

2

TIPI DI CEMENTO

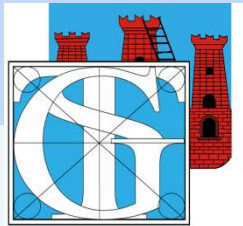
I **cementi Tipo I** (CEM I) "**Cementi Portland**" sono costituiti almeno per il 95% da clinker e in misura variabile da 0 a 5% da costituenti minori. Sono generalmente utilizzati nella prefabbricazione di calcestruzzi armati semplici e precompressi (ideali per contrastare il fenomeno della **carbonatazione in quanto ricchi di idrossido di calcio**). (9%)

I **cementi Tipo II** (CEM II) "**Cementi Portland Compositi**", hanno come costituenti principali oltre al clinker, presente in percentuale variabile dal 65 al 94%, le loppe granulate d'altoforno, la silice fume, le pozzolane, le ceneri volanti, scisti calcinati e calcare. Hanno proprietà molto simili a quelle dei CEM I che li rendono idonei ai più comuni impieghi nella realizzazione di **calcestruzzi armati normali e precompressi**, di elementi prefabbricati. (64%)

I **cementi Tipo III** (CEM III) "**Cementi d'altoforno**", sono costituiti da clinker fino al 64%, e loppa granulata basica d'alto forno. Questo tipo è articolato in tre sottotipi con contenuti di loppa variabile dal 36% al 95%. Rispetto al cemento Portland, i CEM III sono principalmente indicati nelle situazioni in cui il calcestruzzo è soggetto ad ambienti chimicamente aggressivi **e per la realizzazione di opere di grosse dimensioni**.

I **cementi Tipo IV** (CEM IV) "**Cementi pozzolanici**", sono costituiti da clinker tra il 45 e 89%, e materiale pozzolanico naturale o artificiale. In base alla percentuale di materiale pozzolanico, variabile dal 11% al 55%, sono articolati in due sottotipi. **Presentano una elevata resistenza all'attacco chimico**. Resistenti all'azione dei sali disgelanti. (10%)

I **cementi Tipo V** (CEM V) "**Cementi Compositi**" sono costituiti da una miscela di clinker, loppa d'altoforno e pozzolana e sono adatti a realizzare calcestruzzi esposti ad ambienti mediamente aggressivi quali **acqua di mare**, acque acide, terreni **sofatici**, etc. (8%)



MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

| Tipo di cemento | Denominazione | Sigla | Clinker K | Loppa d'altofor- no gra- nolata S | Micro- silice D ³⁾ | Pozzolana | | Cenere volante | | Scisto calcinato T | Calcare L | Costituenti secondari ²⁾ | |
|--------------------------------|---|--------|----------------------------------|---|-------------------------------------|-------------------|--------------------------------|----------------|--------------|--------------------------|--------------|--|-----|
| | | | | | | naturale P | industriale Q ⁴⁾ | silicica V | calcica W | | | | |
| I | Cemento Portland | I | 95-100 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0-5 | |
| II | Cemento Portland alla loppa | II/A-S | 80-94 | 6-20 | - | - | - | - | - | - | - | 0-5 | |
| | | II/B-S | 65-79 | 21-35 | - | - | - | - | - | - | - | 0-5 | |
| | Cemento Portland alla microsilice | II/A-D | 90-94 | - | 6-10 | - | - | - | - | - | - | 0-5 | |
| | Cemento Portland alla pozzolana | II/A-P | 80-94 | - | - | 6-20 | - | - | - | - | - | - | 0-5 |
| | | II/B-P | 65-79 | - | - | 21-35 | - | - | - | - | - | - | 0-5 |
| | | II/A-Q | 80-94 | - | - | - | 6-20 | - | - | - | - | - | 0-5 |
| | | II/B-Q | 65-79 | - | - | - | 21-35 | - | - | - | - | - | 0-5 |
| | Cemento Portland alle ceneri volanti | II/A-V | 80-94 | - | - | - | - | 6-20 | - | - | - | - | 0-5 |
| | | II/B-V | 65-79 | - | - | - | - | 21-35 | - | - | - | - | 0-5 |
| | | II/A-W | 80-94 | - | - | - | - | - | 6-20 | - | - | - | 0-5 |
| | Cemento Portland allo scisto calcinato | II/B-W | 65-79 | - | - | - | - | - | 21-35 | - | - | - | 0-5 |
| | | II/A-T | 80-94 | - | - | - | - | - | - | 6-20 | - | - | 0-5 |
| | Cemento Portland al calcare | II/B-T | 65-79 | - | - | - | - | - | - | 21-35 | - | - | 0-5 |
| | | II/A-L | 80-94 | - | - | - | - | - | - | - | 6-20 | - | 0-5 |
| Cemento Portland al calcare | II/B-L | 65-79 | - | - | - | - | - | - | - | 6-20 | - | 0-5 | |
| | Cemento Portland composito | II/A-M | 80-94 | <-----6-20 ⁵⁾ -----> | | | | | | | | 0-5 | |
| II/B-M | | 65-79 | <-----21-35 ⁵⁾ -----> | | | | | | | | 0-5 | | |
| III | Cemento d'altoforno | III/A | 35-64 | 36-65 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0-5 |
| | | III/B | 20-34 | 66-80 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0-5 |
| | | III/C | 5-19 | 81-95 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0-5 |
| IV | Cemento pozzolanico | IV/A | 65-89 | - | <-----11-35-----> | | | | - | - | - | 0-5 | |
| | | IV/B | 45-64 | - | <-----36-55-----> | | | | - | - | - | 0-5 | |
| V | Cemento composito | V/A | 40-64 | 18-30 | - | <-----18-30-----> | | | | - | - | - | 0-5 |
| | | V/B | 20-39 | 31-50 | - | <-----31-50-----> | | | | - | - | - | 0-5 |

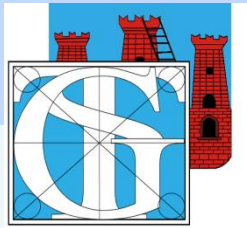
1) I valori del prospetto si riferiscono al nucleo del cemento, escludendo solfato di calcio e gli additivi.

2) I costituenti secondari possono essere filler oppure uno o più costituenti principali, sempre che questi non siano inclusi come costituenti principali nel cemento.

3) La proporzione di microsilice è limitata al 10%.

4) La proporzione di loppa non ferrosa è limitata al 15%.

5) La proporzione di filler è limitata al 5%.



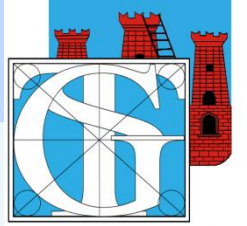
MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

La **resistenza normalizzata** di un cemento è la resistenza a compressione a 28 giorni determinata secondo **EN 196-1**.

Le classi di resistenza normalizzata considerate sono 3 :

- classe **32,5**
- classe **42,5**
- classe **52,5**

| cemento | Scadenza | Resistenza (MPa) |
|--------------------------|-----------|------------------|
| Cemento Tipo 32,5 | 1 giorno | - |
| | 3 giorni | - |
| | 7 giorni | 17,5 |
| | 28 giorni | 32,5 |
| Cemento Tipo 42,5 | 1 giorno | - |
| | 3 giorni | 17,5 |
| | 7 giorni | 32,5 |
| | 28 giorni | 42,5 |
| Cemento Tipo 52,5 | 1 giorno | 17,5 |
| | 3 giorni | 32,5 |
| | 7 giorni | - |
| | 28 giorni | 52,5 |



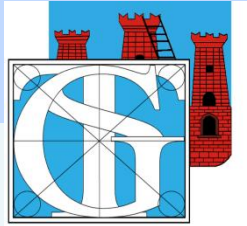
MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

3

LA CLASSE DI RESISTENZA DEL CALCESTRUZZO

La classe di resistenza di ogni singolo elemento di un'opera viene stabilita in base alle esigenze strutturali, *in funzione delle azioni agenti su di essa*. La classe di resistenza, utilizzata nelle verifiche di calcolo, deve soddisfare il requisito minimo imposto dalla prescrizione della durabilità e della classe di esposizione.

| CLASSE DI RESISTENZA | CATEGORIA CALCESTRUZZO | PRESCRIZIONI PARTICOLARI |
|----------------------|------------------------|---|
| C 8/10 | non strutturale | Nessuna |
| C 12/15 | | |
| C 16/20 | | |
| C 20/25 | Ordinario | Obbligo Certificazione FPC se prodotto all'esterno del cantiere |
| C 25/30 | | |
| C 28/35 | | |
| C 32/40 | | |
| C 35/45 | | |
| C 40/50 | | |
| C 45/55 | | |
| C 50/60 | Alte Prestazioni | Obbligo di sperimentazione preventiva + Certificazione FPC |
| C 55/67 | | |
| C 60/75 | | |
| C 70/85 | Alta Resistenza | Obbligo di sperimentazione e autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici |
| C 80/95 | | |
| C 90/105 | | |



MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

4

Determinazione del DIAMETRO MASSIMO DELL' AGGREGATO

$$D_{\max} = \text{minimo} (1,25c; 0,25 s; d_{\text{ferri}} - 5\text{mm})$$

1,25 c (copriferro)

0,25 s (dimensione minima della struttura)

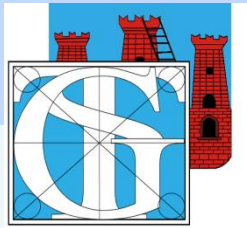
Distanza minima dei ferri – 5 mm

D_{\max}

Classe di esposizione

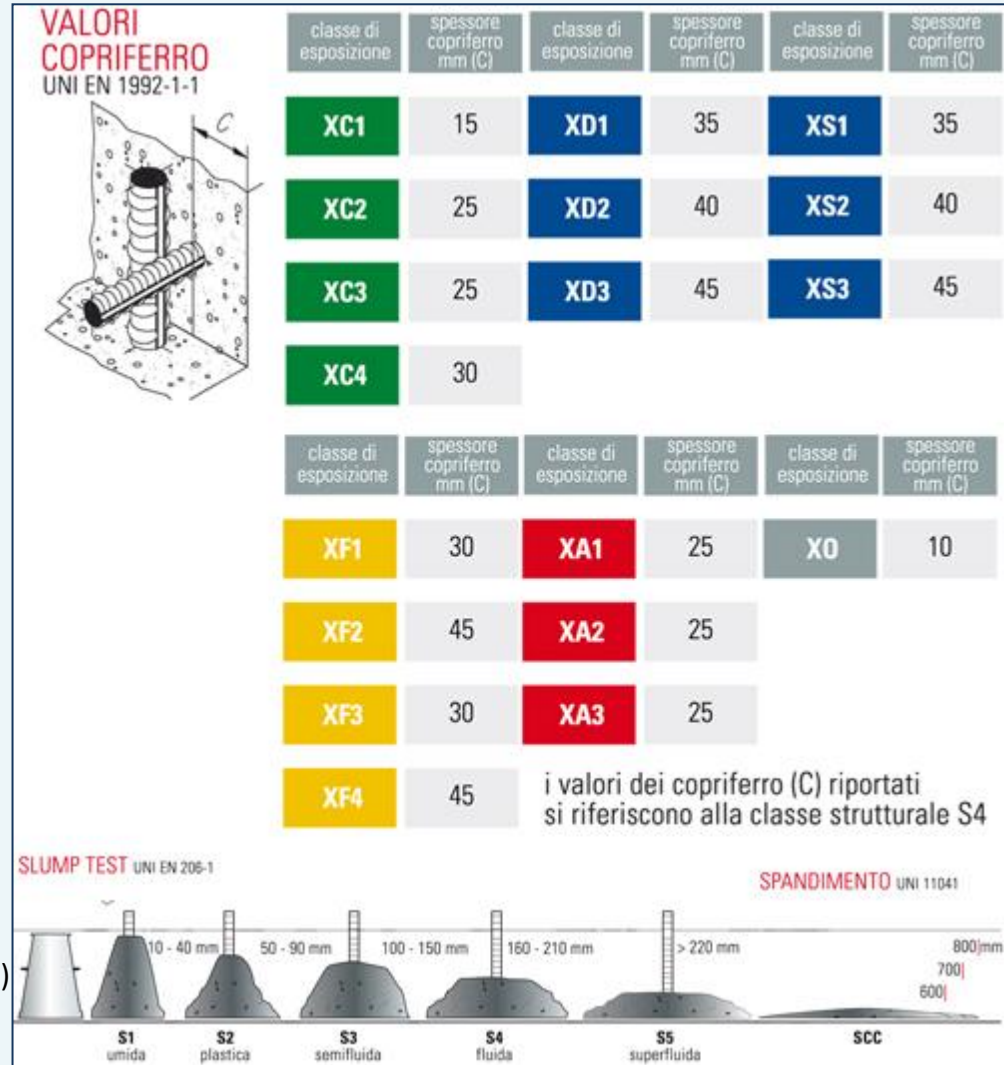
In alternativa si può estrapolare il valore del diametro massimo dell'aggregato facendo riferimento alla seguente tabella:

| Dimensione minima della sezione mm. | DIAMETRO MASSIMO INERTE (mm.) | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------|---------------------|--------------------|
| | Pareti armate travi e pilastri | Pareti non armate | Lastre molto armate | Lastre poco armate |
| 50-120 | 15-20 | 20 | 20-25 | 20-40 |
| 150-300 | 20-40 | 40 | 40 | 40-80 |
| 300-750 | 40-70 | 70 | 40-70 | 70 |

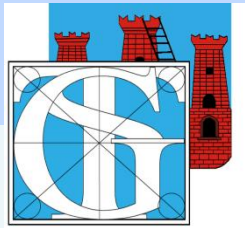


MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

Le classi di esposizione descrivono l'influenza dell'ambiente sul calcestruzzo indurito. Il calcestruzzo può essere esposto a diversi agenti e ciò si deve tradurre in una combinazione delle classi di esposizione.



- **O** : **rischio zero** (nessun rischio di corrosione o di aggressione)
- **C** : **Carbonation** = carbonatazione (corrosione dovuta a carbonatazione)
- **D** : **Deicing salt** = sale scongelante (corrosione dovuta a cloruri)
- **S** : **Seawater** = acqua marina (corrosione dovuta ad acqua marina)
- **F** : **Frost** = gelo (aggressione del gelo con o senza sali scongelanti)
- **A** : **Chemical Attack** (attacco chimico)



MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

XC CORROSIONE DA CARBONATAZIONE

| | |
|------------|------------------------------------|
| XC1 | asciutto o permanentemente bagnato |
| XC2 | bagnato, raramente asciutto |
| XC3 | umidità moderata |
| XC4 | ciclicamente bagnato ed asciutto |

XD CORROSIONE INDOTTA DA CLORURI ECLUSI QUELLI PROVENIENTI DALL'ACQUA DI MARE

| | |
|------------|----------------------------------|
| XD1 | umidità moderata |
| XD2 | bagnato raramente asciutto |
| XD3 | ciclicamente bagnato ed asciutto |

XS CORROSIONE INDOTTA DA CLORURI PRESENTI NELL'ACQUA DI MARE

| | |
|------------|--|
| XS1 | esposto a nebbia salina ma non in contatto con acqua di mare |
| XS2 | permanentemente sommerso |
| XS3 | esposto alle onde o alla marea |

XF ATTACCO GELO/DISGELO CON O SENZA SALI DISGELANTI

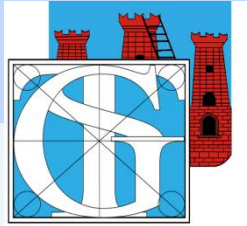
| | |
|-------------------------|---|
| XF1[□] | moderata saturazione d'acqua senza impiego di agente antigelo |
| XF2^{□Δ} | moderata saturazione d'acqua con impiego di agente antigelo |
| XF3^{□Δ} | elevata saturazione d'acqua senza agente antigelo |
| XF4^{□Δ} | elevata saturazione d'acqua con agente antigelo o acqua di mare |

XA AMBIENTI CHIMICI AGGRESSIVI

| | |
|-------------------------|---|
| XA1 | ambiente chimico debolmente aggressivo |
| XA2^{□□} | ambiente chimico moderatamente aggressivo |
| XA3^{□□} | ambiente chimico fortemente aggressivo |

XO ASSENZA DI RISCHIO DI CORROSIONE O ATTACCO

| | |
|-----------|-------------------|
| X0 | ambiente asciutto |
|-----------|-------------------|

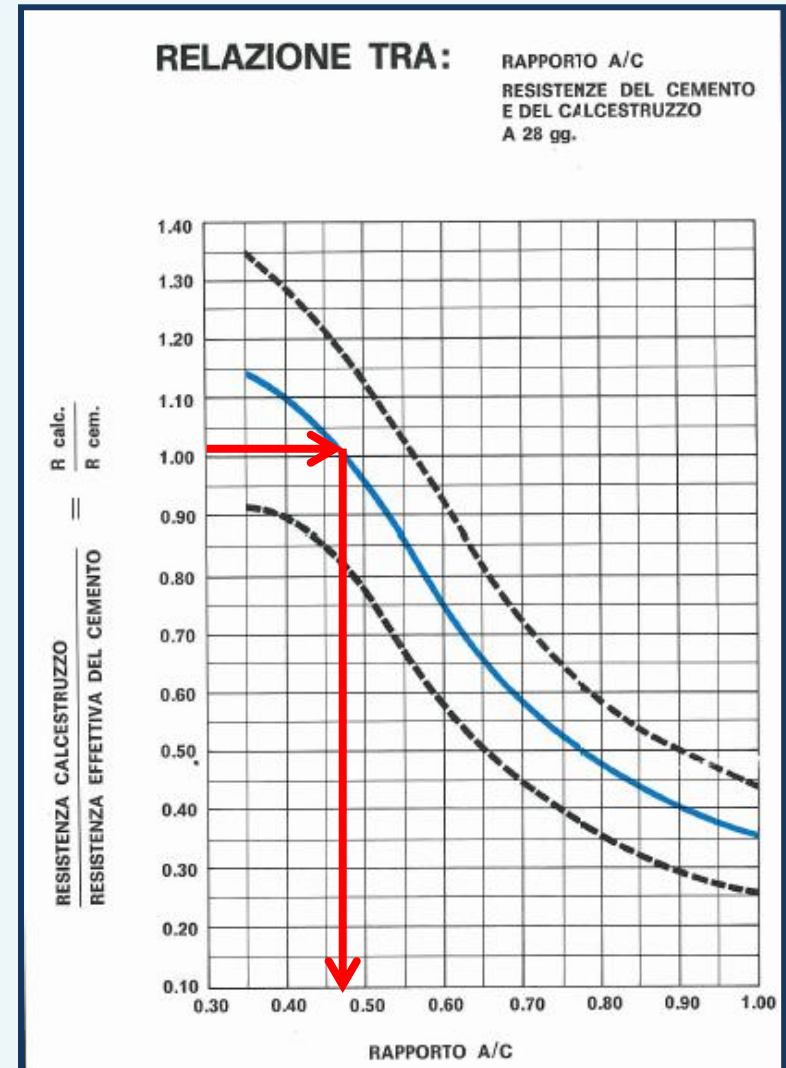


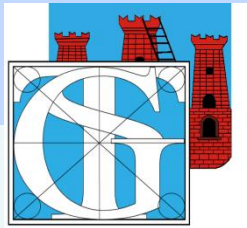
MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO – il rapporto a/c

Determinazione del rapporto a/c (acqua/cemento)

Si entra nel grafico con il rapporto R_{calc}/R_{cem} e si ricava il rapporto **acqua/cemento** sull'asse delle ascisse. Tra le due curve tratteggiate è compreso il 95% di tutti i valori delle prove sperimentali.

Se si vuol realizzare un calcestruzzo avente **resistenza media** pari a 36 MPa si può utilizzare un cemento di tipo 32,5 R avente una resistenza "effettiva" pari a 35 MPa. Effettuando il rapporto R_{calc}/R_{cem} avremo un valore pari a 1,03 sull'asse delle ordinate del grafico a fianco.



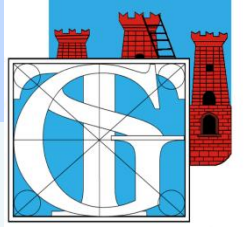


MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO – dosaggio di acqua e aria

Determinazione del dosaggio di acqua di impasto e dell'aria intrappolata

Dalla letteratura scientifica e sperimentale noto il valore dello slump e il diametro massimo dell'aggregato, è possibile risalire al valore del **dosaggio di acqua di impasto** (a) e al **volume di aria intrappolata** (a') attraverso la seguente tabella:

| Consistenza UNI | Slump mm | Dosaggio d'acqua di impasto (l/m ³) in funzione del D _{max} dell'aggregato (mm) | | | |
|---------------------------------------|-------------|---|-------|-------|-------|
| | | 10 mm | 16 mm | 25 mm | 40 mm |
| Rigida | 0 | < 180 | < 170 | < 160 | < 150 |
| Umida | 10-40 | 195 | 180 | 170 | 160 |
| Plastica | 50-90 | 215 | 200 | 190 | 180 |
| Semifluida | 100-150 | 230 | 215 | 205 | 195 |
| Fluida | 160-200 | 240 | 225 | 215 | 205 |
| Superfluida | > 210 | 250 | 235 | 225 | 215 |
| Aria intrappolata (l/m ³) | | 3 | 2,5 | 2 | 1,5 |



MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO – dosaggio di cemento

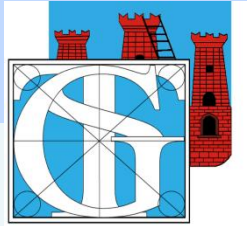
Determinazione del dosaggio di cemento

$$c = a / (a/c)$$

Dalla tabella

Dal grafico

Il valore così ottenuto dovrebbe essere confrontato con un valore limite funzione della classe di esposizione. Infatti se il dosaggio di cemento è eccessivo si potrebbe sviluppare un calore di idratazione elevato con conseguente ritiro del manufatto. In tal caso si può intervenire con l'aggiunta di fluidificanti/superfluidificanti.



MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO – Volume degli aggregati V_{aggr}

Determinazione del VOLUME DEGLI AGGREGATI V_{aggr}

Il volume degli aggregati (V_{aggr}) nello stato in cui si trova dentro il calcestruzzo è calcolabile per differenza tra il volume di calcestruzzo o quello degli altri ingredienti, nel caso siano **saturo con superficie asciutta**.

Il volume occupato dell'aggregato si valuta sottraendo al volume occupato da un m^3 di cls, o 1000 litri, i volumi dei materiali già determinati:

$$V_{aggr} = 1000 - V_{cem} - V_a - V_{add} - V_{aria}$$

litri/ m^3

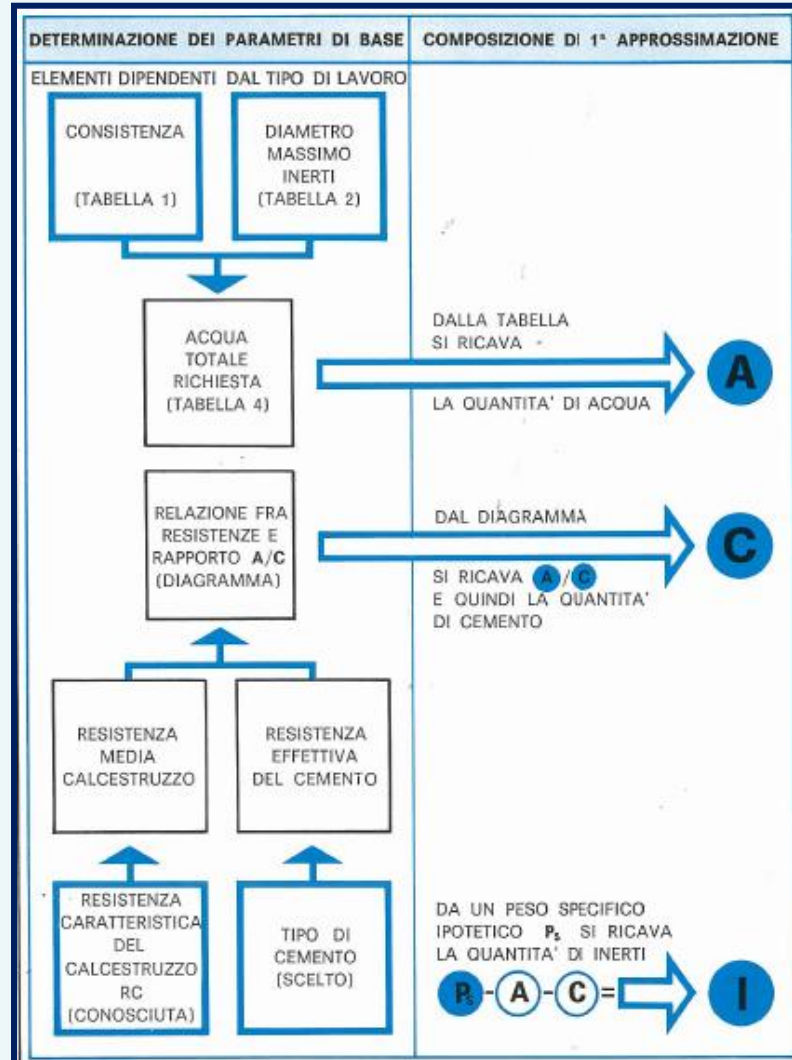
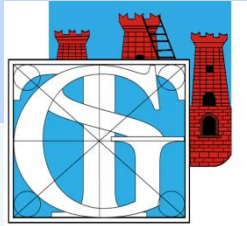
$$V_{cem} = c / \text{massa volumica del cemento}$$

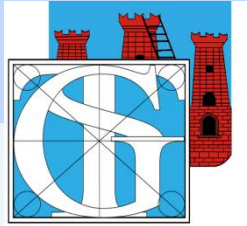
2,1
g/ cm^3

Assumendo per l'inerte una massa volumica apparente di **2.7 kg/l**, si ottiene il contenuto degli aggregati i espresso in Kg/m^3 :

$$i = 2,7 \text{ kg/l} * V_{aggr}$$

Schema riassuntivo per la determinazione del dosaggio di acqua **A**, del dosaggio di cemento **C** e della quantità di aggregati **I**





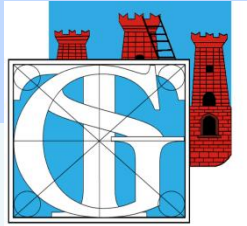
MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

IMPASTO DI PROVA

Viene realizzato un **impasto di prova** con la finalità di risalire al contenuto di acqua dei componenti relativi al nostro impasto. Agli ingredienti determinati si aggiunge tanta acqua fino ad ottenere la classe di consistenza desiderata.

Se gli inerti usati nell'impasto sono perfettamente asciutti, basta tener conto dell'acqua aggiunta durante la confezione, misurandola direttamente dal recipiente. Se gli inerti, come avviene normalmente, sono umidi, bisogna tener conto dell'acqua contenuta in essi. Se non è possibile essiccare gli aggregati **si valuta l'acqua in essi contenuta** per mezzo della seguente tabella:

| ACQUA CONTENUTA NEGLI INERTI COMUNI (in percentuale rispetto al peso degli inerti asciutti) | | | | |
|--|--------------------------------|-------------------|----------------|-----------------|
| Aspetto degli inerti come umidità | ACQUA CONTENUTA IN PERCENTUALE | | | |
| | sabbia 0-5 | ghiaietto 6-16 | ghiaia 6-25 | ghiaia 20-40 |
| secchi | 0-1,3 | trascurabile | trascurabile | trascurabile |
| umidi | 2,6-4 | 1,3-2,6 | 0,66-2 | 0,66-1,3 |
| molto um. | 5,2-6,6 | 2,6-4 | 2-3,3 | 1,3-2,6 |
| saturati | 8-9 | 4-5,2 | 3,3-6,6 | 2,6-4 |



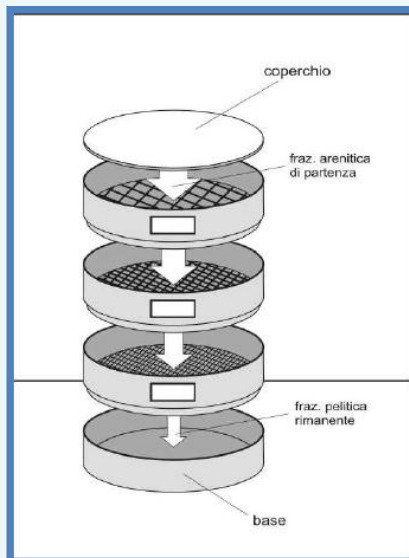
MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

CURVA GRANULOMETRICA : COMBINAZIONE OTTIMALE DEGLI AGGREGATI

Si vuole determinare attraverso la combinazione di tre pezzature di aggregato la **curva granulometrica** che approssimi il più **possibile la curva di Fuller**.

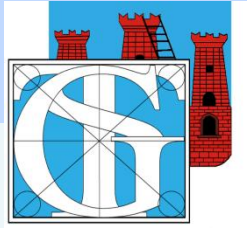
Immaginiamo di disporre di :

| SABBIA | GHIAINO | GHIAIA |
|----------|-----------|------------|
| 0 – 4 mm | 4 - 10 mm | 10 – 31 mm |



L'analisi granulometrica viene eseguita tramite **SETACCIATURA** con una serie di setacci disposti l'uno sull'altro con aperture decrescenti andando dall'alto verso il basso. Una quantità nota di campione viene quindi versato nel primo setaccio posto in alto e dopo aver sottoposto la colonna dei setacci a vibrazione vengono pesati i **TRATTENUTI PARZIALI** nei vari setacci ed espressi in % rispetto al peso totale del campione sottoposto a vagliatura. Per l'i-esimo setaccio, essendo N il numero totale dei setacci, si avrà:

$$T_i(\%) = 100 \cdot \frac{P_i}{\sum_{i=1}^N P_i}$$



MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

Esempio di combinazione degli aggregati

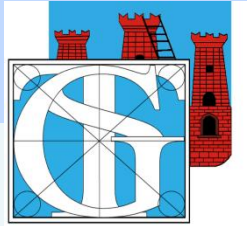
Ogni singolo valore di $T_i(\%)$ (**trattenuto parziale**) rappresenta la percentuale di inerte che rimane nei singoli setacci. Vengono poi calcolati i **TRATTENUTI CUMULATIVI** nei vari setacci relativi a tutta la quantità di materiale trattenuta nel setaccio i -esimo ed in quelli sovrastanti ($j=1 \rightarrow i$), espressi in % rispetto al peso totale del campione :

$$TC_i(\%) = 100 \cdot \frac{\sum_{j=1}^i P_j}{\sum_{i=1} P_i}$$

Vengono poi calcolati i **PASSANTI CUMULATIVI** nei vari setacci calcolati come il complemento a 100 dei trattenuti cumulativi, espressi in % rispetto al peso totale del campione :

$$PC_i(\%) = 100 - TC_i(\%)$$

Tali valori vengono rappresentati in grafico in funzione delle aperture dei setacci (usualmente in scala logaritmica) ottenendo così la cosiddetta **CURVA GRANULOMETRICA**.

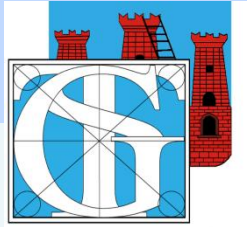


MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

Esempio di combinazione degli aggregati

Ipotizziamo di effettuare la setacciatura e di ottenere i seguenti risultati:

| Apertura Vagli (d), mm | 100*(d/Dmax)^1/2 | Sabbia 0/4 | | | Ghiaino 4/10 | | | Ghiaia 10/31 | | | | | |
|------------------------|------------------|------------|------------------------|--------------------------|------------------------|-------------|------------------------|--------------------------|------------------------|----------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| | | Peso, g* | Trattenuti Parziali, % | Trattenuti Cumulativi, % | Passanti Cumulativi, % | Peso, g* | Trattenuti Parziali, % | Trattenuti Cumulativi, % | Passanti Cumulativi, % | Peso, g* | Trattenuti Parziali, % | Trattenuti Cumulativi, % | Passanti Cumulativi, % |
| 31.5 | 100 | | | | | | | | 435 | 7.0 | 7.0 | 93.0 | |
| 20 | 79.7 | | | | | | | 1250 | 20.2 | 27.2 | 72.8 | | |
| 16 | 71.3 | | | | | | | 1538 | 24.8 | 52.0 | 48.0 | | |
| 14 | 66.7 | | | | | | | 797 | 12.9 | 64.9 | 35.1 | | |
| 12.5 | 63.0 | | | | | | 100.0 | 695 | 11.2 | 76.1 | 23.9 | | |
| 10 | 56.3 | | | | 161 | 5.3 | 5.3 | 94.7 | 1038 | 16.8 | 92.9 | 7.1 | |
| 8 | 50.4 | | | | 858 | 28.3 | 33.6 | 66.4 | 338 | 5.5 | 98.3 | 1.7 | |
| 6.3 | 44.7 | | | 100.0 | 1082 | 35.6 | 69.2 | 30.8 | 64 | 1.0 | 99.3 | 0.0 | |
| 4 | 35.6 | 61 | 7.6 | 7.6 | 92.4 | 856 | 28.2 | 97.4 | 2.6 | 38 | 0.6 | 100.0 | |
| 2 | 25.2 | 163 | 20.3 | 27.9 | 72.1 | 51 | 1.7 | 99.0 | 1.0 | 3 | 0.0 | 100.0 | |
| 1 | 17.8 | 133 | 16.5 | 44.4 | 55.6 | 13 | 0.4 | 99.5 | 0.5 | 0 | | | |
| 0.5 | 12.6 | 111 | 13.8 | 58.2 | 41.8 | 6 | 0.2 | 99.7 | 0.3 | | | | |
| 0.25 | 8.9 | 130 | 16.2 | 74.4 | 25.6 | 4 | 0.1 | 99.8 | 0.2 | | | | |
| 0.125 | 6.3 | 113 | 14.1 | 88.4 | 11.6 | 3 | 0.1 | 99.9 | 0.1 | | | | |
| 0.063 | 4.5 | 89 | 11.1 | 99.5 | 0.5 | 3 | 0.1 | 100.0 | 0.0 | | | | |
| Fondo | 0 | 4 | 0.5 | 100.0 | 0.0 | | | | | | | | |
| | | 804 | | | | 3037 | | | 6196 | | | | |



MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

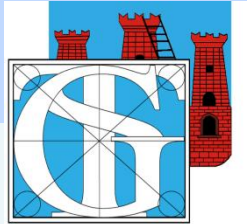
Esempio di combinazione degli aggregati : **METODO GRAFICO**

Con questo metodo è previsto l'uso di un diagramma avente la scala delle ascisse proporzionale a $(d/D_{max})^{0,5}$ in maniera tale da far risultare rettificata la curva di riferimento (nel caso oggetto di studio quella di Fuller).

Per costruire questo diagramma, stabilita da noi la lunghezza dell'asse delle ascisse (per esempio 18 cm) è necessario calcolare i valori $(d/D_{max})^{0,5}$. Se per esempio il D_{max} è pari a 31,5 mm tali valori saranno : $(31,5/31,5)^{0,5}$ $(20/31,5)^{0,5}$ $(16/31,5)^{0,5}$ Fino al valore del diametro relativo al setaccio con il diametro più piccolo pari a 0,063 mm.

Ciascuno dei valori ottenuti viene poi moltiplicato per 18 e ci fornisce la distanza dall'origine in cm, in corrispondenza della quale porre il relativo valore di d sull'asse delle **ascisse**. Ad esempio per il vaglio di $d=16$ mm si dovrà porre sull'asse delle x dall'origine un valore pari a : $18 * (16 / 31,5)^{0,5} = 12,8$ cm

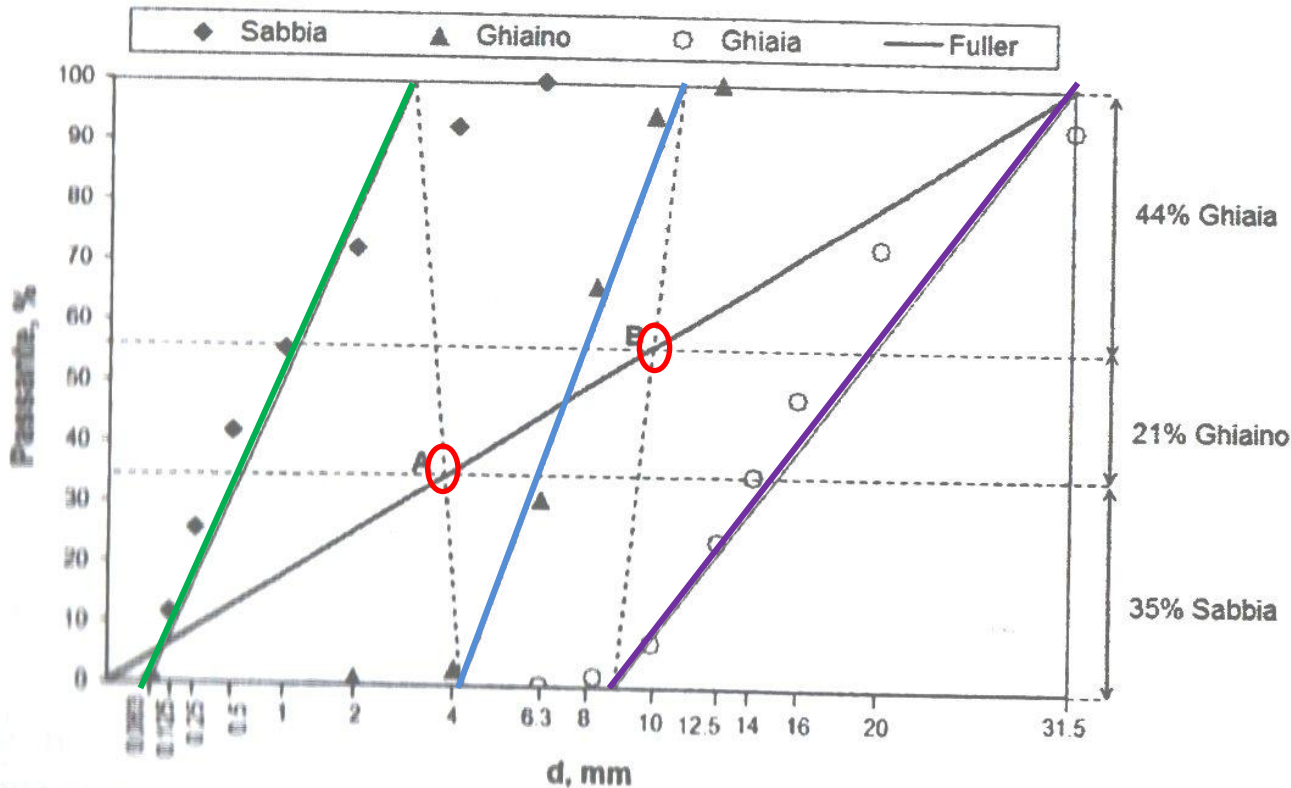
Si tracciano poi delle rette per interpolazione (colorate in figura) dei punti così ottenuti. Queste rette rappresentano gli aggregati disponibili e si uniscono alle estremità superiori e inferiori di tali rette. Seguendo tale interpolazione bisogna tener conto dei punti vicini tra di essi.



MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

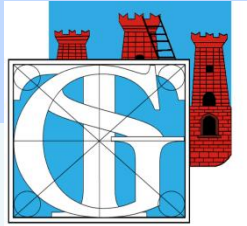
Esempio di combinazione degli aggregati : **METODO GRAFICO**

Con questo metodo è previsto l'uso di un diagramma avente la scala delle ascisse proporzionale a $(d/D_{max})^{0,5}$ in maniera tale da far risultare rettificata la curva di riferimento (nel caso oggetto di studio quella di Fuller).



I punti di intersezione A e B delle linee tratteggiate con la curva di Fuller rettificata ci permettono di ricavare le proporzioni delle 3 classi di aggregato. Pertanto, la curva granulometrica che più si avvicina alla curva teorica di Fuller si otterrà impiegando :

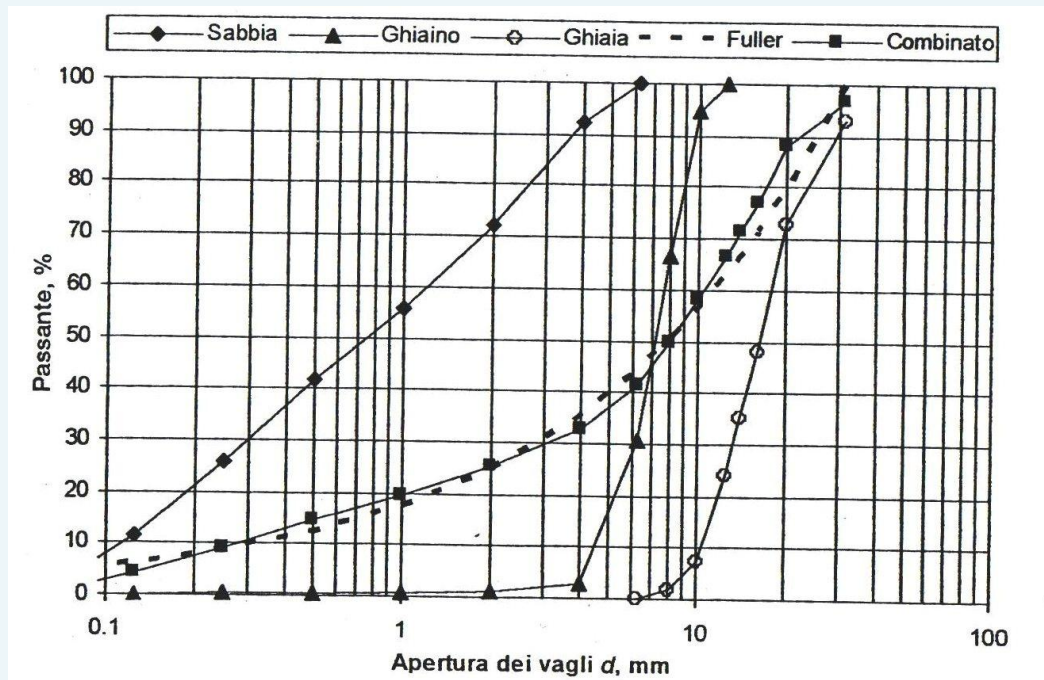
- 44% ghiaia
- 21% ghiaino
- 35% sabbia



MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

Esempio di combinazione degli aggregati

Per rappresentare in un grafico la curva granulometrica di un combinato, cioè per confrontare il risultato con un eventuale fuso granulometrico di riferimento o una curva, si calcola in corrispondenza di ciascun vaglio il **passante cumulativo** come somma dei passanti cumulativi degli n materiali a quello stesso vaglio dosati secondo le percentuali trovate: $P_i = \sum p_{i,n} f_n / 100$



Con

P_i = passante cumulativo al vaglio i esimo del combinato.

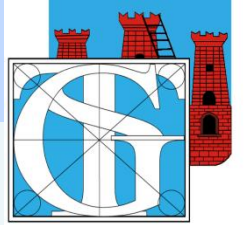
$P_{i,n}$ = Passante cumulativo dell' n esimo componente al vaglio i

f_n = percentuale dell' n esimo componente della miscela

Esempio.

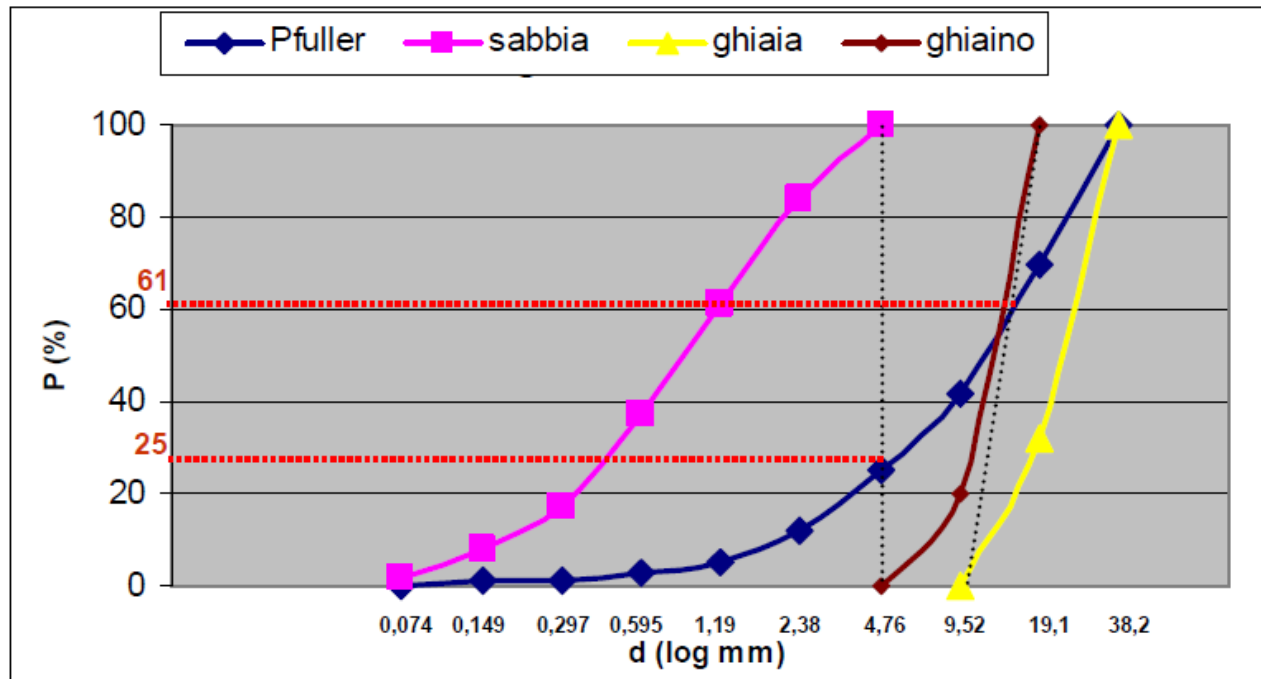
Il passante al vaglio di 8 mm è:

$$P_8 = (100 \cdot 35) / 100 + \\ + (66,4 \cdot 21) / 100 + \\ + (1,7 \cdot 44) / 100 = \mathbf{49,8\%}$$



MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

CURVA DI FULLER distribuzione granulometrica dell'inerte



Sabbia 0-5 mm; ghiaino 5-20 mm; ghiaia 10-38 mm