

ROFIX[®]

Sistemi per costruire



roefix.com

Manuale del calcestruzzo



RÖFIX – Sistemi per costruire

Oggi il settore dell'edilizia deve rispondere a tutta una serie di requisiti molto impegnativi, imposti da esigenze sia ecologiche che economiche, da parte degli enti di controllo, dai progettisti e dalle imprese di costruzione. Noi operiamo da oltre cent'anni nello

sviluppo di tecnologie edilizie di alta qualità. Offriamo prodotti con sistemi innovativi in grado di soddisfare i più severi requisiti tecnici, ecologici ed economici. Con questo riteniamo di dare un impulso rilevante ad una politica attiva nell'interesse dell'edilizia.

Svolgiamo un ruolo fondamentale di responsabili delle scelte politiche ed i nostri partner, dagli architetti all'intero mondo dell'edilizia fino ai committenti privati. Anche per il futuro intendiamo continuare ad essere un partner solido sul quale poter fare sempre affidamento.

Qualità prodotto e rispetto ambientale

Gli edifici vengono costruiti per avere una durata nel tempo. Essi spesso rappresentano per gli uomini l'opera di una vita e il riferimento per intere generazioni. Per questo siamo consapevoli di avere una grande

responsabilità per quanto riguarda la qualità dei prodotti RÖFIX e la loro corretta lavorazione, attraverso i nostri partner sui cantieri. Noi forniamo il settore dell'edilizia con materiali che sono qualitativamente ed

economicamente validi e provengono da materie prime naturali ed ecologiche. Noi supportiamo i nostri clienti sia nella scelta che nell'applicazione dei prodotti appropriati della nostra vasta gamma di produzione.



Indice

Cos'è il calcestruzzo.....	04	Prove sul calcestruzzo indurito.....	42
Materiali base del calcestruzzo.....	06	Resistenza a compressione cubica f_c	42
Cemento.....	06	Struttura dei pori nel calcestruzzo indurito.....	44
Materiali base del cemento.....	07	Post-trattamento del calcestruzzo.....	45
Produzione del cemento.....	07	Posa in opera di calcestruzzo con clima freddo.....	46
Classificazione dei cementi in conformità a EN 197-1.....	08	Posa in opera di calcestruzzo con clima caldo o vento forte.....	48
Aggiunte minerali del calcestruzzo.....	12	Applicazioni del calcestruzzo.....	50
Additivi del calcestruzzo.....	13	Calcestruzzo a vista.....	50
Acqua di impasto/acqua aggiunta.....	14	Calcestruzzo autocomprensivo (self compacting concrete SCC).....	51
Aggregati.....	15	Calcestruzzo pompabile.....	51
Scelta del tipo di calcestruzzo.....	20	Calcestruzzo antiabrasione.....	51
Classi di resistenza a compressione.....	20	Calcestruzzo fibroso.....	52
Classi di esposizione.....	22	Calcestruzzo incombustibile.....	52
Diametro massimo del granulo inerte.....	33	Calcestruzzo a spruzzo.....	53
Classi di contenuto di cloruri.....	34	Campi d'impiego dei calcestruzzi a secco RÖFIX.....	55
Classi di consistenza.....	34		
Massa volumica.....	35		
Prove sul calcestruzzo fresco.....	36		
Spandimento F (F = Flow Table Test).....	37		
Indice di compattazione C (C = Compaction Test).....	38		
Indice di assestamento S (S = Slump Test).....	39		
Temperatura.....	39		
Contenuto d'aria.....	40		
Massa volumica CLS fresco.....	40		
Contenuto d'acqua.....	41		
Produzione e conservazione dei provini per le prove di resistenza.....	41		

Cos'è il calcestruzzo

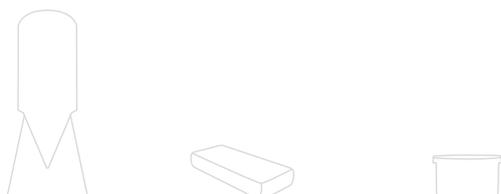


Il calcestruzzo è una miscela di

legante	+	acqua di impasto	+	inerti
↓		↓		↓
cemento	+	acqua aggiunta	+	granulometria inerte

Il calcestruzzo è una miscela di legante (cemento), acqua di impasto (acqua aggiunta) e aggregati (granulometria inerte) che allo stato fresco ha una consistenza plastica, dopo la posa e con il tempo indurisce e, a seconda della quantità percentuale dei singoli componenti, raggiunge caratteristiche litoidi (solidità, durezza, ecc.), analoghe a quelle di un conglomerato naturale.

La miscela può inoltre contenere **additivi e aggiunte minerali**.



La scelta del calcestruzzo dipende dai seguenti criteri:

		Determinazione di
Sollecitazioni meccaniche	<ul style="list-style-type: none"> ■ Peso proprio ■ carico utile ■ sollecitazioni esterne e interne 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Resistenza a compressione ■ Resistenza a flessione-trazione ■ Resistenza a trazione indiretta ■ Resistenza allo strappo ■ Massa volumica del calcestruzzo (peso specifico) ■ Modulo di elasticità ■ Svolgimento dei lavori ■ Tipo di cemento
Aggressioni fisiche	<ul style="list-style-type: none"> ■ Cambiamento della temperatura del calcestruzzo giovane ■ aggressione atmosferica ■ gelo ■ sali scongelanti ■ calore ■ abrasione meccanica 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Impermeabilità ■ Resistenza al gelo ■ Resistenza a gelo-sali scongelanti ■ Tipo di granulometria inerte ■ Tipo di cemento ■ Additivi e aggiunte minerali ■ Temperatura del calcestruzzo fresco ■ Forma dell'elemento costruttivo ■ Spessore del copriferro ■ Resistenza all'abrasione ■ Durata della protezione (posttrattamento)
Aggressioni chimiche	<p>Aggressioni da prodotti scongelanti, acque reflue, acque termali, latte, acidi, basi o acque contenenti gesso. È assolutamente necessario rilevare la concentrazione delle sostanze aggressive nonché le condizioni di contorno (ad es. di temperatura)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Tipo e grado di aggressione ■ Tipo di cemento ■ Granulometria dell'inerte ■ Impermeabilità ■ Altre misure protettive (ad es. rivestimento) ■ Durata della protezione ■ Spessore del copriferro ■ Forma dell'elemento costruttivo
Condizioni di posa e requisiti della superficie a vista		<ul style="list-style-type: none"> ■ Consistenza ■ Granulo massimo inerte ■ Curva granulometrica ■ Tempo di lavorazione ■ Trasporto (pompa, gru, ecc.) ■ Costipazione ■ Casseratura ■ Post-trattamento



Materiali di base del calcestruzzo

Cemento

Definizione

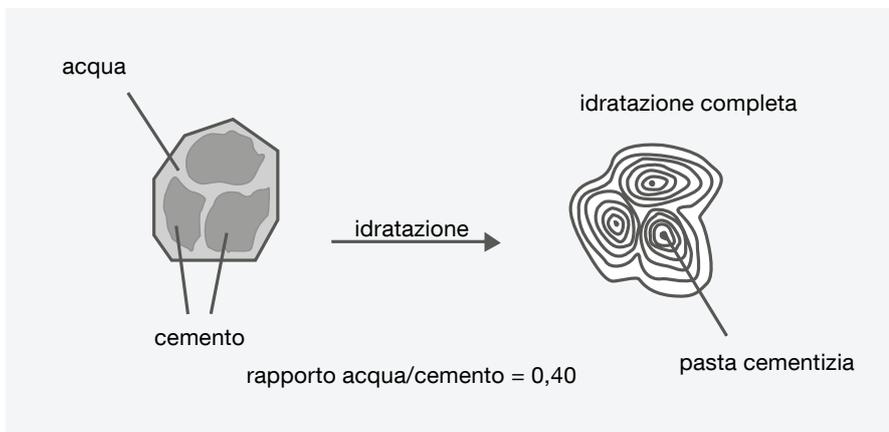
Il cemento è un legante idraulico. Ciò significa che il cemento, legandosi con l'acqua, forma una pasta cementizia che indurisce sia all'aria che sotto'acqua per effetto dell'idratazione senza aumentare il suo volume.

Storia

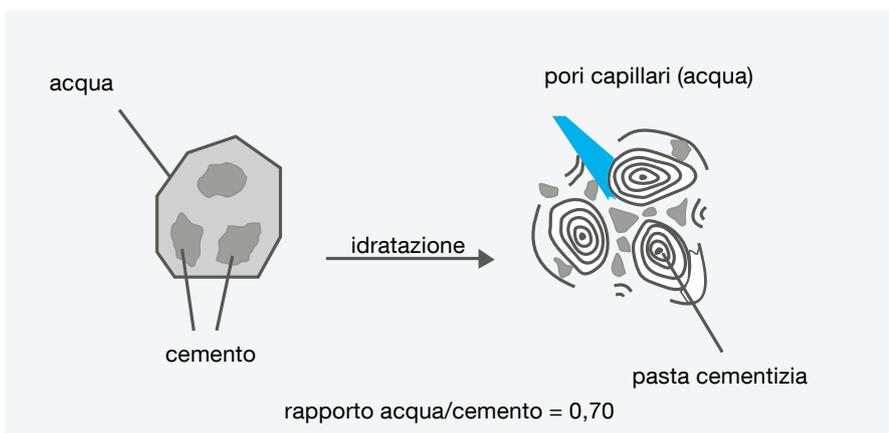
La scoperta del cemento risale agli antichi Romani. L'attuale modalità di produzione del cemento è invece merito dell'inglese John Aspdin, che nel 1824 sviluppò un metodo per produrre un materiale da costruzione

altamente resistente alla compressione e in grado di far presa anche senza aria. Poiché il prodotto assomigliava alla pietra calcarea grigia della costa presso Portland, Aspdin lo chiamò „cemento Portland“.

Idratazione (processo di indurimento in combinazione con l'acqua)



Con un rapporto acqua/cemento pari a 0,40 tutta l'acqua viene legata dal cemento



Con un rapporto acqua/cemento pari a 0,70 tutta l'acqua viene legata dal cemento

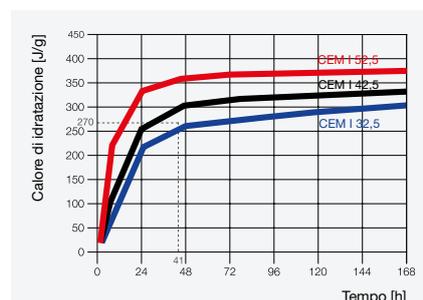
Per effetto dell'idratazione del cemento si ha la formazione di due nuove sostanze minerali:

- piccole formazioni aghiformi di idrati di silicato di calcio (CSH) di composizione leggermente variabile, intrecciate tra loro a formare una struttura compatta di grande durezza.
- grandi cristalli piatti di idrossido di calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), che non contribuiscono alla durezza, ma che, grazie alla loro notevole azione alcalina, proteggono l'armatura dalla corrosione.

I due prodotti dell'idratazione del cemento hanno effetti sia positivi (+) che negativi (-):

- | | |
|--------------------------|---|
| CSH | + resistenza a compressione |
| | + impermeabilità |
| | + durabilità |
| $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | + protezione dell'armatura contro la corrosione (pH>12) |
| | - solubile in acqua |
| | - efflorescenze calcaree |
| | - può dar luogo a reazioni legate ad aggressioni da solfati e di tipo base-silice |

Una volta mescolato con l'acqua il cemento incomincia a reagire chimicamente. Questo processo, denominato idratazione del cemento, comporta un notevole sviluppo di calore, detto calore di idratazione, e porta infine alla presa ed al progressivo indurimento della pasta cementizia.



Materiali base del cemento

Componenti principali per la produzione del klinker

Materiali klinker	■ Calcare (ca. 65 %)
	■ Marna
	■ Argilla
	■ Sabbia
	■ Limo



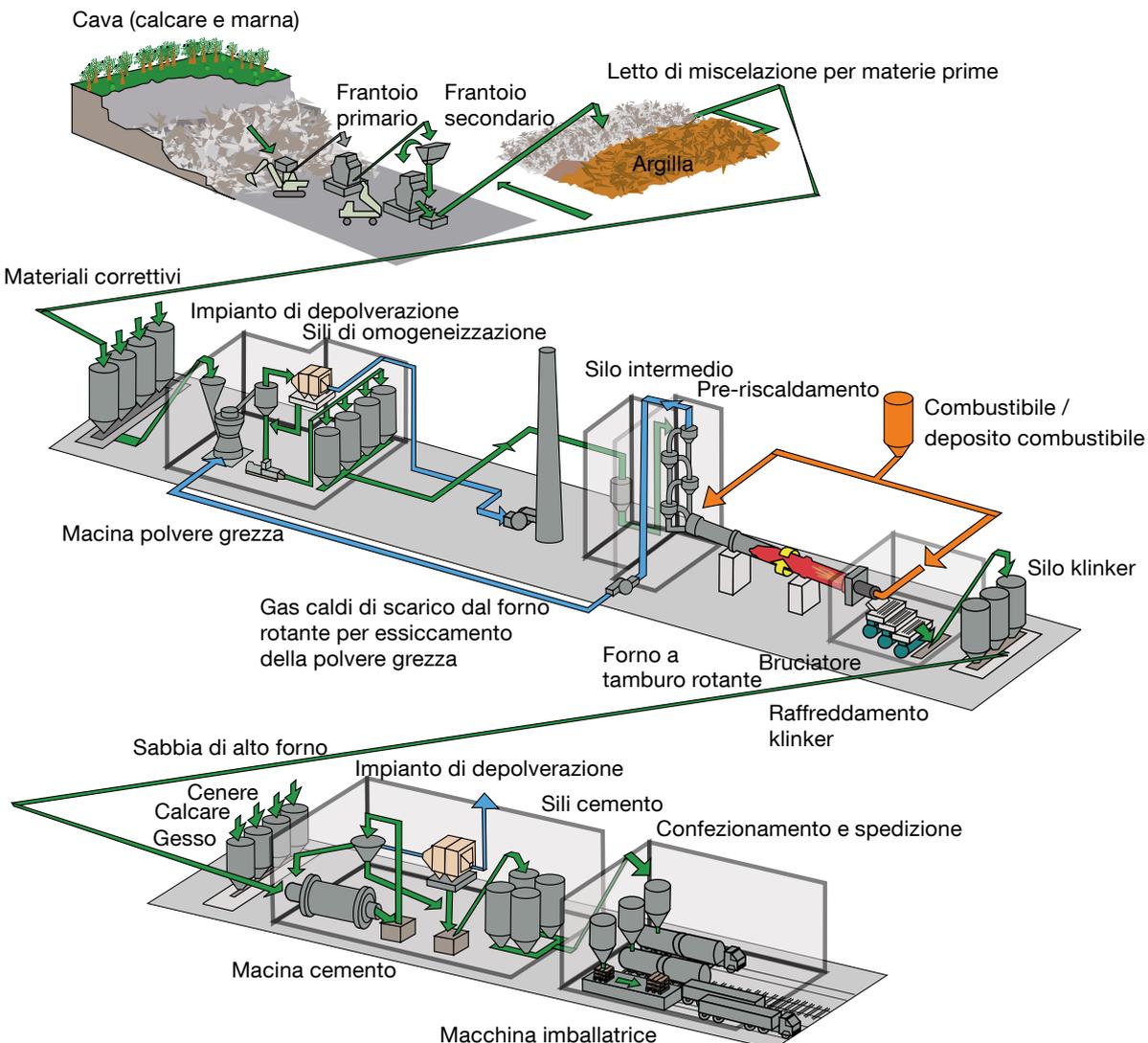
Produzione del cemento

Additivi inerti	■ klinker
	■ gesso (max. 5 %)
	■ sabbia di scoria
	■ ceneri
	■ pozzolana
■ microsilice	

Questi materiali base del klinker vengono per lo più estratti da cave e miniere, quindi macinati e infine cotti in forni rotanti a ca. 1450 °C per ottenere il cosiddetto „klinker“.

A seconda della composizione del klinker e degli additivi inerti, nonché della finezza di macinazione, si ottengono diversi tipi di cemento di diverse classi di resistenza.

Produzione del cemento



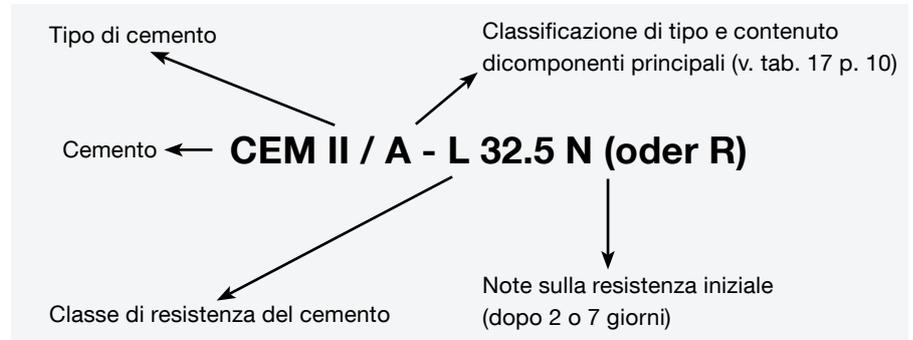
Materiali di base del calcestruzzo

Classificazione dei cementi in conformità a EN 197-1

Cementi / Tipi di cemento

CEM I	Cementi Portland
CEM II	Cementi Portland composti
CEM III	Cementi di altoforno
CEM IV	Cementi pozzolanici
CEM V	Cementi composti

La classificazione dei tipi di cemento è regolamentata nel modo seguente:



Contenuto di inerti aggiuntivi

- A Quantità di inerti aggiuntivi del componente principale fino al 20 %
- B Quantità di inerti aggiuntivi del componente principale oltre il 20 %

		Componenti principali
Klinker per cemento Portland	K	Viene prodotto per sinterizzazione di una miscela di materie prime molto precisa (calcare, marna, argilla) ad una temperatura di ca. 1450 °C.
Sabbia di scoria di altoforno	S	Si ottiene per raffreddamento rapido di una scoria di fusione di idonea composizione, formata dalla fusione in altoforno di minerale ferroso. La sabbia di scoria presenta, in determinate circostanze, caratteristiche idrauliche.
Microsilice (polvere silicea)	D	Si ottiene per riduzione di quarzo iperpuro con carbone in forno ad arco nel processo di produzione di leghe di silicio e ferrosilicio. La microsilice consiste in piccolissime particelle sferiche con un contenuto minimo di ossido di silicio amorfo dell'85 % e polvere silicea e presenta caratteristiche pozzolaniche.
Pozzolana naturale pozzolana artificiale	P Q	Le pozzolane naturali sono in generale sostanze di origine vulcanica o rocce sedimentarie con una composizione chimica-mineralogica idonea. Le pozzolane artificiali sono sostanze con una composizione a base di silice o silicati di alluminio o di una loro combinazione.
Ceneri a base di silice ceneri a base di calce	V W	Le ceneri volatili si ottengono dalla separazione elettrostatica o meccanica di particelle di polveri da fumi di impianti di incenerimento che impiegano come combustibile polvere di carbone. Le ceneri a base di silice sono una polvere fine, prevalentemente costituita da particelle sferiche con caratteristiche idrauliche. Le ceneri a base di calce sono una polvere fine con caratteristiche idrauliche e/o pozzolaniche.
Scisto cotto	T	In particolare lo scisto oleoso cotto viene prodotto in un forno speciale a temperature di ca. 800 °C. Esso presenta, allo stato finemente macinato, delle accentuate caratteristiche idrauliche e pozzolaniche.
Calcare	L	La pietra calcarea ha caratteristiche inerti, che vengono suddivise in due categorie in base al contenuto totale di carbonio organico (TOC), e precisamente: ■ calcare normale (L): TOC < 0,50 M-% ■ calcare pregiato (LL): TOC < 0,20 M-%

Componenti secondari

I componenti secondari sono sostanze minerali, inorganiche particolarmente selezionate, ottenute durante la produzione del clinker. Come componenti secondari possono essere contenuti, in piccoli quantitativi (da 0 a M-%), anche componenti principali, purché essi siano già componente principale del cemento.

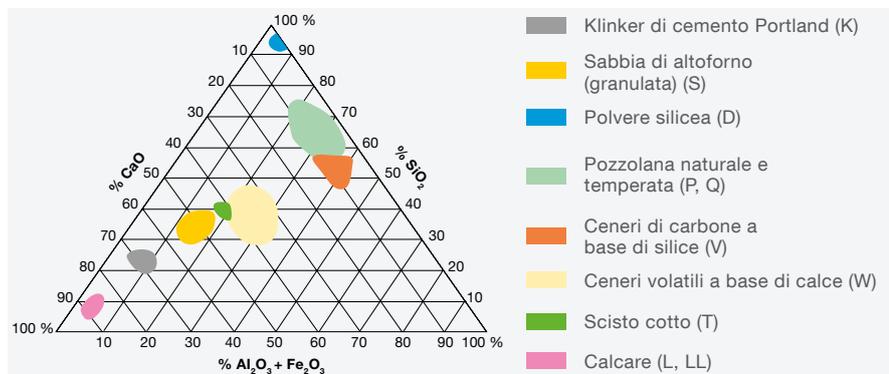


Caratteristiche dei componenti principali e secondari

Caratteristiche idrauliche	Dopo l'aggiunta dell'acqua avviene un indurimento autonomo per effetto dell'idratazione sia all'aria che sott'acqua. (K W T)
Caratteristiche idrauliche latenti	Esiste un potenziale idraulico naturale. Anche le aggiunte minerali latentemente idrauliche iniziano, ma solo in presenza di sostanze attivanti (alcali, calce, solfati) e di acqua, a formare sostanze simili al cemento idrato. Le reazioni sono stanzialmente le stesse che si svolgono nell'idratazione del cemento. (S)
Caratteristiche pozzolaniche	Non esiste alcun potenziale idraulico. Le aggiunte minerali pozzolaniche reagiscono con l'idrossido di calcio liberato durante l'idratazione della frazione klinker formando sostanze simili al cemento idrato. (D, P, Q, V, W, T)
Caratteristiche inerti	Non sussiste alcun potenziale, né idraulico né pozzolanico. Le sostanze inerti non entrano in alcuna reazione chimica, ossia non si modificano, non reagiscono, non contribuiscono al processo di indurimento e si comportano in modo neutro nell'ambiente alcalino. I componenti inerti migliorano però le caratteristiche fisiche del calcestruzzo. (L, LL)

Rappresentazione dei componenti principali nel diagramma triangolare

La figura mostra l'affinità dei componenti principali del cemento e del clinker di cemento Portland. Più del 90% della crosta terrestre è costituito dagli elementi di questi ossidi principali.



Caratteristiche particolari

Cementi ad elevata resistenza ai solfati

Sono contrassegnati, ai sensi della normativa vigente, con la sigla HS posta dopo la classe di resistenza. I seguenti tipi sono classificati come "cementi ad elevata resistenza ai solfati":

- CEM I con un contenuto di C3A < 3,0 M-%
- CEM III/B
- CEM III/C

Per gli altri cementi deve essere caso per caso dimostrato lo stesso grado di resistenza ai solfati.

Cementi a basso calore di idratazione

Sono contrassegnati con la sigla LH. Il calore di idratazione non deve superare il valore caratteristico di 270 L/g. Il calore di idratazione va determinato dopo 7 giorni o dopo 41 ore.



Materiali di base del calcestruzzo

Classe di resistenza del cemento/resistenza iniziale

Classe resistenza	Resistenza a compressione [MPa]				Inizio presa [min.]
	Resistenza iniziale		Resistenza normale		
	2 giorni	7 giorni	28 giorni		
32.5 N 32.5 R	- ≥ 10,0	≥ 16,0 -	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75
42.5 N 42.5 R	≥ 10,0 ≥ 20,0	- -	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60
52.5 N 52.5 R	≥ 20,0 ≥ 30,0	- -	≥ 52,5	-	≥ 45

Per ciascuna classe di resistenza normale sono definite due classi di resistenza iniziale: una classe con **resistenza iniziale normale** contrassegnata con la lettera **N**, ed una classe con **resistenza iniziale superiore** contrassegnata con la lettera **R**.

Tipi di cemento e relativa composizione

Tipo cemento	Denomin	Sigla	Klinker cemento Portland K	Sabbia di scoria S	Polvere silicea D	Pozzolana		Ceneri volatili		Scisto cotto T	Calcare L	Componenti secondari	
						naturale P	industriale Q	con silice V	con calce W				
I	Cemento Portland	I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
II	Cemento Portland di scoria	II/A - S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		II/B - S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Cemento Portland di polvere silicatica	II/A - D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Cemento Portland di 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 di ceneri volatili	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
		II/B - W	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5
	Cemento Portland di scisto	II/A - T	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		II/B - T	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5
	Cemento Portland di calcare	II/A - L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
II/B - L		65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5	
Cemento Portland composito	II/A - M	80-94	6-20	6-20	6-20	6-20	6-20	6-20	6-20	6-20	6-20	6-20	
	II/B - M	65-79	21-35	21-35	21-35	21-35	21-35	21-35	21-35	21-35	21-35	21-35	
III	Cemento di 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 di pozzolana	IV/A	65-89	-	11-35	11-35	11-35	11-35	-	-	-	0-5	
		IV/B	45-64	-	36-55	36-55	36-55	36-55	-	-	-	0-5	
V	Cemento composito	V/A	40-64	18-30	-	18-30	18-30	18-30	-	-	-	0-5	
		V/B	20-39	31-50	-	31-50	31-50	31-50	-	-	-	0-5	



Materiali di base del calcestruzzo

Aggiunte minerali del calcestruzzo

Le aggiunte minerali sono sostanze polverulente o liquide capaci di modificare determinate caratteristiche del calcestruzzo. Esse possono essere aggiunte al calcestruzzo solo se non compromettono l'indurimento del cemento, la resistenza e la durezza del calcestruzzo, nonché la protezione contro la corrosione dello stesso. Esse vanno considerate come componenti volumetrici nel calcolo del coefficiente k.

La normale classificazione delle aggiunte minerali è fatta in base al loro comportamento chimico nella pasta cementizia e/o al loro effetto nel calcestruzzo. Un'ulteriore classificazione fa riferimento alla loro composizione chimica (diagramma triangolare).

Importanti aggiunte minerali del calcestruzzo

Filler calcareo Pietra in polvere Pigmenti colorati	Tipo I Aggiunte minerali quasi inattive	Non reagiscono con il cemento e con l'acqua e quindi non intervengono nel processo di idratazione. In virtù della loro granulometria, composizione e forma servono a migliorare la struttura granulometrica della frazione fine. Vengono aggiunte, ad esempio, nel caso di calcestruzzi contenenti sabbie povere di frazioni fini, per ottenere un contenuto di fine sufficiente a conferire una buona lavorabilità e una struttura compatta.
Pozzolana naturale (Trass) Generi volatili Polvere silicea Microsilice	Tipo II Aggiunte minerali pozzolaniche o	Aggiunte minerali pozzolaniche. Reagiscono con l'idrossido di calcio risultante dall'idratazione del cemento formando prodotti di indurimento simili al cemento. Queste sostanze contribuiscono all'indurimento e, in virtù della loro granulometria, composizione e forma, servono a migliorare la struttura granulometrica della frazione fine.
Sabbia di scoria	idrauliche latenti	Sostanze idrauliche latenti Richiedono uno stimolante (idrossido di calcio o solfato di calcio), per poter indurire idraulicamente da soli.
Fibre		Le sostanze fibrose vengono impiegate soprattutto come fibre di acciaio, ma anche come fibre di vetro o di plastica. Esse possono migliorare le caratteristiche del calcestruzzo fresco e indurito (durezza, impermeabilità, lavorabilità).



Additivi del calcestruzzo

Gli additivi del calcestruzzo sono sostanze disciolte in acqua che vengono mescolate all'impasto per modificare, attraverso la loro azione fisica e/o chimica, le caratteristiche del calcestruzzo fresco o indurito, quali ad es. la lavorabilità, la presa, l'indurimento. La quantità di dosaggio di tali sostanze, riferita al peso del cemento, varia in genere dallo 0,2 al 2,0 M-%.

Qualora si preveda di impiegare contemporaneamente diversi additivi, bisogna consultarsi prima con i fornitori, in quanto in determinate circostanze gli effetti potrebbero annullarsi o esaltarsi a vicenda.



Azione degli additivi del calcestruzzo

Fluidificanti	FM	Riduzione del fabbisogno d'acqua e/o miglioramento della lavorabilità.
Ritardanti	VZ	Ritardo della presa del calcestruzzo; impiego ad es. in caso di posa in opera in fasi distinte, in presenza di elevate temperature esterne, ecc.
Aeranti	LP	Aumento della resistenza al gelo ed ai sali scongelanti attraverso l'introduzione di piccoli pori d'aria uniformemente distribuiti.
Acceleratori di indurimento	HBE	Accelerazione della resistenza iniziale, con o senza effetti sul tempo di presa. Impiego in caso di getto del calcestruzzo in periodo invernale.
Accelerante di presa	SBE	Accelerazione della presa del calcestruzzo.
Stabilizzanti	ST	Aumento della „coesione interna“ del calcestruzzo fresco.
Fluidificanti del calcestruzzo	BV	Riducono il fabbisogno d'acqua del calcestruzzo con conseguente miglioramento della sua lavorabilità, oppure, permettendo un risparmio d'acqua a parità di contenuto di cemento, comportano un aumento della resistenza meccanica del calcestruzzo.
Impermeabilizzanti	DM	Gli impermeabilizzanti (DM) sono impiegati nella costruzione di manufatti sotterranei o in acqua nonché di serbatoi. Essi hanno lo scopo di ridurre quanto più possibile la penetrazione di acqua nel calcestruzzo.
Additivi per iniezione	EH	Gli additivi per iniezione migliorano la fluidità, riducono il fabbisogno d'acqua e la sedimentazione nonché comportano un ridotto rigonfiamento delle malte per iniezione.



Materiali di base del calcestruzzo

Effetti degli additivi del calcestruzzo

Effetto su	Fluidificanti BV/FM	Accelerante SBE/HBE	Ritardanti VZ	Aeranti LP
Lavorabilità	++	-	+	+
Disaggregazione/efflorescenza	+		-	+
Presa: accelerazione		++		
ritardo	-		++	-
Pompabilità	+			-
Resistenza precoce	+	++	-	-
Resistenza finale	+	-	+	-
Permeabilità *	+	-		+
Resistenza al gelo	+	-	-	++
Getto del CLS con clima freddo	+	+	-	
Getto del CLS con clima caldo	+	-	+	

++ effetto positivo + possibile effetto positivo - possibile effetto negativo Fonte: esperienze pratiche

* La permeabilità nei corpi solidi definisce la loro tendenza a lasciar passare attraverso gas e/o fluidi.

Acqua di impasto/acqua aggiunta

Umidità superficiale	% d'acqua in aggiunte minerali/additivi	Acqua di impasto	Umidità interna
Contenuto totale d'acqua			
Contenuto d'acqua efficace			

L'acqua aggiunta all'impasto influisce sulla presa e sullo sviluppo della durezza del calcestruzzo nonché sulla protezione contro la corrosione dell'armatura. Con acqua di impasto si intende la quantità d'acqua complessiva contenuta nel calcestruzzo fresco, da considerarsi nel calcolo del rapporto acqua/cemento efficace.

L'acqua di impasto è costituita da:

- acqua aggiunta
- umidità superficiale degli inerti
- eventualmente acqua contenuta nelle aggiunte minerali e negli additivi, qualora la loro quantità complessiva sia superiore a 3 L/m³

Il contenuto totale d'acqua risulta dalla somma dell'acqua di impasto e dell'umidità interna.

Requisiti dell'acqua di impasto

Acqua potabile	Idonea per la produzione di calcestruzzo; non richiede controlli aggiuntivi.
Acqua residuale	In generale idonea per la produzione di calcestruzzo; tuttavia deve soddisfare a determinati requisiti.
Acqua superficiale naturale	Può essere idonea, ma deve essere controllata.
Acqua industriale, acqua di falda	Frequenza dei controlli: prima del primo impiego e successivamente una volta all'anno e nei casi dubbi.
Acque reflue	In linea di principio non idonee.
Acqua marina	Può essere utilizzata per calcestruzzo non armato; in genere non è idonea per calcestruzzo armato e precompresso.

Aggregati

Per aggregato si intende una miscela di sabbia e ghiaia di diverse granulometrie. Esso costituisce la frazione maggiormente presente nel calcestruzzo. Gli aggregati possono essere costituiti da materie prime naturali, industriali o riciclate. È importante che gli aggregati siano frazionati e mescolati in modo ottimale, dalla frazione fine a quella più grossolana, in modo da riempire tutti gli spazi vuoti.

Un aggregato di buona qualità ha diversi vantaggi rispetto alla pasta cementizia in cui è immerso, e precisamente:

- maggiore durezza
- migliore durabilità
- nessuna variazione di volume a causa di umidità e quindi riduzione del ritiro nel calcestruzzo
- assorbimento del calore di idratazione e quindi effetto smorzante sul processo di presa

Le principali caratteristiche dell'aggregato inerte sono:

- composizione granulometrica
- petrografia, forma del granulo, caratteristiche superficiali
- pulizia
- massa volumica, peso specifico, contenuto di umidità, assorbimento idrico



Classificazione degli aggregati

Classificazione in base a	Aggregato	Definizione/prestazione
provenienza	naturale	<ul style="list-style-type: none"> ■ origine minerale naturale ■ esclusivamente pretrattamento meccanico
	prodotto industrialmente	<ul style="list-style-type: none"> ■ origine minerale ■ produzione industriali (processo termico o altro)
	riciclato	<ul style="list-style-type: none"> ■ materiale inorganico prodotto da materiali di riciclo ■ termine generale per pietrisco e sabbia di frantoio riciclati
	ghiaia	<ul style="list-style-type: none"> ■ material naturale tondeggiate
	pietrisco	<ul style="list-style-type: none"> ■ materiale di frantoio
peso specifico	normale	<ul style="list-style-type: none"> ■ massa volumica del granulo > 2000 kg/m³ ■ origine minerale
	leggero	<ul style="list-style-type: none"> ■ massa volumica del granulo ≤ 2000 kg/m³ o peso specifico sfuso ≤ 1200 kg/m³ ■ origine minerale
finezza	grossolano	<ul style="list-style-type: none"> ■ D ≥ 4 mm e d ≥ 2 mm
	fine	<ul style="list-style-type: none"> ■ D ≤ 4 mm (sabbia)
	frazione fine	<ul style="list-style-type: none"> ■ granulometria < 0,063 mm
	filler (inerte farinoso)	<ul style="list-style-type: none"> ■ granulometria prevalente < 0,036 mm

Materiali di base del calcestruzzo



Composizione granulometrica

La composizione granulometrica degli aggregati inerti del calcestruzzo determina la densità e il fabbisogno d'acqua di una miscela di calcestruzzo, necessari per raggiungere una sufficiente lavorabilità. La composizione granulometrica degli aggregati inerti viene determinata per mezzo di setacci e rappresentata per mezzo di curve granulometriche indicanti le frazioni percentuali in peso degli aggregati, minori delle relative dimensioni del granulo. Si distingue tra granulometria fine (sabbia, sabbia di frantoio) e grossolana (ghiaia, pietrisco). Le frazioni granulometriche fini hanno un valore limite del 15 % di non passante al setaccio.

Frazione fine

È la frazione di un aggregato inerte passante attraverso un setaccio da 0,063 mm. La frazione fine può modificare in modo persistente le caratteristiche del calcestruzzo. Il contenuto di fine viene determinato mediante prova di dilavamento.

Frazione farinosa

Frazione < 0,125 mm della miscela secca di calcestruzzo (aggregati inerti, cemento, aggiunte minerali) non contenente sostanze limose e minerali argillosi rigonfianti.

Dimensione dei granuli

Descrive la dimensione dei singoli granuli.

Miscela granulometrica 0/D

Miscela di aggregati inerti di granulometria fine e grossolana (ad es. 0/8, 0/16).

Aggregati inerti	Gruppi granulometrici d / D in mm				
Aggregati inerti fini (sabbia) d = 0 e D ≤ 4 mm	0/1	0/2	0/4		
Aggregati inerti grossolani a classificazione ristretta D ≤ 11,2 mm e D/d ≤ 4 o D > 11,2 mm e D/d ≤ 2 mm	2/4	2/8	4/8		
				8/16	16/32
Aggregati inerti grossolani a classificazione allargata D > 11,2 mm e D/d > 2 o D < 11,2 mm e D/d > 4 mm	2/16 1/8	4/16	4/32	8/32	

Gruppo granulometrico d/D

Il gruppo granulometrico (granulometria di fornitura) viene definito mediante indicazione di due dimensioni granulometriche (setacci limite).

Ad esempio: 2/4 mm o 2–4 mm.

„d“ = 2 mm e „D“ = 4 mm

d = setaccio limite inferiore

D = setaccio limite superiore

In un gruppo granulometrico sono presenti anche granuli di dimensioni

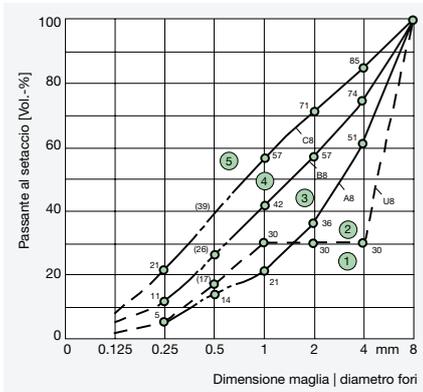
minori e maggiori rispetto al cosiddetto granulo nominale.

Le granulometrie vanno determinate utilizzando i valori del set di setacci base o del set di setacci integrativo. Con una curva granulometrica è possibile rappresentare in forma grafica le granulometrie degli aggregati inerti (ghiaia, pietrisco, sabbia, ecc.).

La curva viene determinata mediante setacci di diversa grandezza.

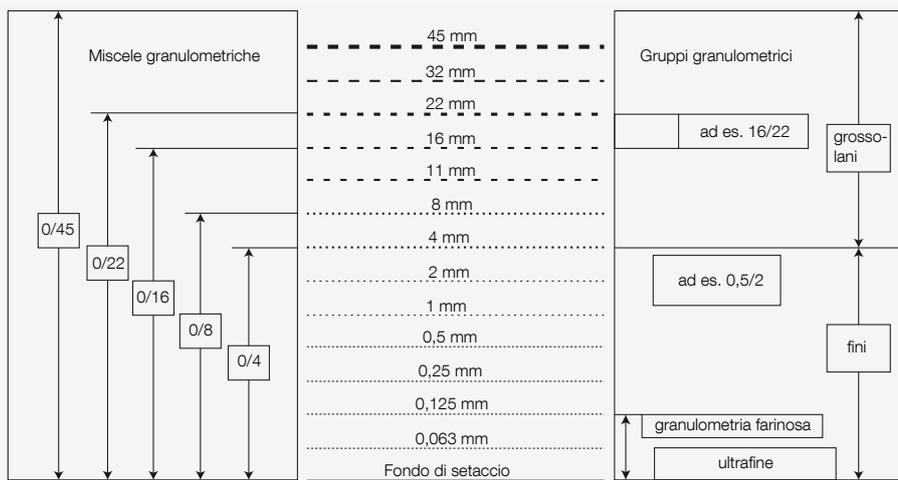
Set di setacci base	0 - 1 - 2 - 4 - 8 - 16 - 31,5 - 63 mm
Set di setacci integrativo	5,6 - 11,2 - 22,4 - 45 mm
Setacci a maglia	0,063 - 0,125 - 0,25 - 0,5 - 1,0 - 2,0
Setacci a foro quadrato	4 - 8 - 11,2 - 16 - 22,4 - 31,5 - 45 - 63

Le seguenti curve granulometriche hanno valore puramente informativo



- 1 granulometria grossolana
- 2 granulometria eccedente
- 3 granulometria grossa-media
- 4 granulometria media-fine
- 5 granulometria fine

Classificazione granulometrica



Petrografia, forma granulometrica, caratteristiche superficiali

Il materiale poroso e troppo tenero compromette la qualità del calcestruzzo. La forma ma anche la varietà granulometrica e le caratteristiche superficiali sono determinanti per quanto riguarda il fabbisogno d'acqua e la costipabilità.

Gli aggregati di forma irregolare possono ad es. migliorare la resistenza alla compressione, alla trazione ed all'abrasione del calcestruzzo, ma ne peggiorano la lavorabilità.



sferico, tondeggiante

naturalmente lisci



non sferico, tondeggiante



sferico, spigoloso

irregolare, scabro



non sferico, spigoloso



Purezza

Gli aggregati contenenti impurità comportano una riduzione della qualità del calcestruzzo:

- danneggiamento della presa
- indebolimento della resistenza al gelo

Perciò gli aggregati vengono lavati in fase di pretrattamento.



Massa volumica, peso specifico sfuso, contenuto di umidità e assorbimento idrico

I minerali originari e la porosità determinano la loro massa volumica, necessaria per il calcolo del volume del conglomerato.

Il peso specifico sfuso è la massa del materiale sfuso per unità di volume. Il contenuto di umidità è la somma dell'umidità superficiale e dell'umidità profonda nella produzione del calcestruzzo. Il contenuto di umidità va considerato nel calcolo del volume degli aggregati e dell'acqua di aggiunta. L'assorbimento idrico indica l'acqua assorbita dagli aggregati e quindi non disponibile per l'idratazione del cemento.

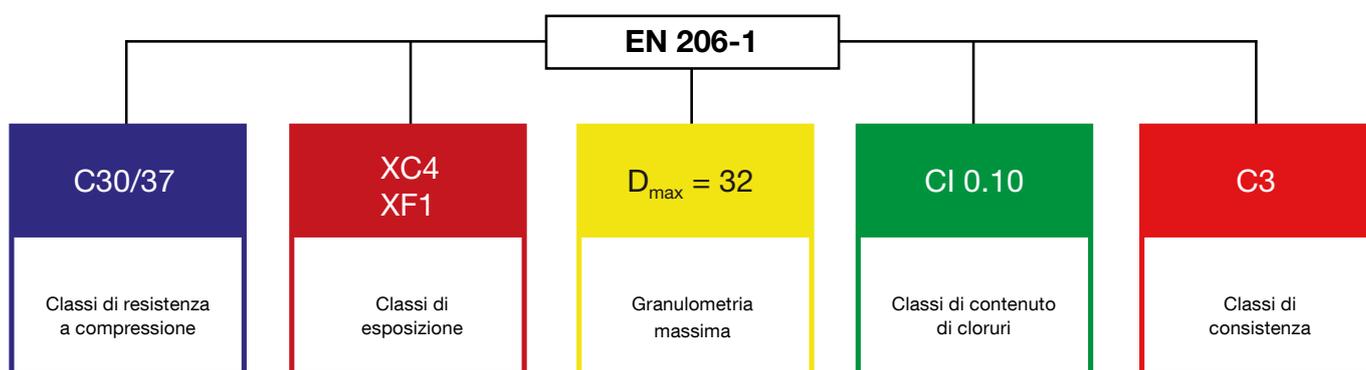
Categorie e caratteristiche degli aggregati

Requisiti	Caratteristica	Categoria
Geometrici	<ul style="list-style-type: none"> ■ gruppo granulometrico ■ composizione granulometrica ■ forma dei granuli ■ frazioni fini ■ contenuto di conchiglie di aggregati grossolani 	<ul style="list-style-type: none"> ■ d/D ■ G ■ FI, SI ■ f ■ SC
Chimici	<ul style="list-style-type: none"> ■ contenuto di ioni cloruro solubili in acqua ■ contenuto di solfato solubili in acido ■ zolfo totale 	<ul style="list-style-type: none"> - ■ AS -
Fisici	<ul style="list-style-type: none"> ■ resistenza allo sbriciolamento ■ resistenza all'usura di aggregati grossolani ■ resistenza alla lucidatura di aggregati grossolani ■ resistenza all'abrasione di aggregati grossolani ■ resistenza di aggregati grossolani all'abrasione da parte di pneumatici chiodati ■ resistenza al gelo ed ai sali scongelanti 	<ul style="list-style-type: none"> ■ LA, SZ ■ MDE ■ PSV ■ AAV ■ AN ■ F, MS
Altri	<ul style="list-style-type: none"> ■ sostanze che danneggiano la presa e l'indurimento ■ impurità organiche leggere 	<ul style="list-style-type: none"> - -

Scelta del tipo di calcestruzzo

Il calcestruzzo può essere classificato o in base alle sue caratteristiche o in base alla sua composizione.

In caso di scelta in base alla composizione il produttore del calcestruzzo è responsabile della fornitura di un materiale di composizione conforme a quella stabilita dall'ordinante. In caso di scelta del calcestruzzo in base alle sue caratteristiche vengono stabilite le caratteristiche nonché gli altri requisiti richiesti. Il produttore è responsabile della produzione di calcestruzzo conforme alle caratteristiche nonché agli altri requisiti richiesti.



Il calcestruzzo in base alle caratteristiche viene definito da:

- Classi di resistenza a compressione (influenza dell'ambiente sul calcestruzzo indurito)
- Granulo massimo di aggregato (inerti)
- Contenuto di cloruri (nel calcestruzzo fresco)
- Consistenza
- Massa volumica (solo per calcestruzzo alleggerito)

Classi di resistenza a compressione

Classi di resistenza a compressione secondo EN 206-1

Concrete (termine inglese per calcestruzzo) C	Resistenza a compressione cilindrica 25		Resistenza a compressione cubica 30	
---	--	---	--	---

La resistenza a compressione è una delle caratteristiche più importanti del calcestruzzo. In base alla resistenza a compressione il calcestruzzo è classificabile in una delle classi previste dalla legge, ad es.: C 25/30. La valutazione viene effettuata in base a prova dopo 28 giorni su provini cilindrici di 30 cm di lunghezza e di 15 cm di diametro oppure provini cubici di 15 cm di lato. Un calcestruzzo C 25/30 ha una resistenza caratteristica a compressione cilindrica di 25 N/m² nonché una resistenza caratteristica a compressione cubica di 30 MPa.

Classi di resistenza a compressione

	Classi di resistenza a compressione	Cilindro ^{1) 2)} $f_{ck,cyl}$ [MPa]	Cubo ^{1) 3)} $f_{ck,cube}$ [MPa]
CLS normale e pesante	C 8/10	8	10
	C 12/15	12	15
	C 16/20	16	20
	C 20/25	20	25
	C 25/30	25	30
	C 30/37	30	37
	C 35/45	35	45
	C 40/50	40	50
	C 45/55	45	55
CLS ad alta resistenza	C 50/60	50	60
	C 55/67	55	67
	C 60/75	60	75
	C 70/85	70	85
	C 80/95	80	95
	C 90/105	90	105
CLS leggero ad alta resistenza	C 100/115	100	115
	LC 55/60	55	60
	LC 60/66	60	66
	LC 70/77	70	77
	LC 80/88	80	88

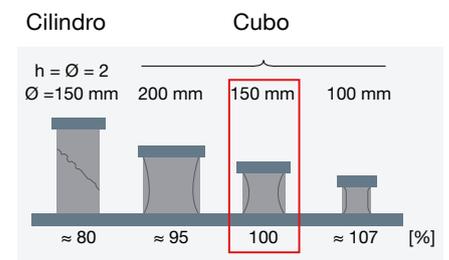
1) Conservazione del provino in acqua, stagionatura 28 giorni

2) Cilindro: diametro = 150 mm, lunghezza = 300 mm

3) Cubo: lunghezza lato = 150 mm

Influenza delle dimensioni del provino

La resistenza a compressione di provini cubici diminuisce, a parità di condizioni, all'aumentare della lunghezza del lato ovvero delle dimensioni del cubo. La resistenza a compressione cilindrica è circa del 15–20 % inferiore rispetto alla resistenza a compressione cubica. A tale riguardo va fatto presente che questo rapporto vale solo per un'età dei provini di 28 giorni e una conservazione in condizioni normali.



Parametri determinanti per la resistenza a compressione

- Rapporto acqua/cemento
- Classe di resistenza del cemento
- Quantità di cemento
- Quantità e tipo di aggiunte minerali
- Composizione granulometrica
- Durezza dei granuli
- Costipazione
- Post-trattamento

Una resistenza a compressione elevata non è equivalente ad una durezza elevata.



Scelta del tipo di calcestruzzo

Classi di esposizione

Per garantire una sufficiente durabilità gli elementi in calcestruzzo devono possedere una adeguata resistenza agli agenti chimici e fisici legati all'ambiente ed al tipo di utilizzo. I manufatti sono durevoli se durante il periodo di utilizzo previsto sono in grado di garantire la loro funzione in termini di portanza e idoneità di impiego senza

sostanziale perdita delle caratteristiche d'uso e con oneri di manutenzione adeguati.

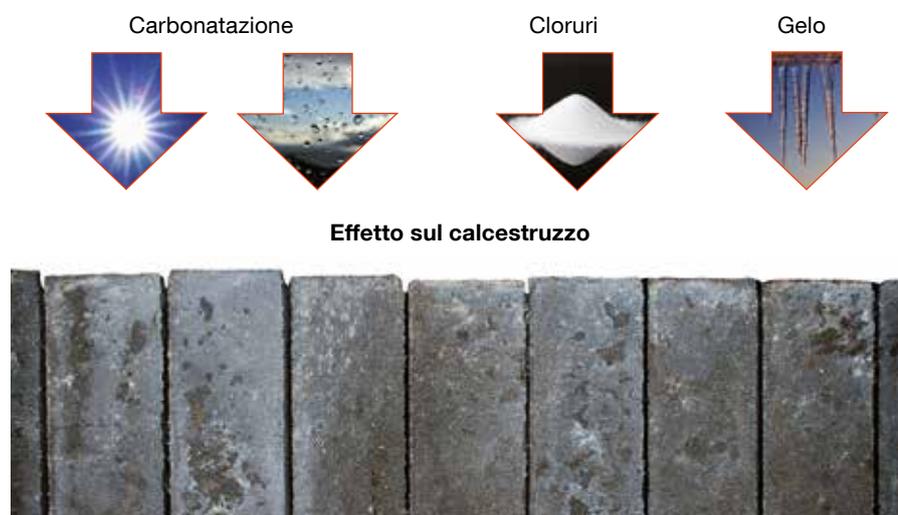
Per garantire tutto ciò è necessario avere una sufficiente copertura in calcestruzzo dei ferri di armatura nonché una composizione del calcestruzzo idonea.

Requisiti inerenti alla composizione del calcestruzzo

- Rapporto massimo acqua/cemento
- Contenuto minimo di cemento
- Contenuto d'aria del calcestruzzo
- Impiego di tipi di cemento ammissibili
- Regole di calcolo per additivi del calcestruzzo (concetto del coeff. K)

Classi di esposizione in conformità a EN 206-1

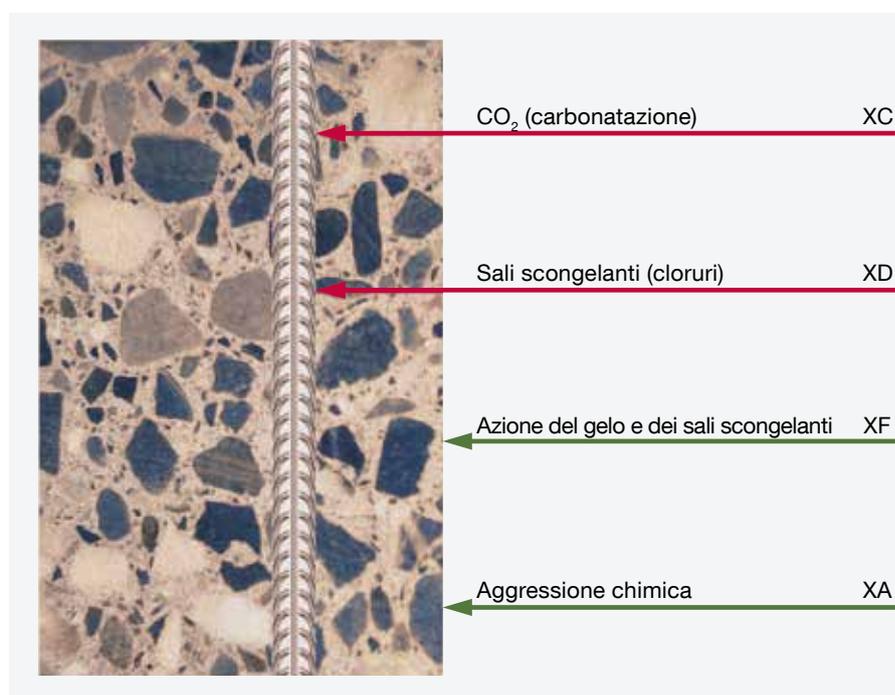
Le classi di esposizione descrivono l'influenza dell'ambiente sul calcestruzzo indurito. Il calcestruzzo può essere esposto a diversi agenti e ciò si deve tradurre in una combinazione delle classi di esposizione.



Le sigle delle singole classi di esposizione sono composte dalla lettera X (per esposizione), da una lettera caratteristica del tipo di effetto nocivo e da una cifra che caratterizza l'intensità degli effetti dannosi. Esempio: XC3 / XD1 / XF2 / XA1

Per i diversi tipi di agenti vengono utilizzate le seguenti abbreviazioni inglesi:

- **0** per „rischio zero“ (nessun rischio di corrosione o di aggressione)
- **C** per „Carbonation“ = carbonatazione (corrosione dovuta a carbonatazione)
- **D** per „Deicing salt“ = sale scongelante (corrosione dovuta a cloruri)
- **S** per „Seawater“ = acqua marina (corrosione dovuta ad acqua marina)
- **F** per „Frost“ = gelo (aggressione del gelo con o senza sali scongelanti)
- **A** per „Chemical Attack“ (attacco chimico)
- **M** per „Mechanical Abrasion“ (aggressione meccanica, abrasione, ecc.)



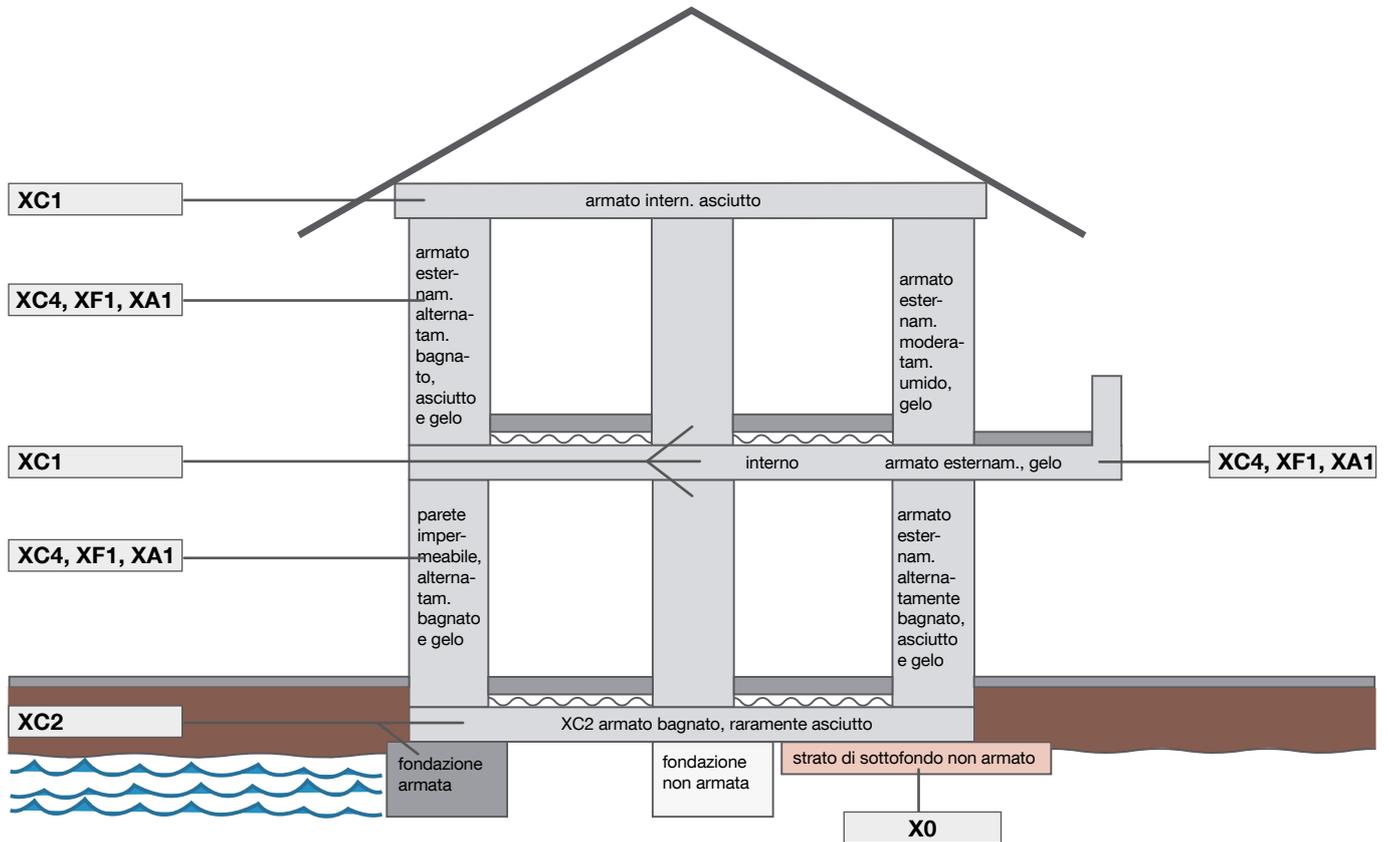
Classi di esposizione

Classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi di classificazione
Nessun rischio di corrosione o di aggressione per calcestruzzo e armatura		
X0	Per calcestruzzo senza armatura	
Corrosione dovuta a carbonatazione		
XC1	Asciutto o costantemente umido	In edifici con bassa umidità dell'aria, calcestruzzo costantemente sotto acqua.
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Superfici bagnate dall'acqua per lunghi periodi, cantieri di fondazioni.
XC3	Umidità moderata	In edifici con umidità dell'aria da moderata a elevata, calcestruzzo all'aperto, protetto dalla pioggia.
XC4	Alternarsi di bagnato e asciutto	Elementi costruttivi esposti direttamente alla pioggia.
Corrosione dovuta a cloruri		
XD1	Umidità moderata	Superfici di calcestruzzo esposte a nebbia contenente cloruri.
XD2	Bagnato, raramente asciutto	Piscine, calcestruzzo esposto ad acque industriali contenenti cloruri.
XD3	Alternarsi di bagnato e asciutto	Parti di ponti esposte ad acque spruzzate contenenti cloruri; parcheggi; carreggiate stradali.
Aggressione del gelo e sali scongelanti		
XF1	Moderata saturazione d'acqua, senza sali scongelanti	Superfici di calcestruzzo verticali esposte a pioggia e gelo.
XF2	Moderata saturazione d'acqua, con sali scongelanti	Superfici di calcestruzzo verticali di strutture stradali esposte a nebbie contenenti sali scongelanti.
XF3	Moderata saturazione d'acqua, senza sali scongelanti	Superfici di calcestruzzo orizzontali esposte a pioggia e gelo.
XF4	Elevata saturazione d'acqua, con sali scongelanti	Superfici di calcestruzzo orizzontali di strutture stradali esposte al gelo ed a nebbie contenenti sali scongelanti, solette di strade e di ponti esposte a sali scongelanti.
Aggressione chimica		
XA1	Ambiente chimicamente debolmente aggressivo (secondo tabella p. 29)	Nel caso della classe di esposizione XA per la determinazione della composizione del calcestruzzo e/o per l'esecuzione dei relativi controlli è necessario coinvolgere dei tecnici specializzati.
XA2	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo (secondo tabella p. 29)	
XA3	Ambiente chimicamente fortemente aggressivo (secondo tabella p. 29)	
Aggressione di usura		
XM1	Moderata sollecitazione di usura	Pavimenti industriali portanti o rinforzati sollecitati da transito di mezzi con ruote con pneumatici.
XM2	Forte sollecitazione di usura	Pavimenti industriali portanti o rinforzati sollecitati da transito di mezzi con ruote con pneumatici o gomma piena
XM3	Fortissima sollecitazione di usura	Pavimenti industriali portanti o rinforzati sollecitati da transito di carrelli elevatori su rulli rivestiti con elastomeri o acciaio. Superfici soggette a frequente transito di mezzi con catene. Strutture idrauliche in acque trasportanti materiali detritici, ad es. bacini di ritenzione.

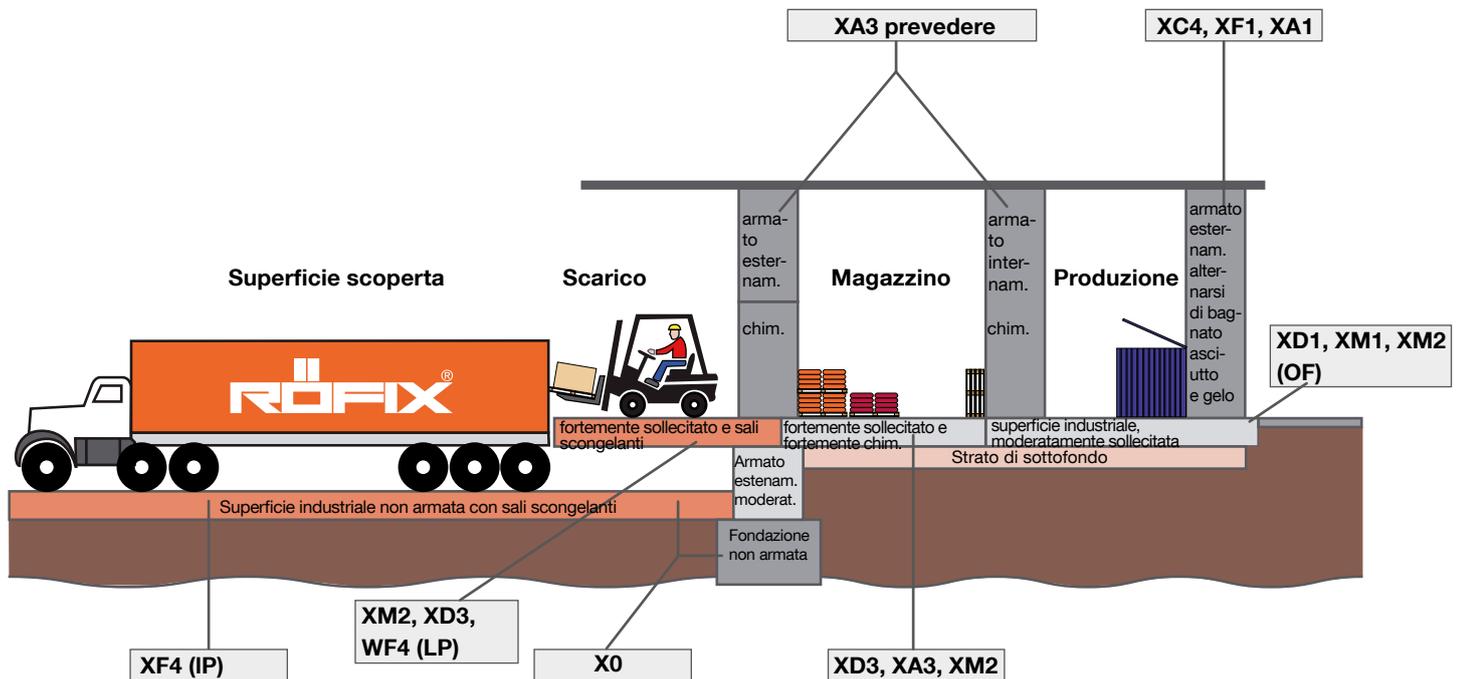
Scelta del tipo di calcestruzzo

Esempio

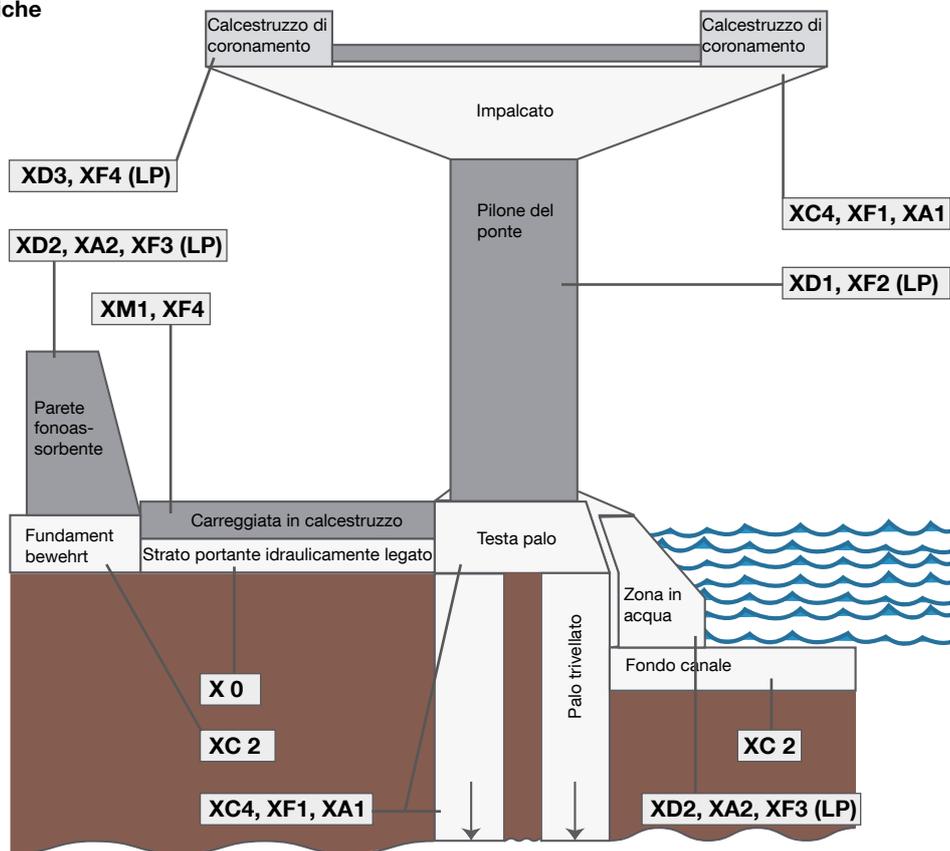
Calcestruzzi per l'edilizia



Calcestruzzi per costruzioni industriali



Calcestruzzi per strutture ingegneristiche



Scelta del tipo di calcestruzzo

Corrosione

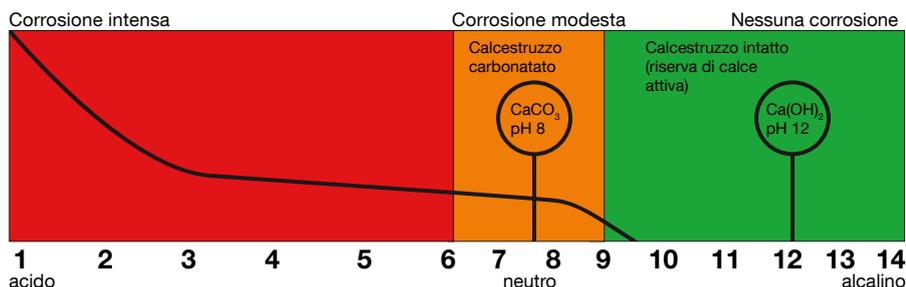
Una condizione necessaria per la durata delle strutture in cemento armato e c.a. precompresso è un'adeguata protezione contro la corrosione dell'acciaio (strato passivo) dovuta all'alcalinità dell'acqua nei pori del calcestruzzo. In condizioni

pratiche questa passività può andare persa a causa di due tipi di processi, in grado soprattutto di influenzare le caratteristiche chimiche o elettrochimiche del calcestruzzo, e precisamente:

- carbonatazione del calcestruzzo con conseguente abbassamento del pH a valori inferiori a 10
- cloruri presenti nell'acqua dei pori in concentrazioni superiori ad un certo valore critico

Carbonatazione – causa di corrosione

La carbonatazione o corrosione del calcestruzzo è una reazione chimica che si verifica in ogni tipo di calcestruzzo. Conseguenza della reazione è la riduzione del pH dell'acqua dei pori da un valore mediamente di 12,6 a valori inferiori a 9. Per valori di pH superiori a 10 sulla superficie dei ferri di armatura annegati nel calcestruzzo si forma uno strato di passivazione che serve a proteggere durevolmente l'acciaio dalla corrosione. Se il pH nel calcestruzzo diminuisce, sorge immediatamente il rischio di danni alle strutture in cemento armato.



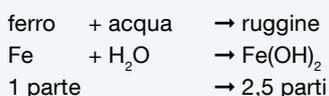
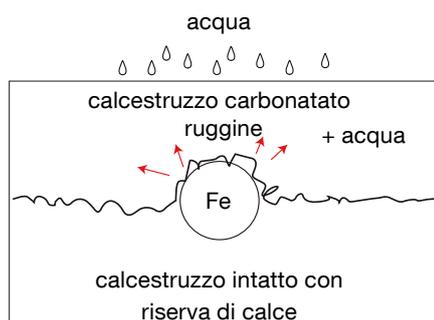
Velocità del processo di carbonatazione

La velocità con la quale il fronte di carbonatazione si sposta all'interno del calcestruzzo è tanto maggiore quanto più poroso è il calcestruzzo. Il rapporto acqua/cemento è quindi

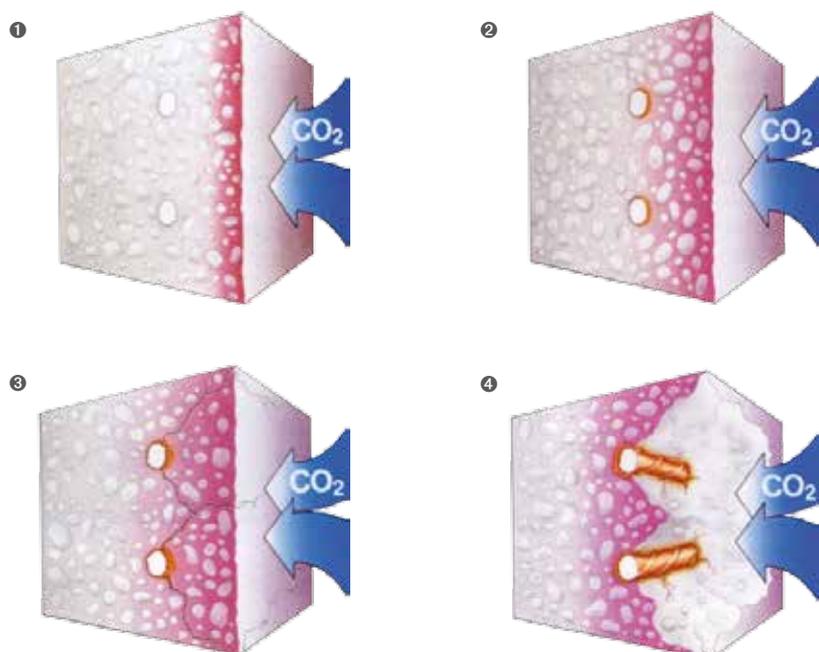
determinante rispetto alla velocità ed alla profondità della carbonatazione. Oltre a ciò, sulla velocità e quindi sulla profondità di carbonatazione influiscono tutta una serie di altri fattori,

quali il contenuto di cemento, l'andamento della temperatura, l'umidificazione periodica o continuativa o addirittura l'assenza di umidificazione del calcestruzzo.

Svolgimento del processo di carbonatazione



Processo di carbonatazione



- ❶ La CO_2 (anidride carbonica) inizia a neutralizzare il calcestruzzo.
- ❷ Il fronte di carbonatazione si sposta dalla superficie all'interno del calcestruzzo.
- ❸ Il fronte di carbonatazione raggiunge i ferri di armatura. In combinazione con acqua e ossigeno si avvia la corrosione dell'acciaio.
- ❹ La ruggine occupa un volume molto maggiore rispetto all'acciaio ed esercita quindi una forte pressione sulla copertura in calcestruzzo; questa si spacca lasciando scoperti i ferri di armatura.

Corrosione causata da cloruri

I cloruri sono sali incolori o colorati che possono esistere nelle strutture cristalline più diverse. Per quanto riguarda la tecnologia del calcestruzzo le fonti principali di cloruri sono tra l'altro i sali scongelanti e l'acqua marina. Sebbene i cloruri non aggrediscano direttamente il calcestruzzo, possono – qualora vi sia umidità sufficiente – determinare il fenomeno della corrosione perforante dei ferri di armatura nel calcestruzzo. In caso di formazione di ghiaccio o di neve le superfici di calcestruzzo soggette a passaggio di persone o automezzi vengono cosparse di prodotti scongelanti, in genere sali antigelo. Il tipo di sale normalmente impiegato (NaCl) contiene un'elevata percentuale di cloruro.

Aggressione da gelo e sali scongelanti

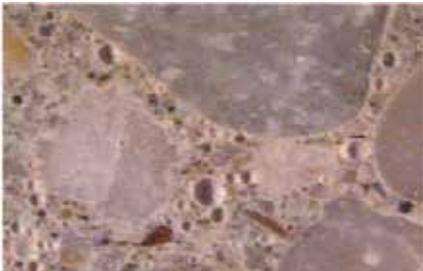
In caso di aggressione da parte del gelo il calcestruzzo viene danneggiato dall'alternarsi di fasi di congelamento con fasi di scongelamento. In tale processo l'acqua presente nei pori capillari del calcestruzzo si trasforma in ghiaccio, con un aumento di circa il 9 % del volume iniziale. Tale aumento di volume dà luogo a pressioni e tensioni elevate all'interno della massa, che infine determinano dei fenomeni di distacco superficiale e di frantumazione del calcestruzzo. L'effetto dannoso dei sali scongelanti è dovuto allo shock termico che si determina negli strati superficiali del calcestruzzo. Infatti tali sali sottraggono al calcestruzzo il calore necessario per sciogliere la neve o il ghiaccio.

Ciò determina un calo assai repentino della temperatura che, con lo stesso meccanismo visto nel caso del gelo, genera elevate pressioni e tensioni all'interno della massa con conseguenti fenomeni di distacco sulla superficie del calcestruzzo. L'effetto dannoso dei sali scongelanti è molto più intenso che non nel caso di sola azione del gelo.

Scelta del tipo di calcestruzzo

Composizione del calcestruzzo in caso di aggressione da gelo e sali scongelanti

Una composizione adeguata del calcestruzzo può evitare in modo consistente i danni dovuti al gelo ed ai prodotti scongelanti. In linea di principio l'aumento di densità della struttura del calcestruzzo comporta un aumento della sua resistenza alla penetrazione di acqua o di cloruri. Una bassa capillarità del calcestruzzo ostacola la migrazione dell'acqua dall'esterno all'interno della massa del calcestruzzo e la formazione di ghiaccio nei pori capillari. Attraverso speciali additivi (prodotti aeranti) si introducono artificialmente nel calcestruzzo dei micropori d'aria, chiusi, di forma sferica e finemente distribuiti, che fungono da vasi di espansione. Inoltre essi interrompono la continuità del sistema capillare del calcestruzzo, riducendone quindi l'assorbimento idrico.



Contenuto minimo d'aria [Vol.-%] nel calcestruzzo fresco con D_{\max} 8 mm
LP = 4,0–6,0 %

Quanto maggiore è la granulometria tanto minore è il contenuto minimo d'aria.

I pori d'aria hanno un diametro \varnothing variabile da 10 μm fino a 300 μm .
 (Micrometer \rightarrow 10 μm = 0,01 mm / 300 μm 0,3 mm)

Accanto all'effetto positivo dei micropori d'aria si ha però una riduzione della resistenza del calcestruzzo.

L'entità di tale riduzione è circa del seguente ordine di grandezza:

+ 1 % di contenuto di pori d'aria \rightarrow riduzione della resistenza a compressione f_c di fino a 5 MPa. In linea di principio la produzione e la lavorazione di calcestruzzo poroso sono molto impegnative e sono condizionate da molti fattori, quali ad esempio:

- materiali impiegati per il calcestruzzo
- consistenza del calcestruzzo
- tempo e intensità di miscelazione
- temperatura
- tipo e durata della costipazione



Aggressione chimica

Senza umidità non ci può essere alcuna aggressione chimica sul calcestruzzo. Sostanze solide o gassose secche non aggrediscono il calcestruzzo (ma l'umidità di condensa è sufficiente per creare problemi). A seconda del tipo di azione delle sostanze aggressive sul calcestruzzo si distinguono azioni dilatanti e azioni solventi.

La dilatazione è causata in primo luogo dai solfati disciolti in acqua, che reagiscono con determinati componenti del cemento. Ciò determina un aumento di volume che a sua volta può comportare una disgregazione del calcestruzzo.

L'azione **solvente**, che comporta la soluzione di composti calcarei dal cemento, può essere determinata da acidi, sali scambiabili nonché grassi ed oli vegetali e animali. In tal caso si determina in genere una progressiva e lenta abrasione superficiale del calcestruzzo.

Misure protettive

Per la protezione del calcestruzzo dall'aggressione da parte di sostanze chimiche esterne è necessario prevedere:

- la produzione e la realizzazione di un calcestruzzo impermeabile con un rapporto acqua/cementoeq di valore compreso tra 0,45 bis 0,50
- un'adeguata copertura del calcestruzzo, senza eccezioni anche in corrispondenza di giunti e gradini.



Valori limite per classi di esposizione XA

Parametro chimico	XA1	XA2	XA3
Acqua di falda	debolmente aggressivo	moderatamente aggressivo	fortemente aggressivo
SO ²⁻ [mg/L]	≥ 200 e ≤ 600	> 600 e ≤ 3.000	> 3.000 e ≤ 6.000
pH-Wert	≤ 6,5 e ≥ 5,5	< 5,5 e ≥ 4,5	< 4,5 e ≥ 4,0
CO ₂ [mg/L]	≥ 15 e ≤ 40	> 40 e ≤ 100	> 100 fino a saturazione
NH ₄ [mg/L]	≥ 15 e ≤ 30	> 30 e ≤ 60	> 60 e ≤ 100
Mg ²⁺ [mg/L]	≥ 300 e ≤ 1.000	> 1.000 e ≤ 3.000	> 3.000 fino a saturazione
Terreno			
SO ₄ ²⁻ [mg/L]	≥ 2.000 e ≤ 3.000	> 3.000 e ≤ 12.000	> 12.000 e ≤ 24.000
Acidità	> 200 Baumann-Gully	non riscontrabile in pratica	non riscontrabile in pratica

Scelta del tipo di calcestruzzo

Azione di diverse sostanze chimiche

Sostanza chimica	Calcestruzzo non armato			Calcestruzzo armato
	Nessun danno	Aggressione solvente Decomposizione chimica	Aggressione dilatante Alterazione della struttura	Corrosione dei ferri di armatura
Basi (alcali)				
Basi deboli	•			
Basi forti	•			
Acidi forti				■
Acidi minerali (acido solforico, cloridrico e nitrico)		◆◆		■
Acidi deboli				■
Acidi organici (acido acetico, lattico, butirrico)		◆		■
Acido carbonico solvente del calcare		◆		■
Anidride carbonica (CO ₂)	•			■
Sali				
Sali di ammonio e di magnesio		◆		■
Oli, grassi				
Oli e grassi naturali animali e vegetali		◆		
Oli e grassi minerali sintetici	•			
Solfati				
Solfati disciolti (dilatazione da solfati)			◆	■
Cloruri				
Cloruri disciolti	•			◆
Acqua				
Acqua piovana, distillata, demineralizzata		◆		■
Acqua dolce, a basso contenuto di calcare		◆		■
Acqua acida (pH < 6,5)		◆		■

- nessun danno
- ◆ aggressione diretta
- corrosione come conseguenza dell'alterazione superficiale del calcestruzzo o spinta in profondità fino ai ferri d'armatura

La tabella mostra se e come diverse sostanze chimiche, che entrano frequentemente in contatto col calcestruzzo, possono agire su di esso. Nella definizione delle caratteristiche del calcestruzzo in conformità alla norma EN 206-1 bisogna tenere conto delle condizioni ambientali agenti.



Sollecitazioni di usura

Le sollecitazioni di usura possono essere prodotte da traffico su slitta o su ruota (ad es. carreggiate stradali, pavimenti di capannoni), da strisciamento di materiali sfusi (ad esempio in silo), da urti di oggetti pesanti (ad es. in officine, su rampe di carico) oppure da acque impetuose con trasporto di materiali solidi (ad es. in bacini di ritenzione, canali di scarico di materiali detritici). Queste sollecitazioni possono comportare, qualora il calcestruzzo non possieda una sufficiente resistenza all'usura, un'abrasione superficiale o anche formazione di avvallamenti locali.



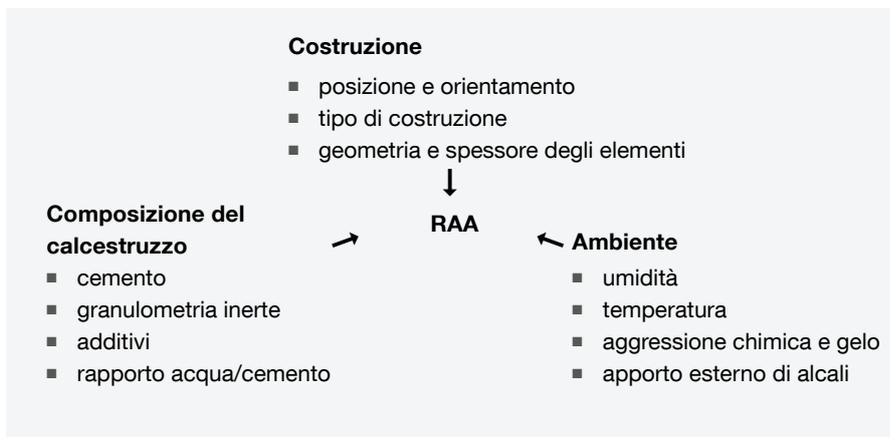
Reazione alcali-aggregati (RAA)

In generale si definisce reazione alcali-aggregati una reazione tra i componenti degli aggregati e la soluzione alcalina presente nei pori del calcestruzzo. Certi aggregati, a causa della loro composizione, sono instabili nell'ambiente alcalino del calcestruzzo. La dilatazione del calcestruzzo conseguente da tale reazione espansiva può comportare dei danni. La RAA avviene praticamente in ogni calcestruzzo. Tutti i tipi di aggregati reagiscono in misura maggiore o minore con gli alcali della soluzione presente nei pori del calcestruzzo allorché si verificano contemporaneamente le tre condizioni seguenti:

- aggregati reattivi
- contenuto alcalino efficace
- umidità sufficiente

Segni di riconoscimento esterni alla costruzione

- Fessure poligonali (dell'ordine dei decimetri fino ai metri)
- Umidità lungo le fessure
- Depositi di gel lungo le fessure
- Struttura ondulata della superficie del calcestruzzo
- Distacchi sopra i granuli inerti
- Macchie di colore sulla superficie del calcestruzzo
- Orlature di reazione attorno ai granuli inerti



Parametri influenzanti la reazione RAA dannosa

Segni di riconoscimento interni

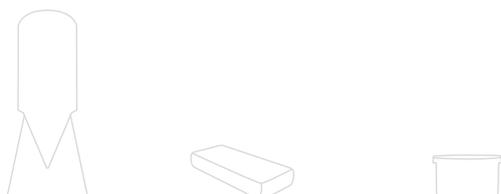
Delle importanti indicazioni sulle cause di danni nel calcestruzzo si possono ricavare dall'osservazione al microscopio di lastre di materiale preparato. Sulla base delle modificazioni della microstruttura del calcestruzzo, come ad es. fessure o depositi di gel, è possibile identificare delle reazioni dannose di tipo RAA nel calcestruzzo. Inoltre è possibile accertare i tipi di aggregati e di minerali interessati.

Scelta del tipo di calcestruzzo

Valori limite consigliati per la composizione del calcestruzzo

			Rapporto max a/c	Classe min. res. a compr.	Contenuto min. cemento (kg/m ³)	Contenuto min. aria (%)	Altri requisiti	
Classi di esposizione	Nessun rischio di corrosione o aggressione		X0	-	C12/15	-	-	
	Corrosione causata da carbonatazione		XC1	0,65	C20/25	260	-	
			XC2	0,60	C25/30	280	-	
			XC3	0,55	C30/37	290	-	
			XC4	0,50	C30/37	300	-	
	Corrosione causata da cloruri	Acqua marina	XS1	0,50	C30/37	300	-	
			XS2	0,45	C35/45	320	-	
			XS3	0,45	C35/45	340	-	
		Cloruri ad esclusione di acqua marina	XD1	0,55	C30/37	300	-	
			XD2	0,55	C30/37	300	-	
			XD3	0,45	C35/45	320	-	
	Aggressione da gelo		XF1	0,55	C30/37	300	-	Granulometria inerti sec. prEN 12620:2000 con sufficiente resistenza al gelo e ai sali scongelanti
			XF2	0,55	C25/30	300	4,0 ^a	
			XF3	0,50	C30/37	320	4,0 ^a	
			XF4	0,45	C30/37	340	4,0 ^a	
	Ambiente chimico aggressivo		XA1	0,55	C30/37	300	-	Cemento resistente ai solfati
			XA2 ^b	0,50	C30/37	320	-	
XA3 ^b			0,45	C35/45	360	-		

- a Qualora non venga impiegato calcestruzzo porizzato, le sue caratteristiche vanno verificate con un idoneo procedimento di prova rispetto a quelle del CLS per cui è stata accertata la resistenza al gelo-sali scongelanti per le classi di esposizione determinanti
- b Se la presenza di SO₄⁻ comporta le classi di esposizione XA2 e XA3, è indispensabile l'impiego di cemento resistente ai solfati. Quando il cemento è classificato riguardo alla resistenza ai solfati, va impiegato cemento con moderata o elevata resistenza ai solfati per la classe di esposizione XA2 (e per la classe di esposizione XA1, se attinente) e cemento con elevata resistenza ai solfati per la classe di esposizione XA3.



Diametro massimo del granulo inerte

Il diametro massimo del granulo inerte (D_{max}) è il valore nominale del granulo più grosso del gruppo granulometrico più grossolano degli aggregati del calcestruzzo.

La scelta del diametro massimo del granulo dipende dalle condizioni costruttive di contorno dell'elemento edilizio nonché da aspetti tecnologici inerenti al CLS.

Di regola il calcestruzzo viene prodotto con i seguenti valori di diametro massimo del granulo: 4, 8, 16 o 32 mm, ad es. D_{max} 8 mm

Contenuto minimo d'aria e di cemento

	Dimensione max. nom. del granulo [mm]					
	8	16	22,5	32	45	63
Contenuto min. d'aria [vol. %]	4,0	3,5	3,3	3,0	2,5	2,0
Contenuto min. in peso cemento [%]. Vedi tab. classi esposizione	+ 15 %	+ 10 %	+ 5 %	0	- 5 %	- 10 %

Quando viene ordinato un calcestruzzo senza o con poca aria apportata artificialmente, valgono, fino al valore minimo del contenuto d'aria, tutti i requisiti di composizione del calcestruzzo che si applicano per la classe di esposizione XF4. Il contenuto massimo d'aria può essere al massimo del 4 % superiore al contenuto minimo.

Frazione fine

	Dimensione max. nom. del granulo [mm]					
	8	16	22,5	32	45	63
Valori indicativi di contenuto di fine [kg/m ³]	450	400	375	350	325	300

Un contenuto sufficiente di fini (cemento, additivi e frazioni inerti di granulometria $d < 0,125$ mm) deve essere sempre garantito.



Scelta del tipo di calcestruzzo

Classi di contenuto di cloruri

I cloruri sono contenuti in piccole quantità nei componenti base del calcestruzzo; la loro presenza è quindi inevitabile e viene in genere definita come contenuto naturale di cloruri del calcestruzzo.

Valori massimi ammissibili di contenuto di cloruri nei componenti base del calcestruzzo

Classi di contenuto di cloruri		Tabella 3
Impiego calcestruzzo	Classe di contenuto cloruri	Contenuto di cloruri massimo ammissibile riferito al peso di cementob
Senza armatura o altri metalli annegati nel calcestruzzo (ad eccezione di dispositivi di arresto resistenti alla corrosione)	CI 1,0	1,0 %
Con armatura o altri metalli annegati nel calcestruzzo	CI 0,20	0,20 %
Con armatura in acciaio preteso	CI 0,10	0,10 %

Se si impiegano aggiunte minerale di tipo II prendendole in considerazione per il contenuto di cemento, il contenuto di cloruri in forma di ioni cloruro, riferito alla massa di cemento ed alla massa totale delle aggiunte inerti da considerare per il calcolo del rapporto acqua/cemento (= massa cemento + coeff. k * massa aggiunte minerali).



Classi di consistenza

La consistenza è un parametro indicatore della durezza del calcestruzzo fresco e che ne definisce la lavorabilità. Se la consistenza del calcestruzzo fresco non è corretta, anche le caratteristiche del calcestruzzo indurito, in particolare riguardo alla resistenza meccanica, non saranno conformi ai requisiti richiesti.

La consistenza viene classificata secondo classi di indice di spandimento (F1 – 6) classi di indice di costipazione (C0 – 3) classi di indice di assestamento (S1 – 5).

Indice di spandimento		Indice di costipazione		Indice di assestamento		Descrizione consistenza secondo Holcim
Classe	valore [mm]	Classe	valore [mm]	Classe	valore [mm]	
		C0*	≥ 1,46			umida-terrosa
F1*	≤ 340	C1	1,45–1,26	S1	10–40	rigida
F2	350–410	C2	1,25–1,11	S2	50–90	plastica
F3	420–480	C3	1,10–1,04	S3	100–150	tenera
F4	490–550			S4	160–210	molto tenera
F5	560–620			S5*	≥ 220	fluida
F6*	≥ 630					molto fluida

* Non consigliabile a causa di insufficiente sensibilità del metodo di prova.

In linea di principio una correlazione vincolante in genere tra le classi di consistenza non esiste, tuttavia in pratica si è rilevata una certa equivalenza approssimativa.

Massa volumica

La massa volumica o peso specifico è la densità di un corpo solido poroso in rapporto al suo volume, compresi i pori. La massa volumica del calcestruzzo dipende dagli inerti contenuti. In relazione alla sua massa volumica a secco il calcestruzzo viene definito come normale, leggero o pesante.

- calcestruzzo leggero > 800–2.000 kg/m³
- calcestruzzo normale > 2.000–2.600 kg/m³
- calcestruzzo pesante > 2.600 kg/m³

Classificazione del calcestruzzo in caso di CLS normale sec. EN 206-1

Resistenza	C 25/30	$F_{ck,cube} > 30$ MPa dopo 28 gg
Esposizione	XC4, XF3	Elementi costruttivi esterni con esposizione diretta alla pioggia – platea orizzontale di CLS esposta direttamente alla pioggia e al gelo
Consistenza	F3	Indice di spandimento tra 420 e 480 mm
Contenuto di cloruri	Cl 0.20	Lavori in CLS armato
Granulometria massima	D_{max} 8	Diametro massimo del granulo = 8 mm
Altri	pompabile	Nel caso di CLS pompabile



Prove sul calcestruzzo fresco

Il tipo e il numero delle prove da effettuare sul calcestruzzo fresco in cantiere non sono regolamentati in modo univoco dalla legge e devono essere concordati contrattualmente. Nel programma di controlli e di

prove deve perciò essere stabilito preventivamente quali e quanti controlli vadano effettuati sul calcestruzzo fresco o indurito in cantiere nonché a chi vadano addebitati i relativi costi. L'entità e la frequenza delle prove vanno

limitate al minimo necessario a garantire la qualità e il rispetto dei requisiti stabiliti.

→ quante meno prove possibile, ma tante quante sono necessarie.

Il calcestruzzo fresco dovrebbe essere sempre controllato per poter rispondere, in modo economicamente vantaggioso, ai seguenti quesiti qualitativi:

- il calcestruzzo fornito corrisponde a quello ordinato?
- il calcestruzzo soddisfa i requisiti richiesti?
- bisogna adeguare la ricetta del calcestruzzo?



Campione singolo	Quantità di calcestruzzo prelevato con una singola palata di materiale.	I campioni singoli vanno prelevati dalla betoniera o dalla massa di calcestruzzo con l'apposita pala e conservati in un idoneo contenitore.
Campione casuale	Numero di campioni singoli prelevati da una parte della betoniera o della massa di calcestruzzo.	
Campione globale	Numero di campioni singoli prelevati uniformemente dalla betoniera o della massa di calcestruzzo.	Nel caso di campioni globali i campioni non devono essere prelevati dalla prima né dall'ultima parte della fornitura di calcestruzzo. I campioni singoli devono essere prelevati come minimo in cinque punti in posizione e a profondità diverse. Questo prelievo localmente rappresentativo di campioni vale anche in caso di prelievo da flussi di calcestruzzo in caduta libera.

I campioni vanno costantemente protetti contro lo sporco, l'assorbimento o la perdita d'acqua nonché da temperature estreme. Sulla base del programma di prelievo vanno presi campioni casuali o globali. La quantità complessiva di campioni deve essere come minimo pari a 1,5 volte la quantità necessaria per le prove.



Spandimento F (F = Flow Table Test)

Attrezzatura di prova

- Piano di spandimento, che deve essere perfettamente orizzontale e fisso

Esecuzione della prova

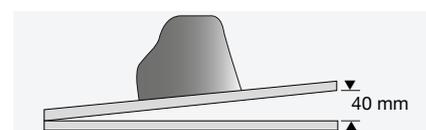
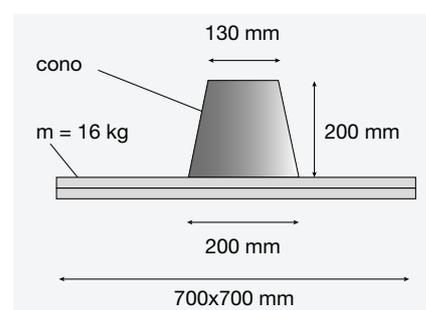
- Pulire con uno straccio umido il piano di spandimento e l'interno del cono
- Con la paletta riempire il cono con il calcestruzzo fresco in due strati successivi di uguale altezza
- Costipare ogni strato con 10 colpi di pestello in legno (40 x 40 mm)
- Con il pestello rasare a filo la superficie del calcestruzzo e pulire il piano di spandimento attorno al cono
- Attendere 30 secondi e quindi entro 3 - 6 secondi sollevare il cono verticalmente
- Sollevare il piano di spandimento fino all'arresto e quindi lasciarlo cadere
- Misurare due diametri perpendicolari tra loro d_1 e d_2 , calcolare il valore di spandimento F arrotondandolo a 10 mm in eccesso

Se la torta ottenuta non è compatta o se vi sono dei granuli separati accanto alla torta, la prova va ripetuta.

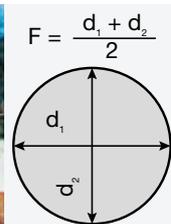
Regola empirica

ca. 12 CLS fresco

uno spandimento F maggiore di 10 mm significa:
contenuto d'acqua = + 5 kg/m³ → $f_c = f_{ca} - 1$ a - 3 MPa



Durata di ciascuna prova: 2-5 secondi
Numero di ripetizioni: 15



Prove sul calcestruzzo fresco

Indice di compattazione C (C = Compaction Test)

Attrezzatura di prova

- Contenitore prismatico, stabile a sezione di base quadrata con altezza interna di 200 mm e 400 mm
- Cazzuola a superficie piana
- Piano vibrante o vibratore interno con un diametro di 25–40 mm

Esecuzione della prova

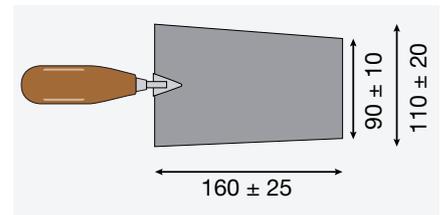
- Pulire il contenitore internamente con uno straccio umido e metterlo su un piano orizzontale solido
- Con la cazzuola versare il calcestruzzo fresco alternatamente da tutti i quattro lati del contenitore
- Rasare il calcestruzzo traboccante con una riga, con un movimento a sega (senza costipare)
- Costipare il calcestruzzo fino a che non si rileva più alcuna riduzione di volume
- Misurare l'abbassamento al centro di ciascun lato con precisione di 1 mm e calcolare il valore medio s
- L'indice di compattazione C viene calcolato come segue: $C = \frac{400}{400 - s}$

Regola empirica

ca. 40 kg CLS fresco

una compattazione C minore di 0,1 significa:

contenuto d'acqua = + 15 kg/m³ → f_c = - 3 a - 8 MPa



Indice di assestamento S (S = Slump Test)

Attrezzatura di prova

- Cono stabile, alto 300 mm con un diametro interno inferiore di 200 mm e superiore di 100 mm
- Asta in acciaio lunga 600 mm con estremità arrotondate e diametro di 16 mm
- Piano di base solido, orizzontale e non assorbente (ad esempio lamiera)

Esecuzione della prova

- L'intera prova va eseguita senza interruzioni entro 2 minuti e mezzo
- Pulire il cono internamente con uno straccio umido
- Introdurre il calcestruzzo fresco in tre strati successivi di uguale altezza senza spostare il cono
- Costipare ogni strato sull'intero spessore (fino a raggiungere la superficie dello strato inferiore) con 25 colpi dell'asta di acciaio
- Asportare il calcestruzzo traboccante con un movimento a sega dell'asta di acciaio e pulire la base di appoggio
- Sollevare con cautela il cono verticalmente (senza girarlo) entro 5–10 secondi
- Misurare l'assestamento del calcestruzzo con una precisione di 10 mm
- L'indice di assestamento S è il valore di assestamento arrotondato di 5 mm per eccesso

Se il cono di calcestruzzo si rompe, la prova va ripetuta.

Regola empirica

ca. 40 kg CLS fresco

un assestamento S maggiore di 10 mm significa:

contenuto d'acqua = $da + 2a + 3$ kg/m³ → $f_c = -0,5a - 1,5$ MPa



Temperatura

La temperatura del calcestruzzo fresco ha una grande influenza sulle caratteristiche sia del CLS fresco che indurito (consistenza, inizio della presa, evoluzione della resistenza meccanica) nonché sulle misure di post-trattamento da adottare.

La temperatura ideale del calcestruzzo fresco dovrebbe essere tra 10 °C e 25 °C. Il calcestruzzo va versato sfuso.



Prove sul calcestruzzo fresco

Contenuto d'aria

Il contenuto d'aria viene misurato con l'apposito apparecchio di misura dei pori d'aria

Attrezzatura di prova

Tra un contenitore pieno di calcestruzzo e uno pieno d'aria compressa viene creato l'equilibrio di pressione. La caduta di pressione risultante a causa dei pori d'aria nel calcestruzzo è leggibile sul manometro dell'apparecchio di misura come contenuto d'aria del calcestruzzo.

Esecuzione della prova

- Versare il campione di calcestruzzo nel contenitore e costiparlo secondo le istruzioni.
- Avvitare il coperchio strettamente.
- Attraverso una delle valvole introdurre acqua fino a che non fuoriesce dall'altra valvola senza bolle.
- Con la pompa dell'aria portare la pressione al valore di norma.
- Chiudere entrambe le valvole e azionare brevemente la valvola ad alette in modo da far entrare aria compressa nell'apparecchio.
- Leggere il contenuto di aria sul manometro con una precisione di 0,1 %.

Regola empirica un contenuto d'aria maggiore di 1 in volume % significa:
per contenitore da 8 L $f_c = da - 2 a - 5$ MPa
ca. 20 kg CLS fresco

Campo d'impiego

Il metodo sopra descritto si applica per calcestruzzo fresco con granulometria di inerte normale e D_{max} fino a 63 mm. Il metodo non si applica invece per altre granulometrie (inerti leggeri o porosi, ecc.)



Massa volumica CLS fresco

= massa del calcestruzzo fresco costipato/ volume contenitore

Attrezzatura di prova

- Contenitore a tenuta stagna con sufficiente resistenza a flessione (ad esem pio apparecchio per misura dei pori d'aria) con una superficie interna liscia e un bordo liscio. Il bordo e il fondo devono essere paralleli.
- La dimensione minore del contenitore deve essere pari come minimo a quattro volte la dimensione nominale massima dell'inerte grossolano del calcestruzzo, ma non deve essere comunque inferiore a 150 mm. Il volume deve essere come minimo pari a 5 L.

Esecuzione della prova

- Determinare il peso del contenitore (m_1) con una bilancia (precisione 0,10 %). Versare il campione di calcestruzzo nel contenitore e costiparlo secondo le prescrizioni.
- Rasare il calcestruzzo traboccante con una riga, con un movimento a sega
- Pesare il contenitore pieno (m_2) (precisione 0,10 %)

La massa volumica del CLS fresco e il contenuto d'aria vanno determinati sullo stesso campione

Il calcolo della massa volumica è effettuato in base alla seguente formula:

$$D = \frac{m_1 - m_2}{V}$$

D massa volumica del calcestruzzo fresco; kg/m³ **m₁** massa del contenitore pieno; kg
m₂ massa del contenitore pieno; kg **V** volume del contenitore; m³

Contenuto d'acqua

rapporto acqua/cemento ovvero, qualora ammesso, rapporto acqua/cemento_{eq}

Attrezzatura di prova

- Si pesa un campione di calcestruzzo fresco e poi lo si essicca fino a quando il suo peso non diminuisce più. Dalla differenza tra i due valori misurati risulta il contenuto d'acqua del calcestruzzo fresco.

Esecuzione della prova

- Prelevare il campione di calcestruzzo fresco (ca. 10 kg)
- Pesare il calcestruzzo fresco con una precisione di: m_0
- Pesare il CLS essiccato (dopo < 20 min) con una precisione di 1 g: m_1
- Essiccare per altri 5 minuti e pesare nuovamente: m_2
- Se $m_1 - m_2 < 5$ g: $m_2 = m_{tr}$
Altrimenti essiccare per altri 5 minuti fino a quando la differenza delle ultime due pesature è < 5 g.

Risultato della prova (ca. 10 kg di calcestruzzo fresco)

Il contenuto d'acqua del campione di calcestruzzo fresco si calcola sulla base del valore della massa volumica del calcestruzzo fresco (ρ_o) come segue:

$$W_o = \rho_o \frac{m_o - m_{tr}}{m_o} \quad \text{in kg/m}^3$$

La massa volumica si calcola dal rapporto tra la massa e il volume del campione di calcestruzzo (ad es. pesando il campione di calcestruzzo in un definito volume dell'apparecchio di misura dei pori d'aria).



Produzione e conservazione dei provini per le prove di resistenza

Produzione dei provini

- Prima di metterlo nell'apposito stampo il calcestruzzo va nuovamente mescolato.
- Lo sversamento del CLS nello stampo deve avvenire come minimo in due strati < 100 mm.
- Infine il calcestruzzo va costipato con una punta vibratrice o su un piano vibrante.

Conservazione dei provini

- I provini vanno lasciati come minimo 16 ore e al massimo 3 giorni nello stampo (a 20 ± 5 °C). In tale fase essi vanno altresì protetti da urti e da un eccessivo essiccamento (sole/vento).
- Dopo averli estratti dallo stampo i provini vanno tenuti, fino all'inizio della prova, immersi in acqua o in una camera umida ad una temperatura di 20 ± 2 °C e con un'umidità relativa dell'aria > 95 %.

Prove sul calcestruzzo indurito

Resistenza a compressione cubica f_c

= forza massima / superficie caricata (MPa)

Sul provino cubico precedentemente prodotto vengono rilevate la resistenza a compressione in diversi momenti, la massa volumica e - a seconda della necessità - altre caratteristiche.

Principio

- In un'apposita macchina di prova di resistenza a compressione i provini vengono sottoposti a un carico progressivo fino a rottura.
Dal valore del carico massimo raggiunto prima della rottura si calcola la resistenza a compressione.

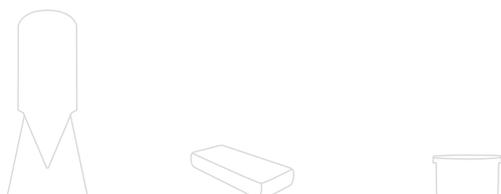
Esecuzione della prova

- I provini devono essere di forma cubica o cilindrica
- Dalla superficie del provino va rimossa l'umidità in eccesso
- I provini devono essere conservati in conformità alle norme
- Il carico di prova va applicato senza scosse e in modo uniforme.
Il carico di prova va aumentato progressivamente in modo costante di 0,2 fino a 1,0 MPa.
- Dal carico di prova in kN si calcola poi la resistenza a compressione cubica cilindrica
- Il tipo di rottura viene valutata sulla base di modelli standard. Le rotture inusuali vanno documentate.

Nota

Se la resistenza a compressione del calcestruzzo viene rilevata nell'ambito di un controllo di conformità, l'interpretazione dei risultati viene effettuata in conformità alla norma EN 206-1, par. 8.2.1.2.

Se la resistenza a compressione del calcestruzzo viene esaminata nel corso di un controllo di identità, si applicano i criteri della norma EN 206-1, allegato B.



	Breve descrizione	Requisiti, avvertenze
Resistenza a compressione della carota	= forza massima / superficie caricata (MPa)	Valutazione della resistenza a compressione di calcestruzzo di manufatti.
Profondità di penetrazione d'acqua sotto pressione	La parte superiore del provino viene sottoposta ad acqua in pressione ($5 \pm 0,5$) bar per (72 ± 2) h. Il provino viene poi spezzato per individuare l'andamento della penetrazione in profondità dell'acqua.	Valore indicativo: con una profondità di penetrazione massima dell'acqua < 50 mm il calcestruzzo si intende impermeabile. Il numero dei provini e la profondità di penetrazione massima dell'acqua devono essere concordati.
Contenuto di cloruri	Determinazione quantitativa del contenuto di cloruri. Determinazione teorica sulla base dei componenti: inerti, cemento, acqua, aggiunte minerali e additivi chimico-fisici.	Classificazione del calcestruzzo nelle classi di cloruri in conformità alla norma EN 206-1.
Permeabilità idrica, q_w	Con un metodo speciale di impregnazione e di essiccamento vengono determinate la permeabilità idrica, la presenza di pori riempibili e la porosità totale. $q_w = g/(m^2 \times h)$ è la quantità d'acqua assorbita da un elemento costruttivo di 20 mm di spessore per secondo e per m^2 .	Di norma un calcestruzzo con $q_w < 10 g/(m^2 \times h)$ non in presenza di acqua in pressione e con una temperatura dell'aria nell'ambiente > 15 °C garantisce pareti asciutte ed è considerato impermeabile all'acqua.
Resistenza ai cloruri	Gli ioni cloruro vengono introdotti sottoponendo a tensione dei provini saturi d'acqua. Dopo aver spezzato il provino si determina la profondità di penetrazione degli ioni cloruro. Partendo da questo e da altri parametri si calcola il coefficiente di migrazione di cloruri DCI in m^2/s .	
Resistenza al gelo-sali scongelanti	Si applica una soluzione idrica sulla superficie e si effettuano quindi 28 cicli di congelamento/scongelamento. Si determina la quantità di calcestruzzo distaccato dopo 7, 14 e 28 cicli. m = quantità di calcestruzzo distaccato dopo 28 cicli in g/m^2 .	Resistenza al gelo/sali scongelanti elevata $m < 200 g/m^2$ o $200 g/m^2 < m < 600 g/m^2$, se la quantità distaccata nei secondi 14 cicli è < rispetto a quella distaccata nei primi 14 cicli Resistenza al gelo/sali scongelanti bassa $m > 3800 g/m^2$.
Resistenza ai solfati	I provini vengono alternatamente essiccati e messi in una soluzione contenente solfati. Il solfato penetrato può reagire con i componenti del provino determinando una variazione di volume. Calcolo della dilatazione dovuta ai solfati Δl	Come valore indicativo di calcestruzzo ad elevata resistenza ai solfati si adotta un valore medio di serie $\Delta l < 0,5 \%$.
Ritiro e scorrimento	Misura della variazione di lunghezza su provini non caricati (ritiro) o rispettivamente sotto carico (scorrimento) e calcolo dell'indice di ritiro ϵ_{CS} (%) ovvero dell'indice di scorrimento ϵ_{CC} (%).	
Modulo di elasticità	Parametro caratteristico del comportamento alla deformazione elastica del calcestruzzo. Il modulo E rappresenta il rapporto tra la tensione σ e la relativa deformazione elastica ϵ_{an} . $E = \sigma / \epsilon$ (MPa)	Il modulo E viene determinato in 3 cicli di carico.
Resistenza al gelo	Calcolo della resistenza al gelo FS del cls indurito con parametri caratteristici dei pori ricavati dalla prova di conducibilità idrica.	FS > 1,5 Resistenza al gelo elevata FS < 1,0 Bassa resistenza al gelo
Resistenza all'abrasione	Viene determinata la perdita di peso con una definita levigatura del provino di calcestruzzo. Viene calcolato il fattore d relativo al materiale asportato in mm.	$d = \frac{\text{perdita di peso}}{\text{massa vol.} \times \text{sup.}}$
Comportamento ai cicli alternati di gelo-disgelo N_{50}	I provini vengono sottoposti a cicli alternati di gelo-disgelo, misurando periodicamente il modulo E. N_{50} = numero di cicli corrispondenti ad una diminuzione di E del 50 %.	$N_{50} > 100$ Resistenza al gelo elevata $N_{50} < 20$ Bassa resistenza al gelo
Resistenza al gelo-sali scongelanti – Metodo TFB	I provini vengono sottoposti a 10 cicli di congelamento (+20 °C / -25 °C) in un bagno di glicoloetilene (gelo) ovvero di cloruro di calcio (sale scongelante). Vengono poi valutate le alterazioni della struttura e i distacchi di calcestruzzo subiti.	I provini che dopo 10 cicli di congelamento non presentano fessure o distacchi, dimostrano un'elevata resistenza al gelo-sali scongelanti.
Resistenza al gelo-sali scongelanti – Metodo BEI	Prova diagnostica sulla base dell'analisi dei pori su lastre levigate, parametri di saturazione e qualità della struttura.	Valutazione per mezzo del fattore di resistenza WF-P (gelo) ovvero WFT-P (sale scongelante) e dell'indice di qualità strutturale.
Capacità di lavoro su piastre quadrate (CLS fibroso)	Determinazione della resistenza efficace a flessotrazione f_{ctf} e valore di calcolo dell'energia di rottura G_f .	Se il valore $G_f > 4000 N/m$, la prova si intende superata positivamente.
Contenuto di fibre d'acciaio ricavato da provini di CLS	Sbriciolamento del provino di CLS e separazione magnetica delle fibre di acciaio.	A seconda delle esigenze in genere tra 20–40 kg/m^3 .

Struttura dei pori nel calcestruzzo indurito

Raggio dei pori	Tipo di pori	Origine	Effetti
> 1 mm	Pori/cavità di costipazione (pori d'aria naturali)	<ul style="list-style-type: none"> ■ durante la posa ■ tipo di costipazione 	<ul style="list-style-type: none"> ■ nessuna influenza sul trasporto idrico ■ grande influenza sul trasporto gassoso
20 µm - 1 mm	Pori d'aria	<ul style="list-style-type: none"> ■ durante la preparazione del CLS ■ il contenuto viene modificato da additivi ■ forma sferica 	<ul style="list-style-type: none"> ■ bassa influenza sul trasporto idrico ■ grande influenza sulla resistenza al gelo-sali scongelanti ■ pieni d'aria
0,05 µm - 20 µm	Pori capillari	<ul style="list-style-type: none"> ■ durante l'idratazione della pasta cementizia ■ il volume è influenzato dal rapporto acqua/cemento 	<ul style="list-style-type: none"> ■ grande influenza sul trasporto idrico e gassoso ■ in parte pieni d'aria (effetto capillare) ■ grande influenza sulla resistenza al gelo-sali scongelanti, sulla resistenza meccanica e sulla durabilità
1 mm - 0,05 µm	Pori di gel	<ul style="list-style-type: none"> ■ spazi vuoti tra i cristalli di cemento 	<ul style="list-style-type: none"> ■ nessuna influenza sul trasporto idrico e gassoso ■ pieni d'acqua (assorbimento)



Post-trattamento del calcestruzzo

Per garantire la durabilità del calcestruzzo, esso deve essere compatto. Ciò riguarda soprattutto la zona periferica (copertura dell'armatura) che protegge l'armatura.

Il posttrattamento ha lo scopo di proteggere il calcestruzzo giovane della zona periferica da perdite eccessive d'acqua, effetti della temperatura o altre influenze dannose.

Il post-trattamento deve proteggere da

- essiccamento causato da sole, vento o aria secca (anche d'inverno)
- grandi differenze di temperatura tra la superficie e l'interno del calcestruzzo
- calore e freddo nonché sbalzi di temperatura
- precipitazioni (pioggia e neve)

Procedure idonee di post-trattamento

- Lasciare il calcestruzzo nelle cas seforme
- Coprire con un telo (in caso di cal cestruzzo a vista il telo non va pos to direttamente sul calcestruzzo)
- Spruzzare un prodotto di post-trat tamento (non idoneo se poi si deve applicare un sistema di protezione su- perficiale, a meno che il secon do non sia sicuramente compatibi le col primo)
- Applicare coperture umide (man tenere costantemente umido op pure coprire ulteriormente con telo)
- In caso di temperature di 0 °C-10 °C applicare teli e stuoie termoisolanti
- In caso di temperature < 0 °C come sopra, riscaldare inoltre il manufat to in modo che la tempe ratura del calce- struzzo sia di ca. 10 °C

Durata del post-trattamento almeno 7 giorni (regola empirica)

Post-trattamento insufficiente

Se le misure di post-trattamento vengono omesse o adottate troppo tardi, si possono avere le seguenti conseguenze:

- Se le misure di post-trattamento vengono omesse o adottate trop po tardi, si posso- no avere le seguenti conseguenze:
- minore durezza del calcestruzzo nelle zone periferiche
- maggiore porosità del calcestruzzo nelle zone periferiche e quindi minore durabilità
- fessure di ritiro precoce
- minore resistenza all'abrasione, resistenza chimica e compattezza
- la superficie del calcestruzzo si sfarina
- il calcestruzzo gela e si danneggia (la resistenza a compressione non aumenta più)



Post-trattamento del calcestruzzo

Posa in opera di calcestruzzo con clima freddo



Anche con clima freddo si può gettare calcestruzzo, purché si adottino le necessarie precauzioni.

Precauzioni nella produzione del calcestruzzo

- Aumento del contenuto di cemento e/o impiego di cemento con maggiore capacità di sviluppare calore nella presa a parità di altri componenti.
- Abbassamento del rapporto acqua/cemento mediante impiego di un fluidificante (FM).
- Accelerazione dell'evoluzione della resistenza meccanica mediante impiego di un acceleratore di presa non contenente cloruri, ad es. un prodotto antigelo (HBE).
- Prolungamento dei tempi di disarmo e della durata del posttrattamento.
- Impiego di materiali con caratteristiche di isolamento termico superiori per le casseforme (ad es. legno) e per il post-trattamento (ad es. stuoie termiche).
- Aumento della temperatura del calcestruzzo fresco mediante riscaldamento mirato dell'acqua di impasto e/o riscaldamento degli inerti.
- Protezione dell'elemento costruito o dell'intero edificio da perdite di calore e correnti d'aria.
- Il calcestruzzo giovane va protetto dal gelo. La resistenza al gelo del calcestruzzo giovane è garantita quando esso ha raggiunto una resistenza a compressione di 5 MPa.

Posa in opera e costipazione

- Il calcestruzzo non va mai gettato su terreno gelato e preferibilmente nemmeno su elementi costruttivi gelati.
- Le superfici delle casseforme e le armature vanno mantenute libere da ghiaccio e neve, ma non impiegando acqua bensì con trattamenti termici.
- Il calcestruzzo preriscaldato va gettato velocemente nella cassaforma precedentemente liberata da neve e ghiaccio e quindi va subito costipato.
- Il calcestruzzo giovane va possibilmente protetto dall'asporto di calore da parte di mezzi di trasporto verso e sul cantiere. Se possibile, non vanno impiegati nastri trasportatori.
- Nel calcestruzzo gettato in opera vanno adottati idonei provvedimenti per consentire di misurare costantemente la temperatura del calcestruzzo.
- Durante la posa in opera e durante la lavorazione il calcestruzzo fresco, se non si adottano misure particolari, non deve avere una temperatura inferiore a +5 °C.

In caso di superfici di calcestruzzo con requisiti speciali si consiglia di aumentare la temperatura del calcestruzzo fresco a +10 °C. Se necessario l'acqua di impasto e gli inerti vanno preriscaldati.

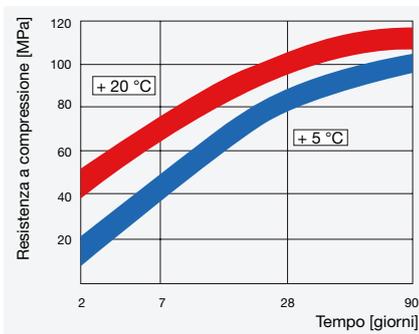


Post-trattamento

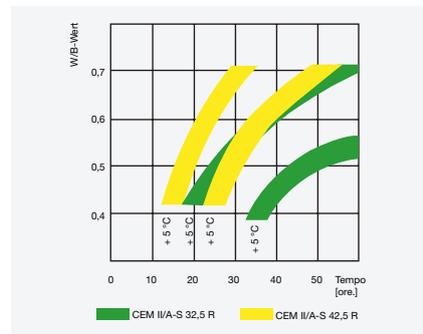
- In caso di basse temperature il calcestruzzo immediatamente dopo la posa in opera va protetto contro la perdita di calore. A tal fine è particolarmente idonea la copertura con stuoie termiche.
- Se non è possibile stendere le stuoie termiche direttamente sulla superficie

- del calcestruzzo, esso va almeno protetto dalle correnti d'aria.
- Durante la fase di indurimento il calcestruzzo va protetto non solamente dalle perdite di calore ma anche dalle perdite di umidità, poiché in caso di clima freddo e/o secco l'umidità dell'aria è molto bassa.

- Il tipo e la durata del post-trattamento dipendono dalle condizioni climatiche, dal tipo di cemento impiegato nonché dalla geometria degli elementi costruttivi.
- L'elemento costruttivo o l'intero edificio vanno sottoposti a trattamento termico consistente in riscaldamento o copertura per alcune ore o alcuni giorni fino a quando non si sia raggiunta un'adeguata resistenza al gelo.



Evoluzione della resistenza a compressione del CLS (con CEM I 42,5 N) in funzione della temperatura del CLS



Tempo necessario per raggiungere la resistenza al gelo del calcestruzzo. (resistenza a compressione > 5 MPa in relazione al rapporto acqua/cemento con diverse temperature del calcestruzzo e diversi tipi di cemento)

Temperatura del calcestruzzo fresco

La temperatura voluta del calcestruzzo fresco si ottiene riscaldandone gli ingredienti base.

Formula semplificata per la temperatura della miscela	$T_b = 0,7 \times T_g + 0,2 \times T_w + 0,1 \times T_z$	T_b = temperatura del calcestruzzo °C T_g = temperatura degli inerti in °C T_w = temperatura dell'acqua in °C T_z = temperatura del cemento in °C
---	--	--

Esempio

Dati di base	Temperatura degli inerti Temperatura dell'acqua Temperatura del cemento	$T_g = 8 \text{ °C}$ $T_w = 10 \text{ °C}$ $T_z = 50 \text{ °C}$
Valore cercato	Temperatura del calcestruzzo T_b	
Soluzione	$T_b = 0,7 \times 8 + 0,2 \times 10 + 0,1 \times 50 = 12,6 \text{ °C}$ temperatura del calcestruzzo	

Post-trattamento del calcestruzzo

Posa in opera di calcestruzzo con clima caldo o vento forte

Provvedimenti per la produzione del calcestruzzo



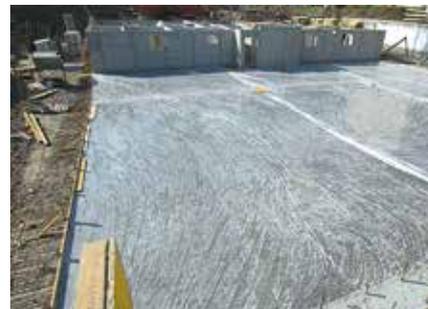
- Le quantità di calcestruzzo fresco devono essere adeguate agli intervalli di fornitura ed ai tempi di posa in opera, nel senso che non si devono creare degli sfasamenti di tempo.
- I periodi più freschi devono essere utilizzati per eseguire il getto del calcestruzzo e i luoghi di posa devono essere possibilmente protetti dal sole.
- Bisogna sempre prevedere un numero di lavoratori adeguato.
- Prima di iniziare i lavori bisogna sempre controllare che le apparecchiature e i materiali per il getto e il trattamento successivo siano in regola e pronti per l'impiego.
- Prima di gettare il calcestruzzo le armature, le casseforme o il sottofondo devono essere bagnati.
- Le eventuali pozze d'acqua vanno eliminate.

Posa in opera e costipazione



- Tempi di trasporto e di giacenza del calcestruzzo eccessivamente lunghi vanno evitati.
- Il criterio generale deve essere quello di scaricare, lavorare e costipare il calcestruzzo nel tempo più rapido possibile.
- In caso di ritardi e di tempi fermi prolungati è necessario avvisare immediatamente il fornitore.
- Se il calcestruzzo è già un po' indurito non può più essere utilizzato.

Post-trattamento



- Il calcestruzzo fresco deve assolutamente essere mantenuto umido. Per proteggerlo dal vento e dalla pioggia il calcestruzzo fresco va coperto con teli o stuoie umide.
- In alternativa esso può essere trattato con prodotti liquidi.
- Il calcestruzzo va continuamente spruzzato con acqua.
- Non disarmare il calcestruzzo troppo presto.
- Proteggere le pareti.

Velocità di essiccamento

La velocità di essiccamento dipende da

- temperatura dell'aria
- temperatura del calcestruzzo
- umidità relativa dell'aria
- velocità del vento

Ritiro anticipato

Ritiro precoce come conseguenza di un post-trattamento insufficiente in condizioni climatiche estreme. Il ritiro precoce si sviluppa principalmente durante le prime ore e dipende dalle condizioni ambientali presenti. Perciò sono necessari degli interventi rapidi di post-trattamento.

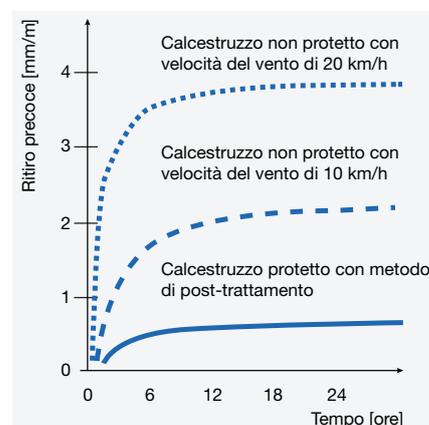
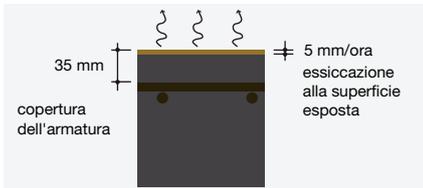


Diagramma per il calcolo della velocità di essiccamento su superfici scoperte di calcestruzzo



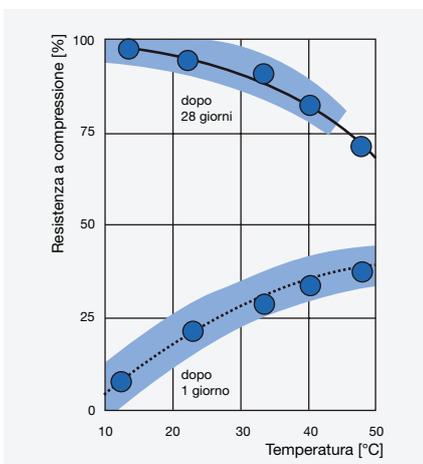
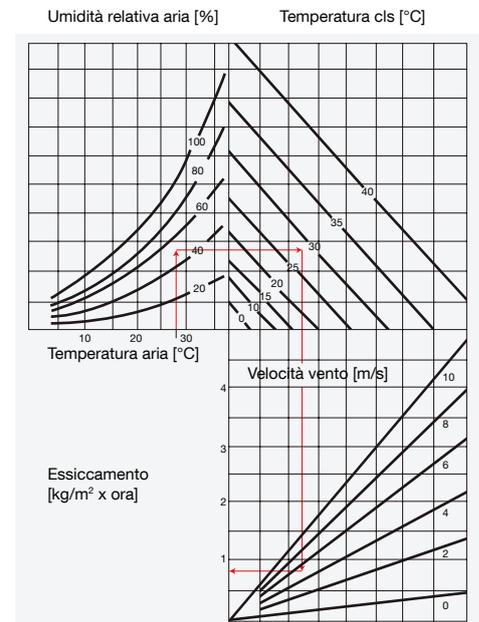
Per un calcestruzzo normale con un contenuto di cemento di 300 kg/m^3 e un rapporto acqua/cemento di 0,55 una velocità di essiccamento di $0,8 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ significa che dopo un'ora l'acqua contenuta nello strato più esterno di 5 mm del calcestruzzo è evaporata.

Esempio

Temperatura aria: $28 \text{ }^\circ\text{C}$
 Umidità relativa aria: 50 %
 Temperatura calcestruzzo: $28 \text{ }^\circ\text{C}$
 Velocità del vento: 5 m/s

Risultato

Velocità di essiccamento:
 $0,80 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$



In genere una temperatura più elevata del calcestruzzo determina un'idratazione più rapida del cemento. Ciò a sua volta comporta un indurimento precoce in quanto i cristalli di idrato di cemento si formano più rapidamente che non a temperature inferiori, ma però sono più piccoli. Cristalli di dimensioni minori possono intrecciarsi tra loro meno intensamente che non i cristalli più grandi. Ciò determina una maggiore porosità che influisce sulle caratteristiche di resistenza meccanica finali del calcestruzzo.

Applicazioni del calcestruzzo

Calcestruzzo a vista

Con il termine di calcestruzzo a vista si intendono in generale superfici destinati a rimanere visibili come tali e che pertanto devono possedere particolari requisiti estetici. Sostanzialmente nella realizzazione di superfici di calcestruzzo a vista si distingue tra il caso in cui la funzione estetica-strutturale è affidata alle caratteristiche superficiali della cassaforma e quello in cui la superficie del calcestruzzo è destinata invece ad essere successivamente trattata. In entrambi i casi può essere impiegato il colore come ulteriore elemento architettonico.

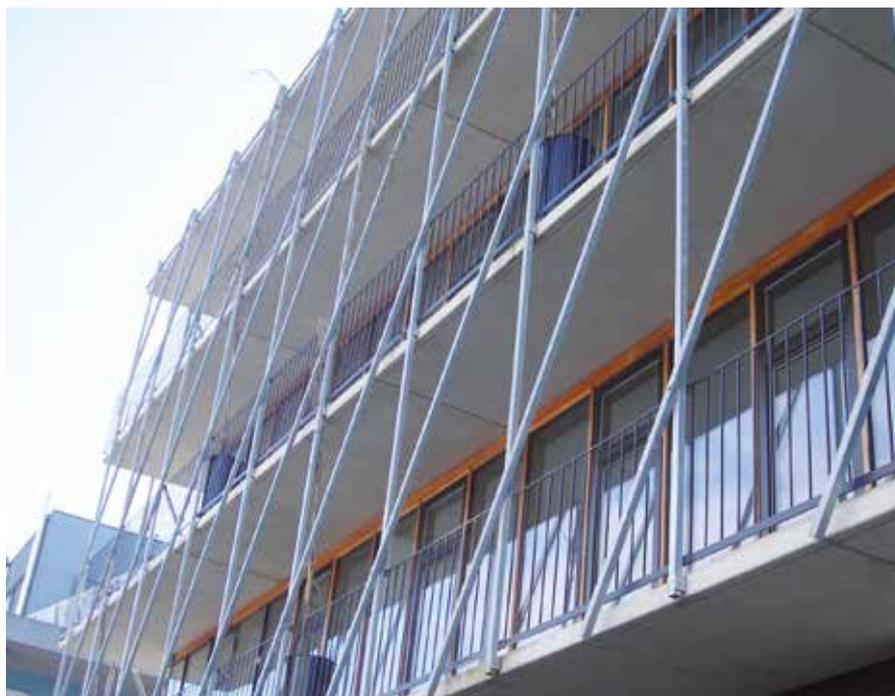
In linea di principio nell'impiego di calcestruzzo a vista vanno rispettati i seguenti criteri:

- Esatta descrizione dei lavori
- Struttura superficiale delle casse forme
- Scelta dei materiali – colori
- Trattamento superficiale del calcestruzzo
- Superfici di prova e di riferimento
- Configurazione costruttiva



I seguenti parametri sono condizionanti per la qualità della superficie del calcestruzzo a vista

- Rapporto acqua/cemento uniforme → tonalità grigia uniforme
- Tutte le casseforme in legno dovrebbero avere lo stesso grado di assorbimento per ottenere una superficie di colore uniforme
- L'eccesso di prodotto disarmante va eliminato dalla superficie della cassaforma contenuto di cemento $\geq 300 \text{ kg/m}^3$
- Un'accurata vibrazione del calcestruzzo è garanzia della buona qualità della superficie
- Deve essere assicurata una sufficiente percentuale di fine nell'impasto (cemento, aggiunte minerali e frazione inerte $< 0,125 \text{ mm}$)
- La composizione granulometrica deve corrispondere a una curva costante e deve trovarsi nella parte alta della curva.
- La composizione del calcestruzzo deve essere uniforme, eventualmente con l'aggiunta di un additivo fluidificante
- Contenuto di cemento min. 350 kg/m^3
- Rapporto acqua/cemento minore di 0,50 e possibilmente costante (le variazioni comportano differenze di colore visibili sulla superficie del calcestruzzo)
- Sufficiente coesione (nessun fenomeno di disaggregazione) e sufficiente capacità di ritenzione idrica (nessun trasudamento) del calcestruzzo fresco
- Una condizione fondamentale è la giusta consistenza

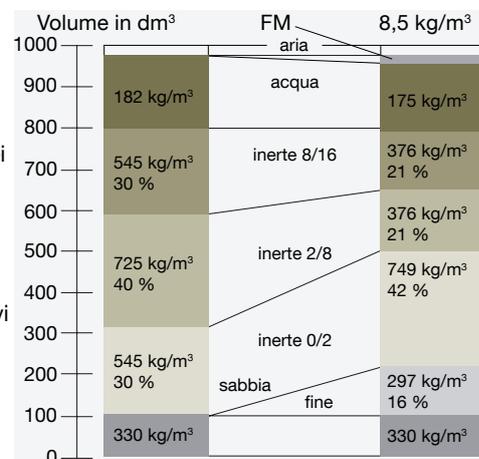


Calcestruzzo autocompressivo (self compacting concrete SCC)

Il calcestruzzo autocompressivo è un calcestruzzo che, nonostante un basso valore del rapporto acqua/cemento è talmente fluido da compattarsi da solo senza bisogno di vibratura e senza presentare fenomeni di disaggregazione.

I vantaggi dei calcestruzzi autocompressivi (SCC) sono:

- Maggiore rendimento di posa
- Minori rumori nella posa in opera
- Maggiore facilità di conformazione dei manufatti
- Possibilità di realizzare strutture più snelle
- Maggiore durabilità
- Minore necessità di ritocchi successivi
- Maggiore facilità di posa in opera
- Gettate maggiori
- Minore personale
- Nessun danno alla salute a causa delle sollecitazioni della vibratura



Calcestruzzo pompabile

Il calcestruzzo pompabile può essere impiegato praticamente per qualsiasi tipo di manufatto ed è particolarmente idoneo in tutti i casi in cui l'accesso al punto di posa risulti difficoltoso.

Per la pompabilità sono necessari i seguenti requisiti:

- Granulo massimo < 1/3 del diametro del tubo
- Granulometria possibilmente sabbiosa
- Gruppo granulometrico 4-8 mm escluso o comunque limitato al 20 %

dell'inerte totale

- Frazione fine: cemento + inerte < 0,125 mm + ev. aggiunte minerali con granulo massimo di 16 mm circa 450 kg/m³
- Consistenza di norma:
F3 (420 – 480mm)
C3 (1,10 – 1,04)

La consistenza va adattata in relazione alla coerenza interna del calcestruzzo e all'altezza di pompaggio.



Calcestruzzo antiabrasione

Il calcestruzzo antiabrasione è un tipo molto resistente alle sollecitazioni meccaniche in genere ed in particolare all'abrasione.

A tal fine esso deve possedere i seguenti requisiti:

- Calcestruzzo compatto con un rapporto acqua/cemento di valore da 0,40 fino 0,50
- Impiego di inerti resistenti all'abrasione (rocce dure)



Applicazioni del calcestruzzo

Calcestruzzo fibroso

Il calcestruzzo fibroso nel quale sono state aggiunte delle fibre speciali (acciaio, plastica o vetro resistente agli alcali) per migliorarne le caratteristiche.

Ciò permette, tra l'altro, di migliorare la resistenza a rottura a trazione e la duttilità e quindi il comportamento a rottura e fessurazione.



Fibre d'acciaio

- Lastre per pavimenti, pavimenti industriali (senza fughe)
- Superficie transitabili con automezzi, fermate autobus
- Elementi prefabbricati, tubing
- Consolidamento di pareti rocciose in sotterraneo

Fibre di plastica

- Calcestruzzo resistente al fuoco
- Lastre per pavimenti
- Malte per sottofondi
- Malte protettive

Vantaggi

- Le tensioni di fessurazione vengono ripartite attraverso le fibre → molte piccole fessure invece di poche e grandi
- Le fibre di acciaio possono, in determinati impieghi, sostituire del tutto o parzialmente l'armatura
- Le fibre di plastica vengono utilizzate in aggiunta all'armatura (distribuzione delle fessure)
- Grazie alle fibre il calcestruzzo acquisisce caratteristiche di tenacia e aumenta la sua capacità di lavoro (assorbimento dei carichi, anche a seguito della formazione di fessure).

Svantaggi

- Per effetto delle fibre la consistenza può aumentare e di questo bisogna tenere conto nella ricetta dell'impasto.

Calcestruzzo incombustibile

Il calcestruzzo è incombustibile e offre una protezione contro il fuoco e le alte temperature. In caso di azione prolungata del fuoco si verificano dei distacchi.

La resistenza al fuoco può essere aumentata con le seguenti misure:

- Aggiunta di fibre in plastica. Queste sotto l'azione del fuoco fondono lasciando dei vuoti in cui si può scaricare la pressione del vapore.
- Impiego di inerti resistenti al fuoco (argilla espansa, scisto espanso, basalto, materiale refrattario, etc.) al posto di inerti a base di calcare o quarzo.
- Quanto maggiore è la durezza del calcestruzzo, tanto più gravi sono i danni in caso di incendio; un con tenuto di umidità < 2 % è da considerarsi non critico.



Calcestruzzo a spruzzo

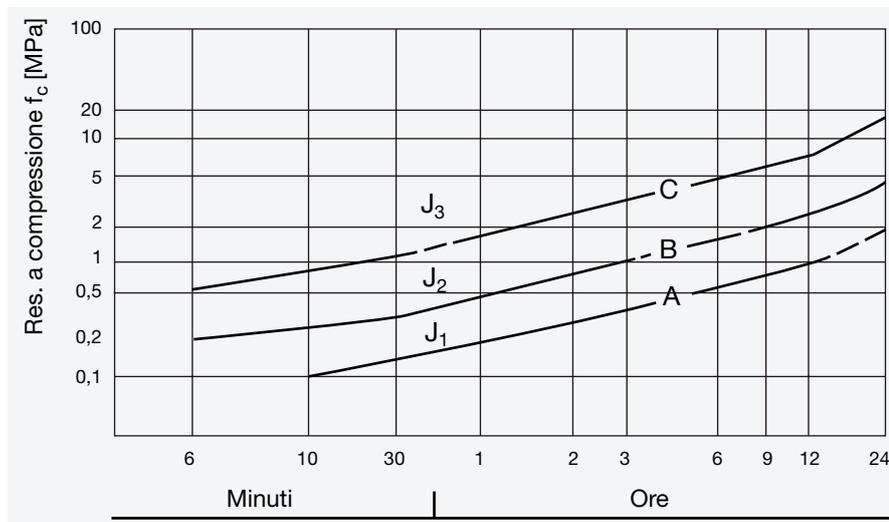
Il calcestruzzo a spruzzo è un materiale che viene trasportato sul punto di posa con un tubo chiuso rigido o flessibile, viene gettato in opera per via pneumatica attraverso un ugello spruzzatore e viene costipato dalla stessa energia del getto. Nel colpire la superficie di posa una parte del calcestruzzo rimbalza (calcestruzzo di rimbalzo). In linea di principio si distingue tra metodo di spruzzatura a secco e a umido. Nel metodo di spruzzatura a secco viene trasportata una cosiddetta miscela secca con una portata ridotta, alla quale solo in corrispondenza dell'ugello spruzzatore viene aggiunta l'acqua di impasto con o senza acceleratore di presa. Nel metodo di spruzzatura a umido l'acqua di impasto è già presente nella miscela di partenza del materiale spruzzato, mentre il trasporto è effettuato con una portata piuttosto ingente.

Applicazioni

- Il calcestruzzo a spruzzo viene utilizzato per manufatti sia armati che non armati.
- Lavori di consolidamento o ampliamento in sotterraneo
- Rivestimento di bacini e canali
- Messa in sicurezza di pendii, scarpate e scavi di fondazione
- Riparazione di manufatti danneggiati in calcestruzzo o in muratura



Classi di resistenza precoce



tra A e B	Classe J ₁
tra B e C	Classe J ₂
oltre C	Classe J ₃

Riguardo all'evoluzione della resistenza meccanica entro le prime 24 ore si distinguono le tre classi di resistenza precoce J₁, J₂ und J₃.



Applicazioni del calcestruzzo

Metodi di prova per la misura dell'indurimento precoce

0,10–1,20 MPa	Ago di penetrazione	Misura della forza necessaria per far penetrare un ago di 3 mm di spessore fino a una profondità di 15 mm nel calcestruzzo a spruzzo.
1–8 MPa	Metodo di penetrazione bullone	Misura della profondità di penetrazione di bulloni spinti nel calcestruzzo con un apparecchio avvitatore con una regolazione predefinita della forza.
3–18 MPa	Metodo di penetrazione bullone	Misura della forza necessaria per estrarre di bulloni precedentemente spinti nel calcestruzzo con un apparecchio avvitatore con una regolazione predefinita della forza.

Calcestruzzo drenante

Il calcestruzzo drenante è un calcestruzzo poroso, ricco di cavità, impiegato per scopi di drenaggio. I pori risultano dall'impiego di un gruppo granulometrico molto ristretto, ad es. 5/8 mm, in cui i singoli granuli sono saldati gli uni agli altri solo in corrispondenza dei punti di contatto da un sottile strato di pasta cementizia.

Impiego

- Drenaggi in opere stradali, sotterranee e idrauliche
- Tubi filtranti in calcestruzzo, blocchi e piastre filtranti
- Pareti fonoassorbenti e pavimentazioni stradali in calcestruzzo fonoassorbente
- Calcestruzzo di sottofondo per posa di pavimentazioni in cubetti o lastre



Campi d'impiego dei calcestruzzi a secco RÖFIX

Per tutti i lavori in calcestruzzo in zone produttive, agricole, di alta montagna o private, con accessibilità al cantiere sia facile che difficoltosa:

- Fondazioni
- Pareti
- Solai
- Copertura di solai prefabbricati
- Muri di giardini
- Terrazze
- Muri di sostegno
- Scale
- Colonne
- Appoggi
- Piscine
- Lavori di riparazione
- Lavori di restauro
- Ristrutturazioni
- Platee
- Pavimenti di stalle
- Depositi di stallatico
- Calcestruzzo a spruzzo
- Pali trivellati
- Travi di ancoraggio
- Ancoraggi a borchia
- Costole di sostegno
- Ponti
- Prefabbricati

Vantaggi del sistema di silo RÖFIX in sintesi

- Immediatamente disponibile (senza tempi di attesa)
- Nessun residuo
- Possibilità di variazione della consistenza
- Flessibilità di lavoro in cantiere
- Minore fabbisogno di spazio (solo 2,4 m x 2,4 m)
- Con RÖFIX non si paga l'acqua, ma solo il calcestruzzo

Tutti i prodotti in calcestruzzo RÖFIX sono fornibili in sacchi o in silo





Servizi RÖFIX direttamente in Internet

■ Strumenti utili

- Voci di capitolato, disegni tecnici dettagliati
- Calcoli del valore U
- Analisi (ad es. analisi di umidità, ecc.)
- Consigli d'impiego e di lavorazione

■ Video

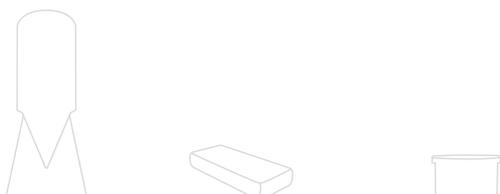
Filmato di presentazione sui temi Calcestruzzi, Risanamento/Restauro/Bio-edilizia, Sistemi di isolamento termico e Preparazione fondi di posa sono a vostra disposizione online.

■ Newsletter

Ultime notizie su prodotti e loro lavorazione, innovazioni, tendenze, manifestazioni e tanto altro ancora troverete nelle Newsletter RÖFIX.

■ Prodotti & soluzioni

Schede tecniche e schede di sicurezza, certificazioni e referenze sono reperibili nella pagina web RÖFIX all'indirizzo roefix.com.



Austria

RÖFIX AG
A-6832 Röthis
Tel. +43 (0)5522 41646-0
Fax +43 (0)5522 41646-6
office.roethis@roefix.com

RÖFIX AG
A-6170 Zirl
Tel. +43 (0)5238 510
Fax +43 (0)5238 510-18
office.zirl@roefix.com

RÖFIX AG
A-9500 Villach
Tel. +43 (0)4242 29472
Fax +43 (0)4242 29319
office.villach@roefix.com

RÖFIX AG
A-8401 Kalsdorf
Tel. +43 (0)3135 56160
Fax +43 (0)3135 56160-8
office.kalsdorf@roefix.com

RÖFIX AG
A-4591 Molln
Tel. +43 (0)7584 3930-0
Fax +43 (0)7584 3930-30
office.molln@roefix.com

RÖFIX AG
A-4061 Pasching
Tel. +43 (0)7229 62415
Fax +43 (0)7229 62415-20
office.pasching@roefix.com

RÖFIX AG
A-2355 Wiener Neudorf
Tel. +43 (0)2236 677966
Fax +43 (0)2236 677966-30
office.wiener-neudorf@roefix.com

Svizzera

RÖFIX AG
CH-9466 Sennwald
Tel. +41 (0)81 7581122
Fax +41 (0)81 7581199
office.sennwald@roefix.com

RÖFIX AG
CH-8953 Dietikon
Tel. +41 (0)44 7434040
Fax +41 (0)44 7434046
office.dietikon@roefix.com

RÖFIX AG
CH-2540 Grenchen
Tel. +41 (0)32 6528352
Fax +41 (0)32 6528355
office.grenchen@roefix.com

RÖFIX AG
CH-6035 Perlen
Tel. +41 (0)41 2506223
Fax +41 (0)41 2506224
office.perlen@roefix.com

RÖFIX AG
CH-3006 Bern
Tel. +41 (0)31 9318055
Fax +41 (0)31 9318056
office.bern@roefix.com

Italia

RÖFIX SpA
I-39020 Parcines (BZ)
Tel. +39 0473 966100
Fax +39 0473 966150
office.partschins@roefix.com

RÖFIX SpA
I-33074 Fontanafredda (PN)
Tel. +39 0434 599100
Fax +39 0434 599150
office.fontanafredda@roefix.com

RÖFIX SpA
I-25080 Prevalle (BS)
Tel. +39 030 68041
Fax +39 030 6801052
office.prevalle@roefix.com

RÖFIX SpA
I-21020 Comabbio (VA)
Tel. +39 0332 962000
Fax +39 0332 961056
office.comabbio@roefix.com

RÖFIX SpA
I-12089 Villanova Mondovi (CN)
Tel. +39 0174 599200
Fax +39 0174 698031
office.villanovamondovi@roefix.com

Slovenia

RÖFIX d.o.o.
SLO-1290 Grosuplje
Tel. +386 (0)1 78184-80
Fax +386 (0)1 78184-98
office.grosuplje@roefix.com

Croazia

RÖFIX d.o.o.
HR-10294 Pojatno
Tel. +385 (0)1 3340-300
Fax +385 (0)1 3340-330
office.pojatno@roefix.com

RÖFIX d.o.o.
HR-10290 Zaprešić
Tel. +385 (0)1 3310-523
Fax +385 (0)1 3310-574

RÖFIX d.o.o.
HR-22321 Siverić
Tel. +385 (0)22 778310
Fax +385 (0)22 778318
office.siveric@roefix.com

Serbia

RÖFIX d.o.o.
SRB-35254 Popovac
Tel. +381 (0)35 541-044
Fax +381 (0)35 541-043
office.popovac@roefix.com

Montenegro

RÖFIX d.o.o.
MNE-85330 Kotor
Tel. +382 (0)32 336-234
Fax +382 (0)32 336-234
office.kotor@roefix.com

Bosnia-Erzegovina

RÖFIX d.o.o.
BiH-88320 Ljubuški
Tel. +387 (0)39 830-100
Fax +387 (0)39 831-154
office.ljubuski@roefix.com

RÖFIX d.o.o.
BiH-71214 I. Sarajevo
Tel. +387 (0)57 355-191
Fax +387 (0)57 355-190
office.sarajevo@roefix.com

Bulgaria

RÖFIX eood
BG-4490 Septemvri
Tel. +359 (0)34 405900
Fax +359 (0)34 405939
office.septemvri@roefix.com

RÖFIX eood
BG-9900 Novi Pazar
Tel. +359 (0)537 25050
Fax +359 (0)537 25050
office.novipazar@roefix.com

Macedonia

RÖFIX DOOEL
MK-1000 Skopje
Tel. +389 (0)72 570500
office.mk@roefix.com

Albania/Kosovo

RÖFIX Sh.p.k.
AL-1504 Nikël Tapizë
Tel. +355 (0)511 8102-1/2/3
office.tirana@roefix.com

roefix.com

RÖFIX[®]

Sistemi per costruire