



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**



Prof. Carlo Antonio Stival
via A. Valerio 6/1
34127 Trieste
+390405583478
cstival@units.it

TEMA 11

Materiali da costruzione Lapidei artificiali

Laboratorio di **Progettazione Tecnologica dell'Architettura**
Corso di **Materiali ed Elementi Costruttivi**

11.1

Introduzione

Lapidei artificiali

ORIGINE ARTIFICIALE

TERRA CRUDA

CALCESTRUZZI

LATERIZI

MALTE

COMPOSITI

scelta

miscelazione

trasformazione

Caratterizza il materiale ottenuto, al termine di un qualsiasi **processo produttivo**, a partire da una **materia prima** o da una **miscela** di **materie prime** opportunamente **dosate**; al prodotto finale sono attribuite particolari **proprietà fisiche** e **meccaniche**.

I materiali da costruzione "artificiali" sono generalmente composti da una **base naturale**, **pietre** e **minerali**, e da **elementi chimici naturali** e **artificiali**. I processi che sviluppano la produzione di questi materiali sono **caratterizzati** da **fasi operative** (per esempio cernita, miscelazione, eventuale cottura ecc.) volte a garantire al **prodotto finale** le **prestazioni attese**.

11.2

Terra cruda

Terra cruda

5

DEFINIZIONE

Terra utilizzata come materiale da costruzione

TERRA BATTUTA O PISÉ – posata in casseri

MATTONE CRUDO O ADOBE – pressata a formare blocchi



Terra cruda

6

TECNICHE

adobe



pisé

disponibilità materia prima

economicità d'impiego

semplicità tecnologica

Classificazione materica

STRUTTURA

ORGANICA

GHIAIOSA

SABBIOSA

LIMOSA

ARGILLOSA

IMBIBIZIONE

CONGLOMERATO FRIABILE

SECCA

UMIDA

PLASTICA

MOLLE

LIQUIDA

in base al tenore d'acqua (0 / 5 / 15 / 30 / 35%)

Proprietà della terra cruda

PROPRIETÀ FISICHE

POROSITÀ – rapporto tra volume dei pori e volume totale

MASSA VOLUMICA ($1,7 - 2,2 \text{ kN m}^{-3}$)

GELIVITÀ – attitudine a non fessurarsi su cicli di gelo e disgelo

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE – dimensione dei pori

PROPRIETÀ MECCANICHE

RESISTENZA A COMPRESSIONE – opposizione alle forze che tendono a produrre schiacciamento

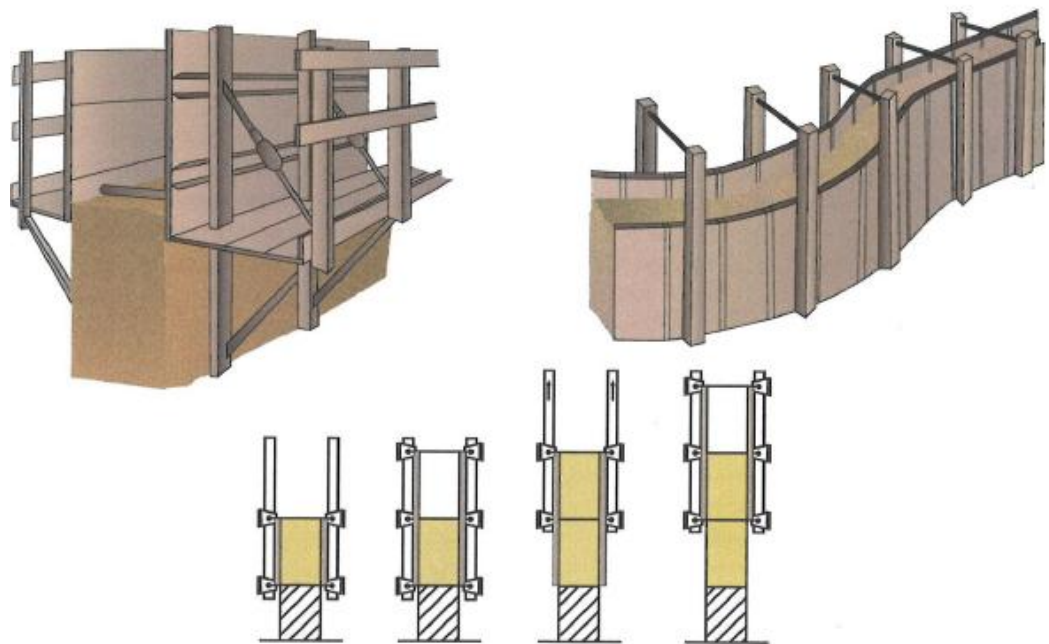
RESISTENZA A TRAZIONE – in genere trascurabile

RESISTENZA AGLI URTI E ALL'ABRASIONE
(deterioramento superficiale)

Impiego della terra cruda

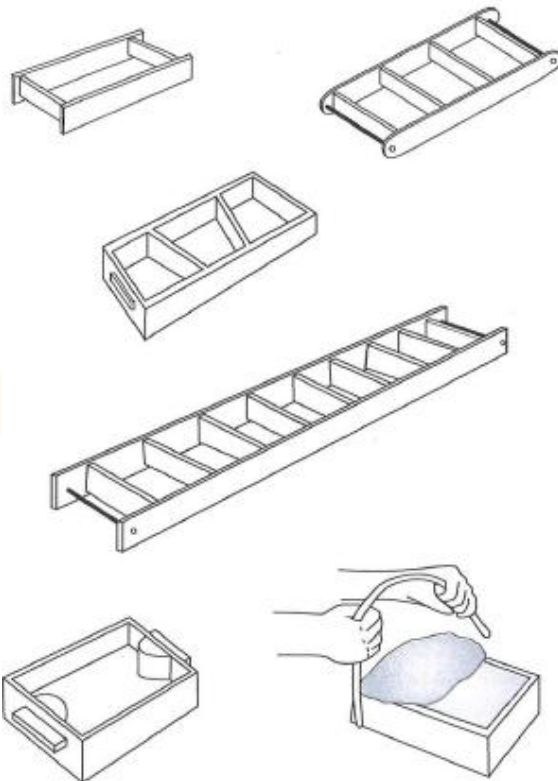
PISÉ

La tecnica consente di realizzare **murature continue** portando **compattando**, strato dopo strato, **terra umida** versata tra assi **disposti parallelamente** in funzione di casseri. La terra preferita è di tipo **sabbioso**, **mescolata** con **ghiaia** e **pressata** con un **maglio** (*piseur*) entro casseforme, fino a farle assumere la consistenza voluta.



Impiego della terra cruda

ADOBE



Il **mattone crudo** è un blocco di terra, semplicemente seccato al sole, realizzato gettando un **impasto** di **terra** e **acqua** in appositi telai di legno in rapporto 1:2, quest'ultima con percentuali di:

- 55-75% sabbia;
- 10-28% limo;
- 15-18% argilla.

La terra è **colata senza compressione**, a partire dagli angoli dei telai fino al loro riempimento; segue una **lisciatura superiore** per eliminare il materiale in eccesso. Il telaio viene quindi staccato dal mattone e i blocchi risultanti sono lasciati ad **asciugare**, in posizione orizzontale, in un'area asciutta e riparata, per un numero di giorni valutato in relazione alle **condizioni climatiche** esterne.

11.3

Calcestruzzo

MATERIALE BASE



AGGREGATI



LEGANTE



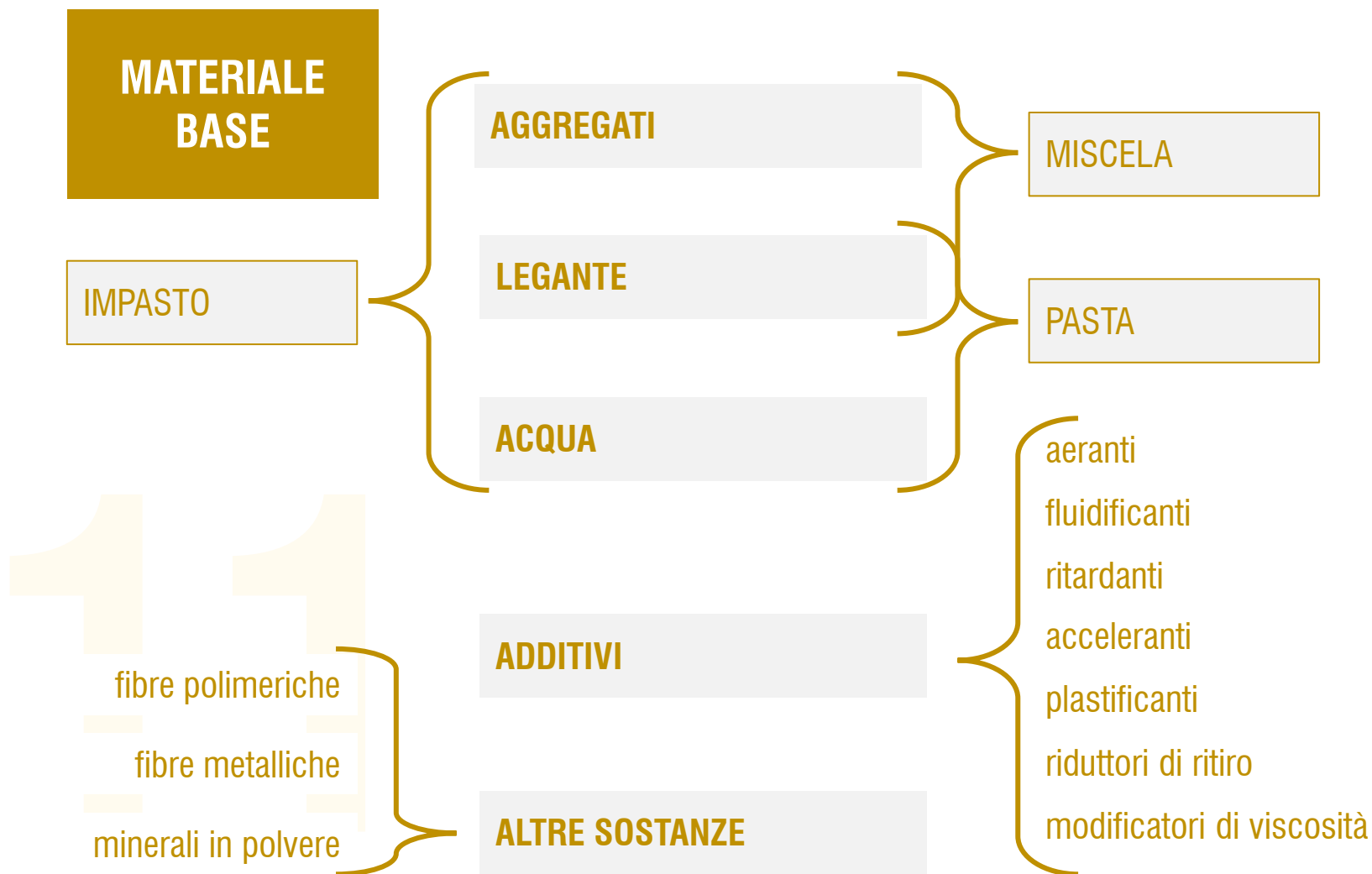
ACQUA

ADDITIVI



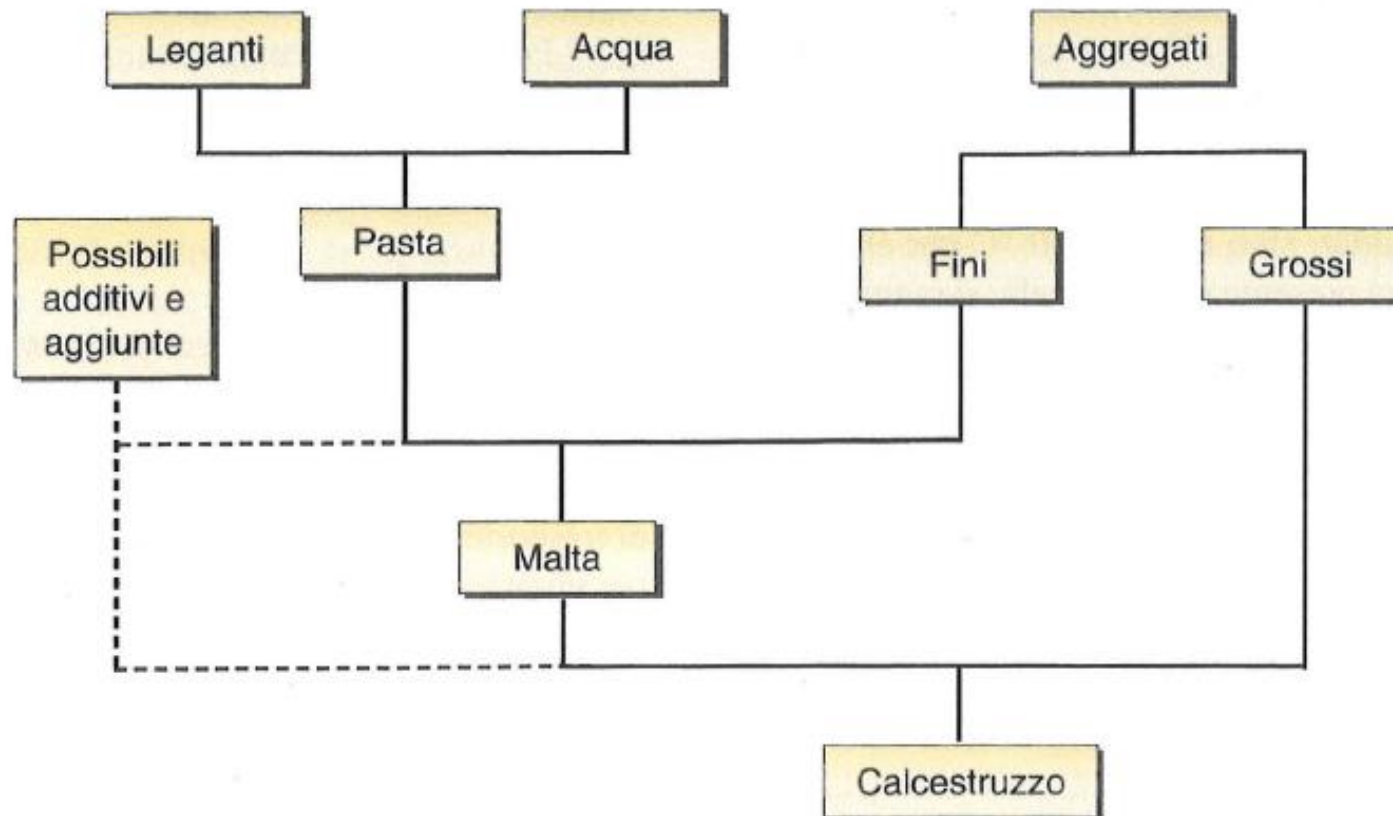
ALTRE SOSTANZE

Generalità



Generalità

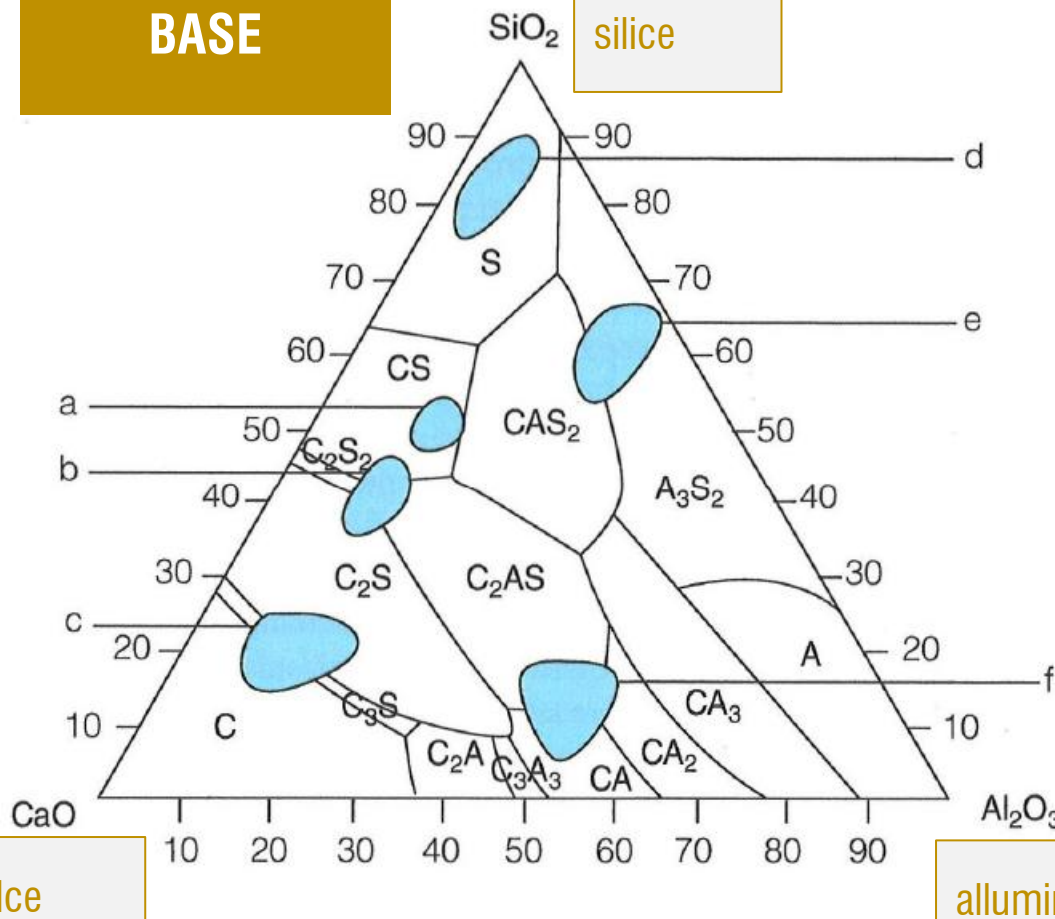
MATERIALE BASE



Composizione del calcestruzzo

**MATERIALE
BASE**

Sottoprodotto d'altoforno nella
produzione di ghisa



a – loppe acide

b – loppe basiche

c – cementi Portland

d – vetro

e – ceneri volanti

f – cementi alluminosi

Composizione del calcestruzzo

LEGANTI IDRAULICI

POZZOLANA E CALCE IN EPOCA ROMANA
durezza, resistenza, aderenza

RIVOLUZIONE INDUSTRIALE

STUDI SU LEGANTI NATURALI E ARTIFICIALI (XVIII secolo)

BREVETTO PARKER (1769, cemento romano ottenuto per cottura di calcari marnosi / argilla)

BREVETTO ASPDIN (1824, cemento Portland mediante la cottura di una miscela di calcare e argilla)

BREVETTO JOHNSON (1844, composizione miscela per clinker)

XIX SECOLO

PRODUZIONE INDUSTRIALE di clinker, cementi d'altoforno
Cementi pozzolanici, alluminosi, soprasolfatati

Composizione del calcestruzzo

LEGANTI IDRAULICI

macinazione
del materiale crudo

cottura in forno
a 1450 °C

mescolamento

MATERIE PRIME

calcare

argilla

MATERIE PRIME AUSILIARIE

cenere di pirite

sabbia silicea

bauxite

CLINKER

GESSO

CEMENTO IN POLVERE

ACQUA

PASTA DI CEMENTO

Composizione del calcestruzzo

AGGREGATI

NATURALI

Frammenti da disgregazione di rocce calcaree o silicee

MANIPOLATI

Ottenuti da frammentazione di rocce di cava o di altri materiali inorganici RICICLATI

sabbia
diametro 4-5 mm

ghiaia di origine alluvionale
di forma tondeggianti

pietrisco
forma irregolare
diametro >5 mm

lavati prima dell'uso per eliminare impurità e sostanze organiche

costituiscono l'ELEMENTO PORTANTE del calcestruzzo
e i 2/3 del suo volume

Composizione del calcestruzzo

AGGREGATI

RESISTENZA
MECCANICA
INTRINSECA



<i>(*) non gelività</i>	Resistenza a compressione [kg/cm ²]	Porosità totale [%]	Resistenza all'usura per abrasione [mm]
Granito	1.600 - 2.400	0,4 - 1,5	1
Basalto	2.000 - 4.000	0,2 - 0,9	1 - 2
Pomice	50 - 200	30 - 70	-
Dolomite	200 - 600	0,4 - 2	7 - 12
Travertino	-	5 - 12	-
Marmo	1.000 - 1.800	0,5 - 3	4 - 8

Composizione del calcestruzzo

AGGREGATI LEGGERI

per usi non strutturali
in condizioni ambientali
controllate
(usi interni o protetti da
impermeabilizzazione)

caratterizzati da ridotta resistenza meccanica,
elevata porosità, peso contenuto ($2-5 \text{ kN m}^{-3}$)

argilla espansa

perlite e vermiculite

pomice

polistirolo



Composizione del calcestruzzo

ACQUA

- idratazione del legante per sviluppare le reazioni
- bagnatura dell'aggregato per favorire l'aderenza con la pasta
- conferimento della consistenza voluta alla massa

dosata per assicurare
adeguate reazioni
chimiche, omogeneità,
operazioni di trasporto,
getto e costipamento



CARBONATI
accelerazione o ritardo
dell'indurimento



SOLFATI
disgregazione meccanica

CLORURI
corrosione del ferro



Composizione del calcestruzzo

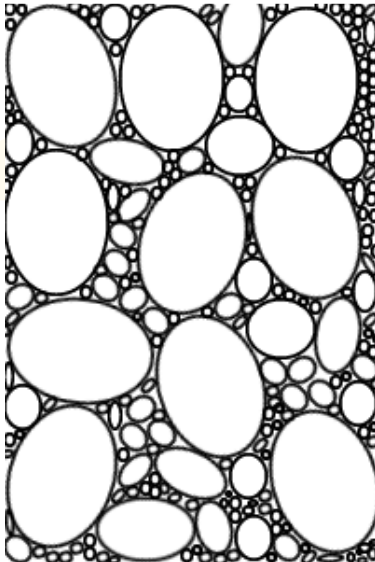
ADDITIVI

sostanze che vengono aggiunte all'impasto (0,01 – 3%) per migliorare le caratteristiche del calcestruzzo in fase di lavorazione ed esercizio



Preparazione del calcestruzzo

LAVORAZIONE



QUANTITÀ DI INERTI

distribuzione granulometrica

rapporto acqua/cemento

PASTA LEGANTE

dosaggio del cemento

(spessore desiderato
dei manufatti)

1 UNITÀ FUNZIONALE DI CALCESTRUZZO (1 m³)

Rapporto A/C ~ 0,4-0,6 (ideale 0,42)

Legante 150-350 kg

LAVORABILITÀ, PESO SPECIFICO E RESISTENZA MECCANICA

Magro 2-3 KN m⁻³

Grasso 3,5-5 KN m⁻³

Preparazione del calcestruzzo



PRESCRIZIONI DI CAPITOLATO PER IL CALCESTRUZZO

SPECIFICHE DI CAPITOLATO PER LE MATERIE PRIME (SEZIONE A)

COMPONENTI	CONFORMITÀ
ACQUA	UNI EN 1008
AGGREGATI	- Marcatura CE; - UNI EN 12620; - UNI 8520-2; - Massa volumica media $\geq 2600 \text{ kg/m}^3$ - Contenuto di solfati in accordo alla classe ASo.2 (aggregati grossi) e ASo.8 (sabbie); - Contenuto di zolfo inferiore all'1% e al 2% rispettivamente per gli aggregati naturali e le scorie d'altoforno. In presenza di solfuri ossidabili, il limite è fissato allo 0,1% (punto 11 della UNI EN 1744-1:2013); - Assenza di minerali nocivi secondo la UNI EN 932-3 e UNI 8520-2, oppure con valori inferiori al prospetto 6 della UNI 8520-2; - Solo per calcestruzzi di classe XF, assorbimento di acqua inferiore all'1%, oppure appartenenti alle classi F o MS in accordo alla UNI EN 12620.
CEMENTO	- Marcatura CE; - UNI EN 197-1.
ADDITIVO SUPERFLUIDIFICANTE	- Marcatura CE; - UNI EN 934-2 (Prospetti 3.1 e 3.2 o 11.1 e 11.2).
ADDITIVO AERANTE	- Marcatura CE; - UNI EN 934-2 (Prospetto 5). Solo per calcestruzzi destinati ad elementi che in servizio sono esposti a cicli di gelo-disgelo e ricadono in classe di esposizione XF2 o XF3 o XF4.

Preparazione del calcestruzzo

◆ PILLOLE DI PRESCRIZIONI ◆



I - Verifica preliminare
11.2.3 NTC 2018

AGGIUNTE DI TIPO I

- Marcatura CE;
- Filler UNI EN 12620 e UNI 8520-2;
- Pigmenti UNI EN 12878.

AGGIUNTE DI TIPO II

- Ceneri volanti UNI EN 450;
- Fumo di silice UNI EN 13263 parte 1 e 2;
- Loppa d'altoforno UNI EN 15167-1.

N.B. Le prescrizioni aggiuntive, richieste solo per opere particolari in cui sono necessarie delle specifiche addizionali, sono indicate in corsivo.

DOSSIER PER IL CALCESTRUZZO

Nella pratica, l'impresa esecutrice dovrà acquisire dal potenziale fornitore del calcestruzzo un "dossier" contenente:

- La certificazione delle materie prime che attesti la conformità delle stesse alle prescrizioni di capitolato di cui alla sezione A;
- La certificazione attestante la sussistenza del "Controllo del Processo di Fabbrica" (Factory Production Control: FPC) dell'impianto da cui verrà effettuata la fornitura;
- La documentazione relativa ai controlli interni di produzione del calcestruzzo. In particolare, occorrerà accertare che il calcestruzzo richiesto sia in fase di "produzione iniziale o continua" in accordo a quanto stabilito dalla UNI EN 206-1 e che siano rispettati i criteri di conformità fissati da questa norma per tali fasi produttive. Inoltre, dai dati del controllo interno potrà essere desunto il valore dello scarto quadratico medio delle resistenze a compressione. Valori dello scarto quadratico medio superiori a 5 MPa dovrebbero portare ad una esclusione del produttore (almeno dell'impianto caratterizzato da valori dello scarto quadratico maggiori di 5 MPa) dalla gara di fornitura.

In sostanza, il dossier con la documentazione sopra menzionata può essere ricondotto alla fase della cosiddetta "Verifica Preliminare (11.2.3 NTC 2018)" che rimanda alla D.L., prima dell'inizio dei lavori, la responsabilità di acquisire la documentazione suddetta e autorizzare l'impianto alla fornitura.

Preparazione del calcestruzzo

● PILLOLE DI PRESCRIZIONI ●



6 - Diametro massimo dell'aggregato

PRESCRIZIONI DI CAPITOLATO PER IL CALCESTRUZZO

DIAMETRO MASSIMO DELL'AGGREGATO

Il diametro massimo dell'aggregato (D_{max}) verrà individuato tra il minore che soddisfa le tre disequazioni che seguono:

- $D_{max} \leq 1/4$ - sezione minima dell'elemento strutturale
- $D_{max} \leq \text{interfero [mm]} - 5 \text{ mm}$
- $D_{max} \leq 1.3$ - copriferro nominale

Il soddisfacimento delle disequazioni sopra riportate ha come obiettivo quello di utilizzare aggregati che permettano un corretto riempimento della cassaforma, facendo agevolmente fluire attraverso i ferri d'armatura il calcestruzzo, garantendo nel contempo che il copriferro sia costituito in parte dagli aggregati grossi. Un copriferro che abbonda (per una dimensione massima dell'aggregato eccessiva) di parti fini, infatti, evidenzerebbe un'eccessiva tendenza alla fessurazione.

Ai fini dell'individuazione del D_{max} si opererà approssimando il valore che soddisfa le tre equazioni sopra riportate a quello immediatamente inferiore all'apertura dei vagli scelti nelle serie normate. Infatti, per definizione, il diametro massimo di un aggregato (D_{max}) si identifica con l'apertura del setaccio, appartenente alla serie base completata con la serie 1 oppure 2 previste dalla EN 12620, cui corrisponde un trattenuto inferiore al 10%:

8 - 11 - 16 - 22 - 32 - 45 - 63 mm (serie base + serie 1)

8 - 12 - 16 - 20 - 32 - 40 - 63 mm (serie base + serie 2)

Preparazione del calcestruzzo

◉ PILLOLE DI PRESCRIZIONI ◉



6 - Diametro massimo dell'aggregato

Ad esempio, per realizzare una pavimentazione in calcestruzzo allo interno di un fabbricato industriale avente spessore 150 mm, armata con rete elettrosaldata tipo B450C $\Phi 5$, maglia 10x10 e copriferro nominale pari a 30 mm, le disequazioni per scegliere il diametro massimo dell'aggregato da utilizzare saranno:

- $D_{max} \leq 1/4 \cdot 150 = 35 \text{ mm};$
- $D_{max} \leq 100 - 5 = 95 \text{ mm};$
- $D_{max} \leq 30 \cdot 1.3 = 39 \text{ mm}.$

La condizione più stringente è quella relativa alla dimensione minima, che impone un diametro massimo dell'aggregato inferiore a 35 mm. Dalla serie base (+ serie 1/2), si sceglierà il valore dell'apertura del setaccio inferiore più prossimo a quello ottenuto; nel caso in esame il diametro massimo dell'aggregato (D_{max}) da utilizzare nel confezionamento del calcestruzzo sarà pari a 32 mm.

Val la pena di ricordare che, fermo restando le limitazioni sopra riportate, è opportuno prescrivere l'impiego di aggregati con la massima pezzatura possibile tenendo comunque presente che diametri massimi maggiori di 32 mm sono di difficile reperibilità nelle centrali di betonaggio.

Preparazione del calcestruzzo

◆ PILLOLE DI PRESCRIZIONI ◆



2 - Strutture in clima temperato lontane dalla costa

PRESCRIZIONI DI CAPITOLATO PER IL CALCESTRUZZO STRUTTURE IN CLIMA TEMPERATO LONTANE DALLA COSTA

Tabella B.1 - Classi di esposizione ambientale in accordo alla UNI EN 206-1 con esempi di strutture

CLASSE DI EXP	AMBIENTE	ESEMPI
XC1	STRUTTURE IN AMBIENTI INTERNI ASCIUTTI CON U.R. < 70%	- Scale e vani ascensori interni agli edifici; - Solai, travi, pilastri e setti interni a edifici.
XC2	STRUTTURE IDRAULICHE O DI FONDAZIONI PERMANENTEMENTE BAGNATE	- Vasche contenimento liquidi non aggressivi; - Strutture idrauliche; - Pali, diaframmi e fondazioni dirette.
XC3	STRUTTURE ESTERNE PROTETTE DALLA PIOGGIA	- Pilastri esterni; - Muri parzialmente riparati dalla pioggia; - Scale esterne protette dalla pioggia; - Cordoli esterni di edifici protetti dalla pioggia.
XC4	STRUTTURE ESTERNE ESPOSTE ALLA PIOGGIA E PARTI DI STRUTTURE IDRAULICHE CHE ALTERNANO PERIODI DI IMMERSIONE E DI EMERSIONE	- Pavimenti esterni, terrazze e coperture piane non protette in climi temperati; - Muri, pile da ponte, pensiline e altri elementi strutturali a vista esposti ciclicamente a condizioni di asciutto e bagnato; - Strutture all'interno caratterizzate da elevati tenori di umidità.

XC: sigla per **rischio di corrosione da carbonatazione**

Preparazione del calcestruzzo

◆ PILLOLE DI PRESCRIZIONI ◆



2 - Strutture in clima temperato lontane dalla costa

Tabella B.2 - Requisiti per strutture in zone a clima temperato: XC (UNI 11104)

CLASSE DI EXP	$(a/c)_{min}$	$C(x/y)_{min}$	c_{min} [kg/m³]	Tipo di cemento
XC1	0.60	C25/30	300	-
XC2	0.60	C25/30	300	-
XC3	0.55	C30/37	320	-
XC4	0.50	C32/40	340	-

Se per esigenze derivanti dal calcolo strutturale si dovesse far ricorso a calcestruzzi di classe maggiore della C32/40, fare riferimento alla Tabella B.3. Resta inteso che in questa evenienza la durabilità sarà soddisfatta ad abundantiam.

Tabella B.3 - Requisiti per strutture in classe di esposizione XC (UNI 11104) ove le esigenze di natura strutturale sono più stringenti rispetto a quelle di durabilità

DUREVOLE A TUTTE LE CLASSI DI EXP	$(a/c)_{min}$	$C(x/y)_{min}$	c_{min} [kg/m³]	Tipo di cemento
XC	0.45	C35/45	360	-
XC	0.40	C40/50	380	-
XC	0.35	C45/55	400	-
XC	0.30	C50/60	400	-

N.B. Per i calcestruzzi destinati a strutture ricadenti in classe di esposizione ambientale XC non c'è alcuna indicazione sul tipo di cemento che, pertanto, potrà essere scelto in base al principio della massima reperibilità. Pertanto, è utile prescrivere cementi CEM I/A o CEM II/B - LL, i più diffusi sul territorio nazionale.

Preparazione del calcestruzzo

◆ PILLOLE DI PRESCRIZIONI ◆



3 - Strutture in ambiente marino

XS: sigla per **rischio di corrosione da cloruri in acqua di mare**

XA: sigla per **rischio di attacco chimico**

PRESCRIZIONI DI CAPITOLATO PER IL CALCESTRUZZO STRUTTURE IN AMBIENTE MARINO

Tabella B.4 - Classi di esposizione ambientale in accordo alla UNI EN 206-1 con esempi di strutture

CLASSE DI EXP	AMBIENTE	ESEMPI
XS1+XC4+XA1	STRUTTURE ESPOSTE ALLA SALSEDINE MARINA, MA NON IN CONTATTO CON ACQUA DI MARE	- Edifici e infrastrutture fronte mare fino a 2-3 km.
XS2+XA2	STRUTTURE TOTALMENTE IMMERSE	- Fondazioni in acqua di mare; - Strutture idrauliche completamente immerse in acqua di mare.
XS3+XC4+XA2	STRUTTURE ESPOSTE A SPRUZZI, MAREE E ONDE	- Banchine, moli e piazzali portuali di movimentazione merci; - Bacini di carenaggio.

Preparazione del calcestruzzo

◆ PILLOLE DI PRESCRIZIONI ◆



3 - Strutture in ambiente marino

Tabella B.5 - Requisiti per strutture marine esposte al cloruro e al solfato presente in acqua di mare, in classe di esposizione XS e XA (UNI 11104), e all'azione dell'anidride carbonica dell'aria

CLASSE DI EXP	$(a/c)_{max}$	$C(x/y)_{min}$	c_{min} [kg/m ³]	Tipo di cemento (UNI 9156)	
XS1+XC4+XA1	0.50	C32/40	340	Moderata resistenza ai solfati	MRS (CEM III/A o IV/A)
XS2+XA2	0.45	C35/45	360	Alta Resistenza ai solfati	ARS (CEM III/B o IV/B)
XS3+XC4+XA2	0.45	C35/45	360	Alta Resistenza ai solfati	ARS (CEM III/B o IV/B)

Se per esigenze derivanti dal calcolo strutturale si dovesse far ricorso a calcestruzzi di classe maggiore della C35/45, fare riferimento alla Tabella B.6. Resta inteso che in questa evenienza la durabilità sarà soddisfatta ad abundantiam.

Tabella B.6 - Requisiti per strutture marine in classe di esposizione XS, XA e XC (UNI 11104) ove le esigenze di natura strutturale sono più stringenti rispetto a quelle di durabilità

DUREVOLE A TUTTE LE CLASSI DI EXP	$(a/c)_{max}$	$C(x/y)_{min}$	c_{min} [kg/m ³]	Tipo di cemento
XC+XS+XA1	0.40	C40/50	380	MRS o ARS
XC+XS+XA2	0.35	C45/55	400	ARS
XC+XS+XA2	0.30	C50/60	400	ARS

N.B. Per i calcestruzzi destinati a strutture ricadenti in classe di esposizione ambientale XS è necessario, nel confezionamento dell'impasto, ricorrere a cementi a moderata o alta resistenza al solfato in accordo alla UNI 9156, cui si rimanda per maggiori dettagli.

Preparazione del calcestruzzo

◆ PILLOLE DI PRESCRIZIONI ◆



4 - Strutture in zone a clima rigido

XF: sigla per **rischio di attacco da cicli di gelo e disgelo**

PRESCRIZIONI DI CAPITOLATO PER IL CALCESTRUZZO STRUTTURE IN ZONE A CLIMA RIGIDO

Tabella B.7 - Classi di esposizione ambientale in accordo alla UNI EN 206-1 con esempi di strutture

CLASSE DI EXP	AMBIENTE	ESEMPI
XF1+XC4	MODERATA SATURAZIONE D'ACQUA IN ASSENZA DI SALI DISGELANTI	Strutture verticali esposte alla pioggia e al gelo, non a contatto con sali disgelanti.
XF2+XD1	MODERATA SATURAZIONE D'ACQUA IN PRESENZA DI SALI DISGELANTI	- Strutture verticali esposte al gelo e agli schizzi di soluzioni acquose contenenti sali disgelanti (superfici verticali di strutture stradali). - Parti di ponti regolarmente investite da nebbie saline; pile e spalle dei sovrappassi stradali. - La zona inferiore degli impalcati dei ponti soggetti a trattamenti con sali disgelanti.
XF3+XC4	ELEVATA SATURAZIONE D'ACQUA IN ASSENZA DI SALI DISGELANTI	Strutture orizzontali esposte alla pioggia e al gelo, in assenza di sali disgelanti.
XF4+XC4+XD3	ELEVATA SATURAZIONE D'ACQUA IN PRESENZA DI SALI DISGELANTI	- Strutture orizzontali esposte al gelo e a diretto contatto con sali disgelanti (strade, ponti, parcheggi esterni), parti di ponti esposte in maniera diretta a spruzzi d'acqua contenente cloruri. - Pavimentazioni di parcheggi. - Imbocchi di gallerie in zone a clima rigido.
XD3+XC4	STRUTTURE SOGGETTE AI SALI DISGELANTI ED ELEMENTI ESPOSTI IN PARTE AI CLORURI E IN PARTE ALL'ARIA	- Pavimentazioni di parcheggi interni in zone a clima rigido. - Piedritti nelle zone centrali di gallerie lunghe più di 300-500 metri in zone a clima rigido.

XS: sigla per **rischio di corrosione da cloruri non marittimi**

Preparazione del calcestruzzo



Tabella B.8 - Requisiti per strutture in zone a clima rigido (UNI 11104)

CLASSE DI EXP	$(a/c)_{min}$	$C(x/y)_{min}$	c_{min} (kg/m ³)	Aria inglob. con aerante [%]	Tipo di cemento	Aggregati non gelivi
XF1+XC4	0.50	C32/40	320	-	-	F ₄ - MS ₂₅
XF2+XD1	0.50	C25/30	340	4.5 - 6.5% FUNZIONE DI D _{max}	CEM III o IV	F ₂ - MS ₂₅
XF3+XC4	0.50	C25/30	340		-	F ₂ - MS ₂₅
XF4+XC4+XD3	0.45	C30/37	360		CEM III o IV	F ₁ - MS ₂₅
XD2+XC2	0.50	C32/40	340	-	CEM III o IV	-
XD3+XC4	0.45	C35/45	360	-	CEM III o IV	-

Se per esigenze derivanti dal calcolo strutturale si dovesse far ricorso a calcestruzzi di classe maggiore rispetto a quella minima richiesta per la lavorabilità, fare riferimento alla Tabella B.9. Resta inteso che in questa evenienza la durabilità sarà soddisfatta ad abundantiam.

Tabella B.9 - Requisiti per strutture in clima rigido (UNI 11104) ove le esigenze di natura strutturale sono più stringenti rispetto a quelle di durabilità

DUREVOLE A TUTTE LE CLASSI DI EXP	$(a/c)_{min}$	$C(x/y)_{min}$	c_{min} (kg/m ³)	Aria inglob. con aerante [%]	Tipo di cemento	Aggregati non gelivi
XF1+XC+XD	0.40	C40/50	380	-	-	F ₄ - MS ₂₅
XF+XC+XD	0.35	C45/55	400	-	CEM III o IV	F ₂ - MS ₂₅
XF+XC+XD	0.30	C50/60	400	-	-	F ₂ - MS ₂₅
XF4+XC4+XD3	0.40	C32/40	380	4.5-6.5%	CEM III o IV	F ₁ - MS ₂₅

N.B. Per i calcestruzzi ad alta resistenza (> C45/55) è stata dimostrata sperimentalmente l'elevata resistenza al gelo anche in assenza di additivi aeranti.

Formazione del calcestruzzo

IDRATAZIONE

CEMENTO

ACQUA

300 kg

120 litri

acqua

GEL DI CEMENTO

formazione di cristalli (silicati e idrati di calcio)
a collegare i granuli di cemento

gel

STAGIONATURA

1. PRESA o MATURAZIONE: termina quando l'impasto non è più sufficientemente plastico da consentire la manipolazione
2. INDURIMENTO: impasto rappreso che acquisisce resistenza meccanica

Formazione del calcestruzzo

GETTO

COMPATTEZZA

DUREVOLEZZA

RESISTENZA MECCANICA

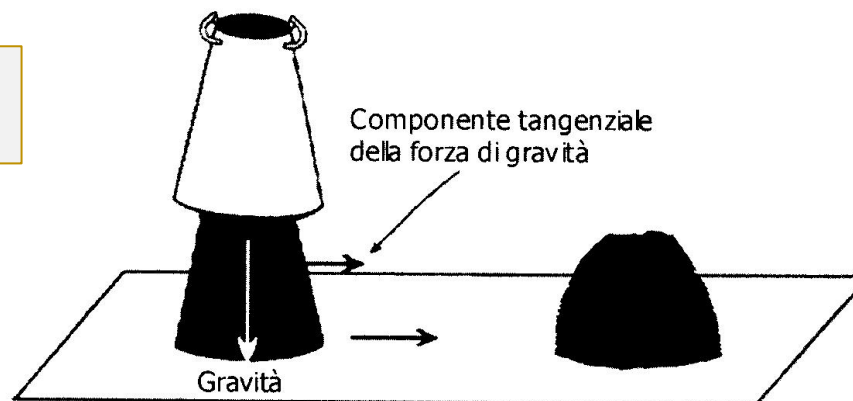
LAVORABILITÀ

granulometria inerti

rapporto acqua / cemento



Cono di
Abrams



Formazione del calcestruzzo

PRESA

CONDIZIONI OTTIMALI

TEMPERATURA 15-25 °C

UMIDITÀ RELATIVA > 80%

RITIRO

diminuzione volumetrica propria della fase di STAGIONATURA

elevate
temperature

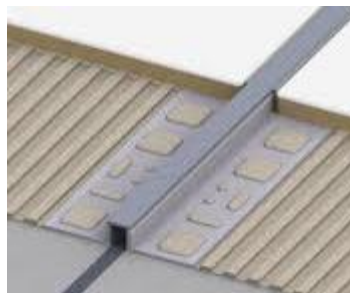
impasto
grasso

diametro
inerti

FESSURAZIONE

giunti

armatura



Formazione del calcestruzzo

INDURIMENTO

(*)
deformazione
plastica lenta cui
sono soggetti i
materiali sottoposti
a carichi costanti
nel tempo

ACQUISIZIONE RESISTENZA MECCANICA DI PROGETTO

Caratteristiche aggregato

Grado di costipazione

Resistenza intrinseca cemento

Grado di maturazione

Dosaggio cemento

Temperatura operativa

Rapporto acqua / cemento

FLUAGE / CREEP (*)

RESISTENZA MECCANICA R_{bK}

CLASSIFICAZIONE DEL CALCESTRUZZO

RESISTENZA CARATTERISTICA A COMPRESSIONE A 28 GIORNI
CHE DEFINISCE LA PRESTAZIONE DEL 95% DEI PROVINI

Proprietà del calcestruzzo

PROPRIETÀ FISICHE

MASSA VOLUMICA:

- Calcestruzzo leggero ($0,8 - 2,0 \text{ kN m}^{-3}$)
- Calcestruzzo normale ($2,0 - 2,6 \text{ kN m}^{-3}$)
- Calcestruzzo pesante ($> 2,6 \text{ kN m}^{-3}$)

GELIVITÀ – attitudine a non fessurarsi su cicli di gelo e disgelo

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE – dimensione dei pori

DENSITÀ

Tipologia

Massa volumica [kg m^{-3}]

Calcestruzzo leggero

800-2000

Calcestruzzo normale

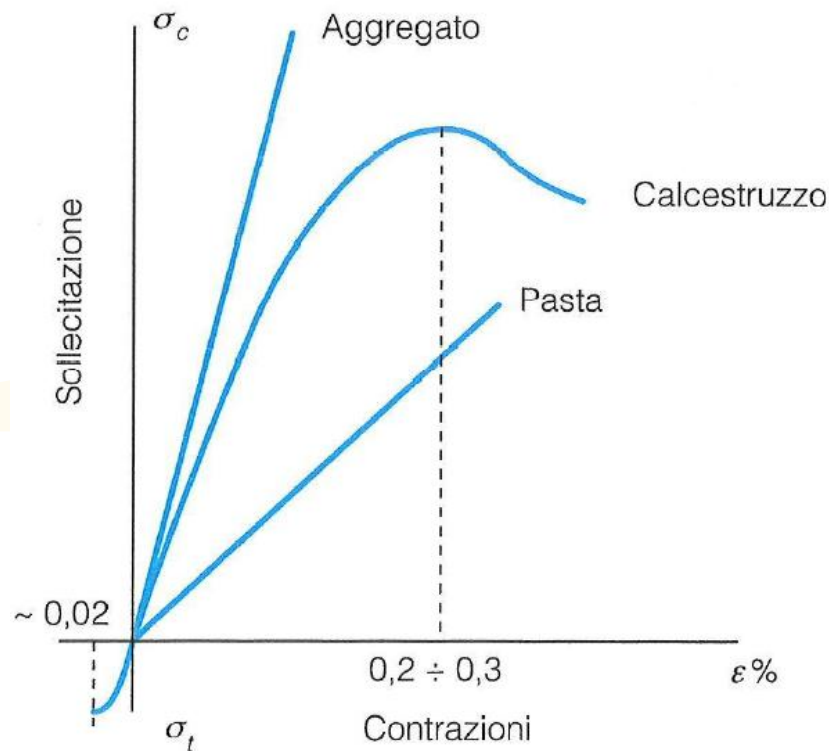
2000-2600

Calcestruzzo pesante

> 2600

Proprietà del calcestruzzo

PROPRIETÀ MECCANICHE



La **resistenza meccanica** del calcestruzzo è influenzata da numerosi **fattori** che la possono far variare anche di un ordine di grandezza. Tale variabilità non consente di fornire **valori** di riferimento **assoluti**, ma impone degli **intervalli** di resistenze:

- Resistenza a **compressione**: le classi di resistenza caratteristica a compressione si riferiscono ai limiti di resistenza valutati secondo **due** diverse **modalità** di **prova** operate su **provini cilindrici** o **cubici**;
- Resistenza caratteristica a **trazione**: viene valutata a mezzo di **diverse prove sperimentali**. I valori risultano mediamente di circa **un ordine di grandezza inferiore** a quelli di compressione.

Proprietà del calcestruzzo

PROPRIETÀ MECCANICHE

RESISTENZA
MECCANICA
[N mm⁻²]

Classe di resistenza	f_{ck}	R_{ck}	f_{ctm}	Uso
C8/10	8	10	-	non strutturale
C12/15	12	15	1,6	non strutturale
C16/20	16	20	1,9	ordinario
C20/25	20	25	2,2	ordinario
C25/30	25	30	2,6	ordinario
C30/37	30	37	2,9	ordinario
C35/45	35	45	3,2	ordinario
C40/50	40	50	3,5	ordinario
C45/55	45	55	3,8	ordinario
C50/60	50	60	4,1	alte prestazioni
C55/67	55	67	4,2	alte prestazioni
C60/75	60	75	4,4	alte prestazioni
C70/85	70	85	4,6	alta resistenza
C80/95	80	95	4,8	alta resistenza

Calcestruzzo armato

**CEMENTO
ARMATO**

CALCESTRUZZO DI CEMENTO

ARMATURA IN ACCIAIO

barre dritte, sagomate, spezzoni

reti legate e elettrosaldate

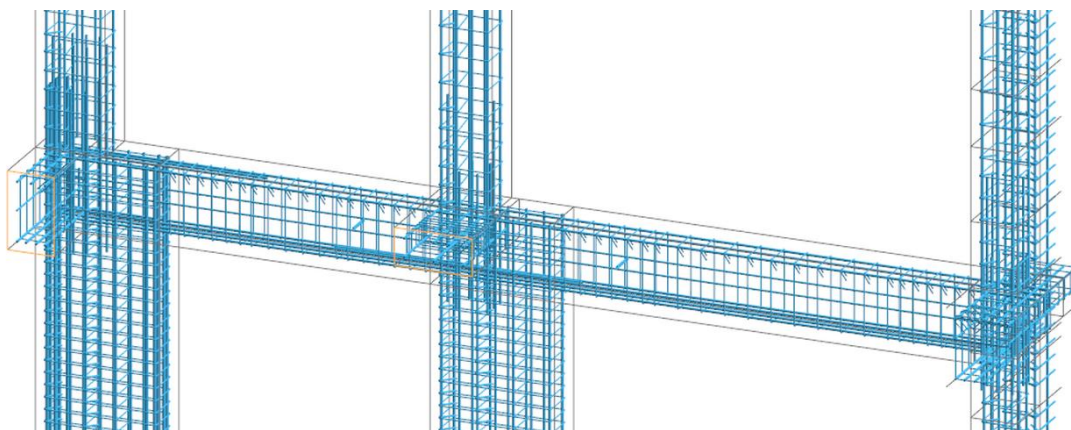
ferri ad aderenza migliorata

MUTUA ADERENZA CONTRO LO SCORRIMENTO RECIPROCO

principale

secondaria

complementare



Calcestruzzo armato

42

**CEMENTO
ARMATO**

ARMATURA IN ACCIAIO



Calcestruzzo armato

TECNOLOGIA ESECUTIVA

CONCREZIONE

IN OPERA

FUORI OPERA

Costruzione delle casseforme per i getti

Preparazione e montaggio dell'armatura metallica

Confezionamento e trasporto in opera del calcestruzzo

Getto nelle casseforme e costipamento del calcestruzzo

Stagionatura del calcestruzzo

Disarmo delle casseforme

Calcestruzzo armato

44

**TECNOLOGIA
ESECUTIVA**

CONCREZIONE



Calcestruzzo armato

45

TECNOLOGIA
ESECUTIVA

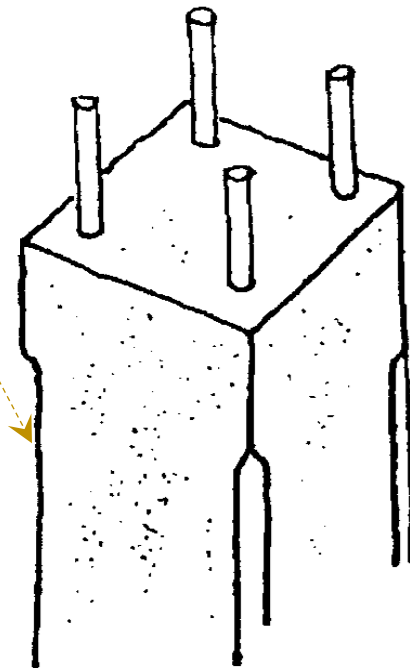
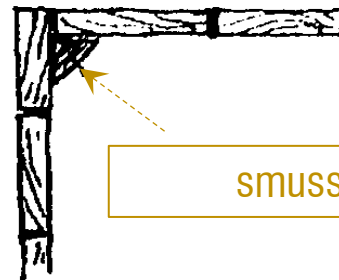
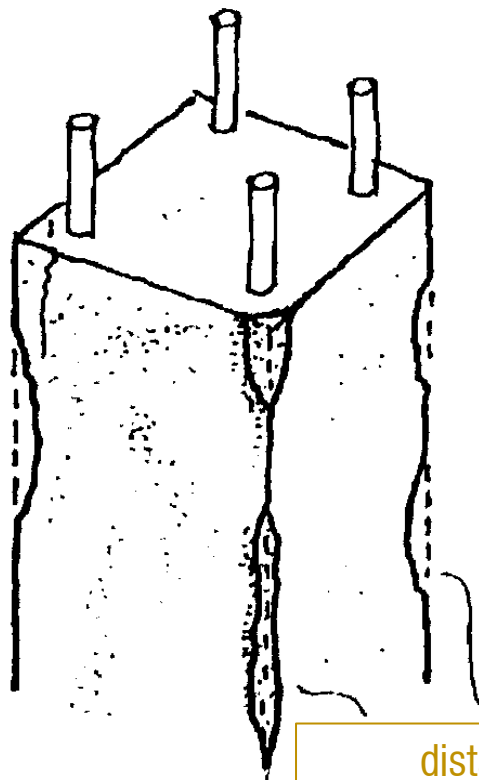
CONCREZIONE



Calcestruzzo armato

TECNOLOGIA
ESECUTIVA

ACCORGIMENTI AL BORDO



Calcestruzzo armato

**TECNOLOGIA
ESECUTIVA**

ACCORGIMENTI AL BORDO

