



# COMUNE DI PANDINO

## PROVINCIA DI CREMONA



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU

## NUOVA SCUOLA DELL'INFANZIA "LA CHIOCCIOLA"

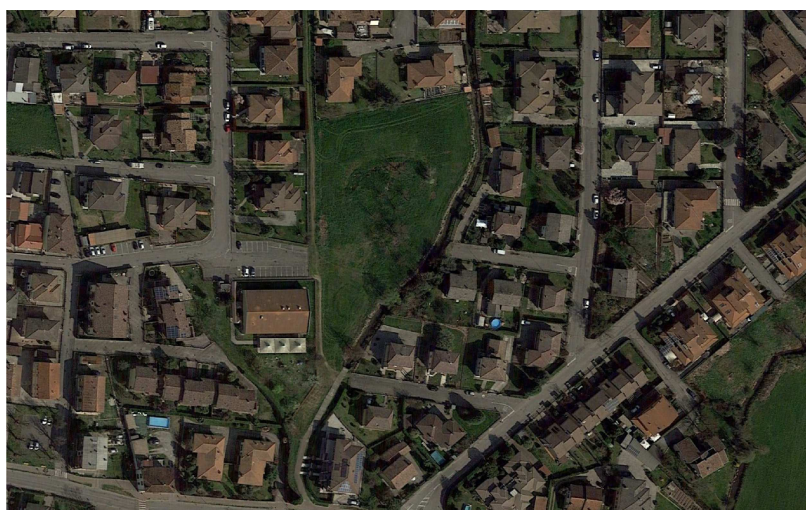
INTERVENTO PNRR FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA NEXTGENERATIONUE \_ MISSIONE 4: ISTRUZIONE E RICERCA

Componente 1 - Potenziamento dell'offerta dei servizi di istruzione: dagli asili nido alle Università

Investimento 1.1: Piano per asili nido e scuole dell'infanzia e servizi di educazione e cura per la prima infanzia.

CUP: G55E22000230006

CIG: 9783574CA9



Via Francesco Baracca

Committente:

**COMUNE DI PANDINO**

Responsabile del Procedimento:

Geom. TERSILIO TONETTI



Progettista incaricato:

Dott. Ing. FABRIZIO GENTILI

Coordinamento Architettura e Strutture

Progettazioni specialistiche:

Dott. Arch. FRANCESCO BONCIO

Architettonico

Dott. Ing. DAVID GUBBIOTTI

Strutture

Dott. Ing. ENRICO MALA'



Impianti

### RELAZIONI TECNICHE E SPECIALISTICHE RELAZIONE SUI MATERIALI E LORO DOSATURE

PROGETTO ESECUTIVO

ELABORATO

# B.04

Scala	Data	Aggiornamento
-	marzo 2023	-

# Indice generale

GENERALITÀ.....	2
DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO .....	2
CONGLOMERATO CEMENTIZIO LEGGERO PER GETTO ZONA INGRESSO (LEGNO LAMELLARE) .....	2
PROPRIETÀ DEL CALCESTRUZZO .....	2
CLASSI DI RESISTENZA DEL CALCESTRUZZO .....	3
CLASSI DI MASSA VOLUMICA DEL CALCESTRUZZO .....	4
DURABILITÀ .....	5
COPRIFERRO .....	5
CALCESTRUZZI PREMISCELATI IN SACCO .....	6
CLASSI DI ESPOSIZIONE.....	6
CLASSE DI RESISTENZA MINIMA DEL CALCESTRUZZO IN RELAZIONE ALLA CLASSE DI ESPOSIZIONE .....	7
CONGLOMERATO CEMENTIZIO NORMALE PER FONDAZIONE.....	8
PROPRIETÀ DEL CALCESTRUZZO CLASSE C25/30 .....	8
CONGLOMERATO CEMENTIZIO NORMALE PER OPERE IN ELEVAZIONE E SOLETTE .....	9
PROPRIETÀ DEL CALCESTRUZZO CLASSE C28/35 .....	9
SABBIA.....	10
CLASSE DI CONSISTENZA DEL CALCESTRUZZO .....	12
CLASSE DI ESPOSIZIONE DEL CALCESTRUZZO .....	14
ACQUA DI IMPASTO PER CONGLOMERATO CEMENTIZIO .....	14
ACCIAIO .....	15
MATERIALI LEGNOSI .....	16
MATERIALI PER LA MURATURA .....	18

## RELAZIONE SUI MATERIALI

### GENERALITÀ

L'intervento in progetto riguarda la realizzazione della **“Nuova scuola dell’infanzia”** nel Comune di Pandino (CR). **Intervento PNRR finanziato dall’Unione Europea NEXTGENERATIONUE - Missione 4: istruzione e ricerca, avviso pubblico 48047 del 2.12.2021. Componente 1 - Potenziamento dell’offerta dei servizi di istruzione: dagli asili nido alle università. Investimento 1.1: piano per asili nido e scuole dell’infanzia e servizi di educazione e cura per la prima infanzia.** La zona di esecuzione dei lavori è collocata a una quota di circa m 84 slm. Il territorio del Comune di Pandino (CR) è definito sismico di Zona 3: **“Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti”**.

### DESCRIZIONE DELL’EDIFICIO

Il nuovo fabbricato da adibire a scuola dell’infanzia (3-6 anni) sarà realizzato in un’area libera da ogni costruzione di proprietà del Comune di Pandino (CR) e con destinazione d’uso specificatamente prevista nel PGT per “servizi esistenti” vista la presenza, in posizione adiacente, di un edificio ad uso asilo nido dell’infanzia (0-3 anni): la nuova scuola completerà l’offerta scolastica del Comune e creerà un’importante sinergia tra i due plessi che permetterà sia economie di scala che specifiche attività integrative e di servizio (cucina, mensa, spazi comuni, ecc.). L’area da utilizzare è censita al foglio catastale n. 14 part. 758.

Il fabbricato avrà solai di copertura in latero-cemento con getto di completamento costituito da una soletta in calcestruzzo normale. La copertura della zona di ingresso sarà con la struttura principale e secondaria in legno lamellare; tra le travi principali saranno posizionate tavole in legno tipo KVH sopra cui gettare in opera una soletta armata in cls leggero strutturale (peso proprio  $\gamma = \text{kgm}^{-3} 1600$ ) sopra cui poggiare il pacchetto di impermeabilizzazione finale.

Il solaio di calpestio sarà costituito da lastre autoportanti tipo predalles con getto di calcestruzzo normale di completamento.

**Tutte le verifiche di dimensionamento saranno svolte in riferimento al DM 2018.**

### CONGLOMERATO CEMENTIZIO LEGGERO PER GETTO ZONA INGRESSO (LEGNO LAMELLARE)

#### PROPRIETÀ DEL CALCESTRUZZO

Il conglomerato cementizio leggero dovrà essere Classe 30/35. Le caratteristiche tecniche e prestazioni meccaniche dei calcestruzzi strutturali leggeri sono influenzate dalla loro composi-

zione, dalla massa volumica e dal tipo di aggregato leggero utilizzato. I criteri generali delle regole di calcolo dei calcestruzzi leggeri sono perfettamente coerenti con quelli dei calcestruzzi ordinari. Sarà opportuno adottare, per il calcolo delle prestazioni dei calcestruzzi leggeri, alcuni coefficienti correttivi dipendenti dalla massa volumica del conglomerato. Quanto di seguito proposto è in accordo a quanto disposto dalla normativa nazionale, in particolare il D.M. 17 Gennaio 2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni” e la Circolare 11 Febbraio 2019. Tutte le grandezze caratteristiche dei calcestruzzi alleggeriti riportano il pedice l (“leggero”). I calcestruzzi di aggregati leggeri devono essere caratterizzati e specificati primariamente in ragione della classe di resistenza e di massa per unità di volume.

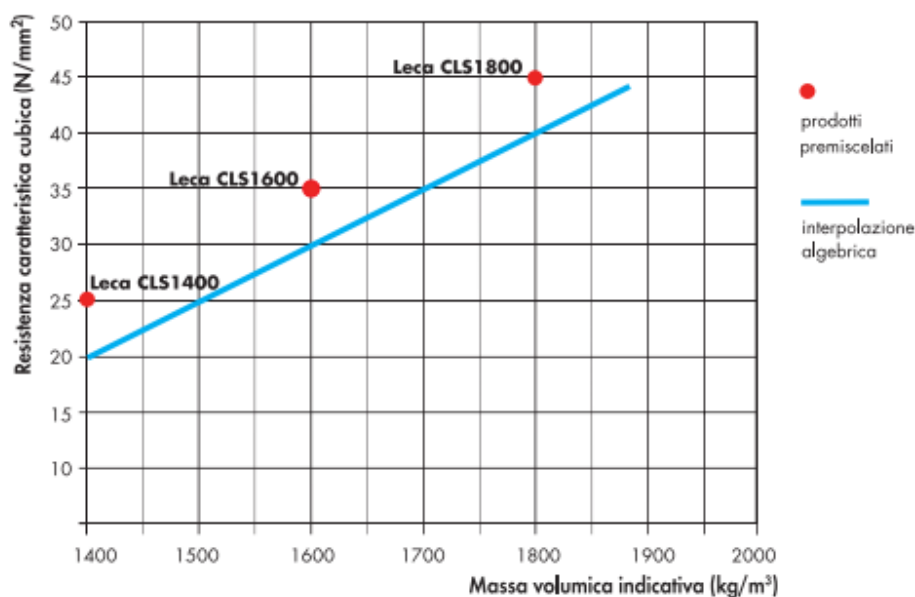
#### CLASSI DI RESISTENZA DEL CALCESTRUZZO

Il calcestruzzo è classificato in base alla sua resistenza caratteristica a compressione cilindrica  $f_{lck}$  (valutata su cilindri del diametro di 150 mm e altezza di 300 mm) o alla resistenza caratteristica cubica  $R_{ck}$  (valutata su cubi di 150 mm di lato). Per i calcestruzzi ordinari il rapporto tra le due resistenze è mediamente pari a 0,83, mentre per i calcestruzzi alleggeriti tale rapporto vale invece 0,90. Il valore medio della resistenza a compressione ( $f_{lcm}$ ), per calcestruzzi con  $f_{lck} \geq 20 \text{ N/mm}^2$ , può essere stimato pari a  $f_{lcm} = f_{lck} + 8 \text{ N/mm}^2$ . Le classi di resistenza ammesse per impieghi strutturali sono dalla LC 16/18 fino alla LC 55/60, secondo la classificazione di cui alla UNI EN 206:2016, riportata nella tabella C4.1.V. della Circolare Applicativa 11 Febbraio 2019 (par. C4.1.12). Per la progettazione e la costruzione di opere soggette all'azione sismica è ammesso l'uso di conglomerati di classe pari o superiore a LC 20/22 (NTC 2018 par. 7.4).

Classe di resistenza a compressione	Resistenza caratteristica cilindrica minima $f_{lck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Resistenza caratteristica cubica minima $R_{lck}$ (N/mm <sup>2</sup> )
LC 16/18	16	18
LC 20/22	20	22
LC 25/28	25	28
LC 30/33	30	33
LC 40/44	35	38
LC 45/50	40	44
LC 50/55	45	50
LC 55/60	50	55
LC 55/60	55	60

Per variare le resistenze meccaniche dei calcestruzzi strutturali leggeri è possibile agire sul quantitativo e sul tipo di cemento, sul rapporto acqua cemento e sugli altri fattori che nor-

malmente influiscono nel conglomerato ordinario, ma anche sul tipo di argilla espansa utilizzata. La resistenza caratteristica a compressione aumenta via via utilizzando Leca e Leca Strutturale (scegliendo cioè materiali con più alta massa volumica e resistenza alla frantumazione dei granuli). Indicazioni esemplificative sui valori di resistenza a compressione dei calcestruzzi di argilla espansa, riferiti alla massa volumica del calcestruzzo indurito, possono essere desunti dal seguente grafico.



#### CLASSI DI MASSA VOLUMICA DEL CALCESTRUZZO

Qualora il calcestruzzo venga classificato in base alla sua massa volumica dopo essiccamento in stufa secondo UNI EN 12390-7, si dovrà fare riferimento alle classi indicate nella norma UNI EN 206-1, o nella tabella C 4.1.VI della Circolare 11-2-2019, che rispetto alla UNI EN 206-1 definisce intervalli di massa volumica più fitti. Nella tabella C.4.1.VI della Circolare esplicativa, sono indicati anche i valori di massa volumica da utilizzarsi per il calcolo del peso proprio delle strutture o dei sovraccarichi permanenti, nel caso di calcestruzzo semplice o armato.

Classe di massa per unità di volume	D1,5	D1,6	D1,7	D1,8	D1,9	D2,0
Intervallo di massa (Kg/m³)	$\rho \geq 1400$ $\rho \leq 1500$	$\rho \geq 1500$ $\rho \leq 1600$	$\rho \geq 1600$ $\rho \leq 1700$	$\rho \geq 1700$ $\rho \leq 1800$	$\rho \geq 1800$ $\rho \leq 1900$	$\rho \geq 1900$ $\rho \leq 2000$
Massa cls non armato (kg/m³)	1550	1650	1750	1850	1950	2050
Massa cls armato (kg/m³)	1650	1750	1850	1950	2050	2150
Classe	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Diametro spandimento (mm)	$\geq 340$	350 ÷ 410	420 ÷ 480	490 ÷ 550	490 ÷ 550	$\geq 630$

La massa volumica del calcestruzzo strutturale leggero deve essere non inferiore a  $1400 \text{ kg/m}^3$  e non superiore a  $2000 \text{ kg/m}^3$ . La riduzione di peso, assicurata da un cls leggero strutturale, è particolarmente significativa ed importante nell'esecuzione di opere di ristrutturazione e nelle realizzazioni di strutture in elevazione. In particolare, i premiscelati in sacco della gamma Leca CLS si dimostrano pratici e di facile impiego in interventi di recupero di edifici storici.

#### **DURABILITÀ**

Per garantire la vita utile di progetto richiesta per una struttura, devono essere prese adeguate disposizioni al fine di proteggere ogni elemento strutturale dalle azioni ambientali rilevanti. Il raggiungimento di adeguati livelli di durabilità, nei confronti dei fattori ambientali che causano degrado del conglomerato e delle armature, è condizionato da molti fattori tra i quali: • concezione strutturale; • limitazione della fessurazione; • classe di resistenza e massa volumica del conglomerato; • dettagli costruttivi; • procedure di esecuzione e relativi controlli di qualità; • verifiche periodiche ed azioni programmate di manutenzione; • misure speciali di protezione, quali l'impiego di acciai inossidabili, rivestimenti ecc...

#### **COPRIFERRO**

Il copriferro, in accordo alle Norme Tecniche NTC2018, individua lo spessore del calcestruzzo che ricopre l'armatura più esterna. Al fine della protezione delle armature dalla corrosione, lo strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve essere dimensionato in funzione dell'aggressività dell'ambiente e della sensibilità delle armature dalla corrosione, tenendo anche conto delle tolleranze di posa delle armature. A tale scopo si può far riferimento alla UNI EN 1992-1 (EC2). I prospetti 4.4N e 4.5N (EC2 par. 4.4.1) riportano infatti i valori del copriferro minimo  $C_{\min, \text{dur}}$  in riferimento ai requisiti di durabilità e in funzione della classe strutturale, per acciai da armatura ordinaria, in accordo alla EN 10080 e per acciai da precompressione. Per calcestruzzi con aggregati leggeri, i valori di ricoprimento minimo dati dal prospetto 4.2 devono essere aumentati di 5 mm (EC2 par. 11.4). Si riporta di seguito il prospetto con i valori di copriferro minimo da adottare nel caso di calcestruzzi strutturali leggeri (quindi già aumenti del valore di 5 mm, come richiesto al punto 11.4.2 dell'EC2), da noi elaborato con riferimento alla classe strutturale raccomandata S4 (vita utile di progetto 50 anni), e in funzione della classe di esposizione ambientale, sulla base delle indicazioni riportate nei prospetti 4.4 N e 4.5 N dell'EC2, rispettivamente nel caso di strutture in c.a. e in c.a.p.

Classi di esposizione							
$C_{min,dur}$	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
mm	15	20	30	35	40	45	50

Valori di  $C_{min,dur}$  (copriferro minimo dovuto alle condizioni ambientali) per strutture in c.a.

Classi di esposizione							
$C_{min,dur}$	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
mm	15	30	40	45	50	55	60

Valori di  $C_{min,dur}$  (copriferro minimo dovuto alle condizioni ambientali) per strutture in c.a.p.

### CALCESTRUZZI PREMISCELATI IN SACCO

Nel caso in progetto potranno essere usati i calcestruzzi strutturali leggeri sono disponibili anche premiscelati in sacco.

Prodotto	Classe di massa volumica	Resistenza caratteristica a compressione cubica	Classe di resistenza
LecaCLS 1400	D 1,5 (ca. 1400 kg/m <sup>3</sup> )	$R_{ck}$ 25 N/mm <sup>2</sup>	LC 20/22
LecaCLS 1600	D 1,7 (ca. 1600 kg/m <sup>3</sup> )	$R_{ck}$ 35 N/mm <sup>2</sup>	LC 30/33
LecaCLS 1800	D 1,9 (ca. 1800 kg/m <sup>3</sup> )	$R_{ck}$ 45 N/mm <sup>2</sup>	LC 40/44
Calcestruzzo CentroStorico	D 1,6 (ca. 1500 kg/m <sup>3</sup> )	$R_{ck}$ 28 N/mm <sup>2</sup>	LC 25/28
Calcestruzzo Rapido	D 1,5 (ca. 1400 kg/m <sup>3</sup> )	$R_{ck}$ 25 N/mm <sup>2</sup>	LC 20/22
Calcestruzzo Fluido	D 1,9 (ca. 1800 kg/m <sup>3</sup> )	$R_{ck}$ 40 N/mm <sup>2</sup>	LC 35/38

Le note della presente relazione sul calcestruzzo leggero strutturale sono tratte da: **“CALCESTRUZZO LEGGERO STRUTTURALE IN ARGILLA ESPANSA - LECA SOLUZIONI LEGGERE ED ISOLANTI - VI EDIZIONE”**.

### CLASSI DI ESPOSIZIONE

Il livello di aggressività dell'ambiente, con riferimento al quale si dovranno operare le scelte progettuali più opportune per garantire la durabilità della struttura, è definito dalle classi di esposizione così come indicate dal prospetto 1 del punto 4.1 della UNI EN 11104 e della UNI EN 206-1 (prospetto 1 del punto 4.1) e riportate nella tabella seguente.

Tra le misure da adottare per garantire la durabilità, particolare rilievo assumono la definizione del minimo copriferro necessario e la specifica della minima classe di resistenza del calcestruzzo da impiegare in funzione della classe di esposizione della struttura in progetto.

Denominazione della classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione
<b>1. Assenza di rischio di corrosione o attacco</b>		
<b>X0</b>	Per calcestruzzo privo di armature o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo/disgelo, abrasione o attacco chimico. Per calcestruzzo con armatura o inserti metallici: molto asciutto	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità dell'aria molto bassa
<b>2. Corrosione indotta da carbonatazione</b>		
<b>XC1</b>	Asciutto o permanente bagnato	Calcestruzzo all'interno di edifici con bassa umidità relativa. Calcestruzzo costantemente immerso in acqua.
<b>XC2</b>	Bagnato, raramente asciutto	Superfici di calcestruzzo a contatto con acqua per molto tempo. Calcestruzzo di molte fondazioni.
<b>XC3</b>	Umidità modesta	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità relativa moderata oppure elevata. Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia.
<b>XC4</b>	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2.
<b>3. Corrosione da cloruri esclusi quello provenienti dall'acqua di mare</b>		
<b>XD1</b>	Umidità moderata	Superfici in calcestruzzo esposte a nebbia salina.
<b>XD2</b>	Bagnato, raramente asciutto	Piscine.
<b>XD1</b>	Umidità moderata	Superfici in calcestruzzo esposte a nebbia salina.
<b>XD2</b>	Bagnato, raramente asciutto	Piscine. Calcestruzzo esposto ad acque industriali contenenti cloruri.
<b>XD3</b>	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Parti di ponti esposte a spruzzi contenenti cloruri. Pavimentazioni. Pavimentazioni di parcheggi.
<b>4. Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare</b>		
<b>XS1</b>	Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare.	Strutture prossime oppure sulla costa.
<b>XS2</b>	Permanentemente sommerso.	Parti di strutture marine.
<b>XS3</b>	Zone esposte alle onde oppure alla marea.	Parti di strutture marine.
<b>5. Attacco dei cicli gelo/disgelo con o senza sali disgelanti</b>		
<b>XF1</b>	Moderata saturazione di acqua, senza impiego di agenti antigelo.	Superfici verticali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo.
<b>XF2</b>	Moderata saturazione di acqua, con uso di agente antigelo.	Moderata saturazione d'acqua, con uso di agente antigelo.
<b>XF3</b>	Elevata saturazione di acqua, senza agente antigelo.	Superfici orizzontali esposte alla pioggia e al gelo.
<b>XF4</b>	Elevata saturazione di acqua, con agente antigelo oppure con acqua di mare.	Strade ed impalcati da ponte esposti agli agenti antigelo.
<b>6. Attacco chimico</b>		
<b>XA1</b>	Ambiente chimico debolmente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	
<b>XA2</b>	Ambiente chimico moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	
<b>XA3</b>	Ambiente chimico fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	

#### CLASSE DI RESISTENZA MINIMA DEL CALCESTRUZZO IN RELAZIONE ALLA CLASSE DI ESPOSIZIONE

Oltre alla definizione dei valori minimi del copriferro, un'ulteriore misura per la limitazione del rischio di corrosione delle armature, nonché del degrado del calcestruzzo, consiste nell'impiego di calcestruzzi con classe di resistenza via via crescente al crescere dell'aggressività dell'ambiente in cui la struttura di progetto di verrà a trovare. Si riportano di seguito i valori estratti dalla Norma UNI EN 206-1, prospetto F.1 dell'Appendice F e dalla UNI EN 11104, prospetto 5:



Denominazione della classe	Resistenza a compressione caratteristica cubica
<b>1. Assenza di rischio di corrosione o attacco</b>	
X0	$R_{ck,min}=15$ MPa (UNI EN 206 e UNI EN 11104)
<b>2. Corrosione indotta da carbonatazione</b>	
XC1	$R_{ck,min}=25$ MPa (UNI EN 206) - $R_{ck,min}=30$ Mpa (UNI EN 11104)
XC2	$R_{ck,min}=30$ MPa (UNI EN 206 e UNI EN 11104)
XC3	$R_{ck,min}=37$ MPa (UNI EN 206 e UNI EN 11104)
XC4	$R_{ck,min}=37$ MPa (UNI EN 206) - $R_{ck,min}=40$ Mpa (UNI EN 11104)
<b>3. Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare</b>	
XD1	$R_{ck,min}=37$ MPa (UNI EN 206 e UNI EN 11104)
XD2	$R_{ck,min}=37$ MPa (UNI EN 206) - $R_{ck,min}=40$ Mpa (UNI EN 11104)
XD3	$R_{ck,min}=45$ MPa (UNI EN 206 e UNI EN 11104)
<b>4. Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare</b>	
XS1	$R_{ck,min}=37$ MPa (UNI EN 206) - $R_{ck,min}=40$ Mpa (UNI EN 11104)
XS2	$R_{ck,min}=45$ MPa (UNI EN 206 e UNI EN 11104)
XS3	$R_{ck,min}=45$ MPa (UNI EN 206 e UNI EN 11104)
<b>5. Attacco dei cicli gelo/disgelo con o senza sali disgelanti</b>	
XF1	$R_{ck,min}=37$ MPa (UNI EN 206) - $R_{ck,min}=40$ Mpa (UNI EN 11104)
XF2	$R_{ck,min}=30$ MPa (UNI EN 206 e UNI EN 11104)
XF3	$R_{ck,min}=37$ MPa (UNI EN 206) - $R_{ck,min}=30$ Mpa (UNI EN 11104)
XF4	$R_{ck,min}=37$ MPa (UNI EN 206 e UNI EN 11104)
<b>6. Attacco chimico</b>	
XA1	$R_{ck,min}=37$ MPa (UNI EN 206 e UNI EN 11104)
XA2	$R_{ck,min}=37$ MPa (UNI EN 206) - $R_{ck,min}=40$ Mpa (UNI EN 11104)
XA3	$R_{ck,min}=45$ MPa (UNI EN 206 e UNI EN 11104)

## CONGLOMERATO CEMENTIZIO NORMALE PER FONDAZIONE

### PROPRIETÀ DEL CALCESTRUZZO CLASSE C25/30

La Classe di Resistenza del calcestruzzo è contraddistinta da una resistenza cubica caratteristica  $R_{ck}$  pari a 300 daN/cm<sup>2</sup>, da cui si ottiene il valore della resistenza cilindrica caratteristica  $f_{ck}$  pari a  $0.83 \cdot R_{ck} = 249$  daN/cm<sup>2</sup>. E' possibile passare dal valore caratteristico al valore medio della resistenza cilindrica, mediante l'espressione:  $f_{cm} = f_{ck} + 8 \cdot 10 = 329.0$  daN/cm<sup>2</sup>. Il valore di calcolo della resistenza del calcestruzzo, si ottiene dividendo il rispettivo valore caratteristico per il coefficiente di sicurezza  $\gamma_c$  dello stesso, pari a 1.50, ottenendo  $f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 166$  daN/cm<sup>2</sup>. Quest'ultimo deve essere ridotto del 15% per tenere conto della riduzione di resistenza sotto i carichi di lunga durata, ottenendo a così il valore  $f_{cd} = 0.85 \cdot 166 = 141$  daN/cm<sup>2</sup>. Il Modulo Elastico del calcestruzzo  $E_c$  da adottare, secondo quanto stabilito dalle Norme, è quello istantaneo secante tra la tensione nulla e  $0.40 f_{cm}$ , e si assume pari a  $E_{cm} = 220000 [f_{cm}]^{0.3} = 314471$  daN/cm<sup>2</sup> con  $f_{cm}$  espresso in daN/mm<sup>2</sup>. In riferimento alla lavorabilità e durabilità, si è scelto di utilizzare un cls caratterizzato da: **Classe di Consistenza: S4, Classe di Esposizione: XC2 (cal-**

**cestruzzo bagnato, raramente asciutto).**

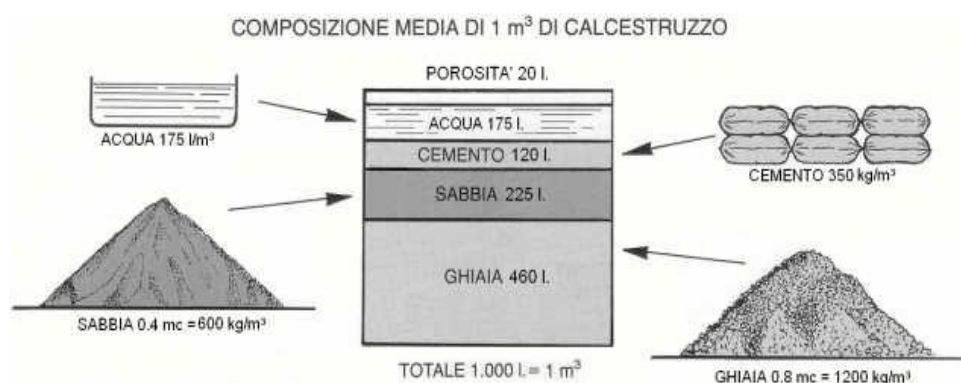
## **CONGLOMERATO CEMENTIZIO NORMALE PER OPERE IN ELEVAZIONE E SOLETTE**

### **PROPRIETÀ DEL CALCESTRUZZO CLASSE C28/35**

La Classe di Resistenza del calcestruzzo è contraddistinta da una resistenza cubica caratteristica  $R_{ck}$  pari a  $350 \text{ daN/cm}^2$ , da cui si ottiene il valore della resistenza cilindrica caratteristica  $f_{ck}$  pari a  $0.83 \cdot R_{ck} = 290 \text{ daN/cm}^2$ . E' possibile passare dal valore caratteristico al valore medio della resistenza cilindrica, mediante l'espressione:  $f_{cm} = f_{ck} + 8 \cdot 10 = 370.0 \text{ daN/cm}^2$ . Il valore di calcolo della resistenza del calcestruzzo, si ottiene dividendo il rispettivo valore caratteristico per il coefficiente di sicurezza  $\gamma_c$  dello stesso, pari a 1.50, ottenendo  $f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 193 \text{ daN/cm}^2$ . Quest'ultimo deve essere ridotto del 15% per tenere conto della riduzione di resistenza sotto i carichi di lunga durata, ottenendo a così il valore  $f_{cd} = 0.85 \cdot 193 = 164 \text{ daN/cm}^2$ . Il Modulo Elastico del calcestruzzo  $E_c$  da adottare, secondo quanto stabilito dalle Norme, è quello istantaneo secante tra la tensione nulla e  $0.40 f_{cm}$ , e si assume pari a  $E_{cm} = 22000 [f_{cm}]^{0.3} = 337200 \text{ daN/cm}^2$  con  $f_{cm}$  espresso in  $\text{daN/mm}^2$ . In riferimento alla lavorabilità e durabilità, si è scelto di utilizzare un cls caratterizzato da: **Classe di Consistenza: S4, Classe di Esposizione: XC3 (umidità moderata calcestruzzo non direttamente esposto).**

### **CALCESTRUZZO**

Il conglomerato cementizio da impiegarsi dovrà essere dosato rispettando i seguenti rapporti di miscelazione, con le quantità riferite ad un  $\text{m}^3$  di conglomerato.



Nella formazione degli impasti, i vari componenti dovranno risultare intimamente mescolati ed uniformemente distribuiti nella massa e durante il getto si dovrà procedere ad idonea azione di vibratura. Infine, per garantire la durabilità delle opere e prevenirne il degrado dovuto all'aggressività dell'ambiente esterno, che può indurre danni a carico delle armature metalliche e della matrice cementizia, si definisce, per il calcestruzzo delle opere in oggetto, una

classe di esposizione XC2.

## CEMENTO

La fornitura del cemento sarà effettuata con l'osservanza delle condizioni e modalità di cui alle Normative europee e nazionali sulla composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni e per la valutazione di conformità:

**L. 595 del 26.5.1965:** *"Caratteristiche tecniche e requisiti dei leganti idraulici (G.U. n. 143 del 10.6.1965)"*

**D.M. 3 giugno 1968:** *"Nuove norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova dei cementi (G.U. n. 180 del 17 luglio 1968)"*

**D.M. 31 agosto 1972:** *"Norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova degli agglomerati cementizi e delle calce idrauliche"*

**D.M. 20 novembre 1984:** *"Modificazioni al decreto ministeriale 3 giugno 1968 recante norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova dei cementi (G.U. n. 353 del 27 dicembre 1984)"*

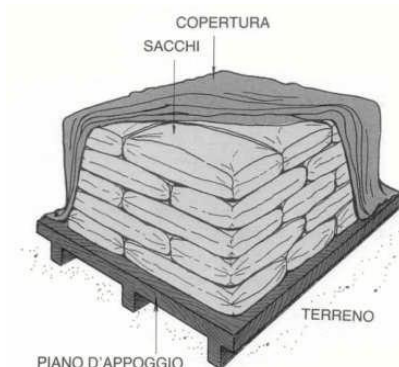
**Dir. 89/106/CEE del 21.12.1988:** *"Relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati membri concernenti i prodotti da costruzione (G.U. L.40 dell'11 febbraio 1989)"*

**D.p.r. n. 246 del 21 aprile 1993:** *"Regolamento di attuazione della direttiva 89/106/CEE relativa ai prodotti da costruzione (G.U. n. 170 del 22 luglio 1993)"*

**D.M. 13 settembre 1993:** *"Abrogazione di alcune disposizioni contenute nel decreto ministeriale 3 giugno 1968 concernente nuove norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova dei cementi (G.U. n.223 del 22 settembre 1993)"*

**UNI EN 197-1.** *"(cemento) Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni (6/2001)"*.

Il cemento dovrà essere conservato esclusivamente in locali coperti, asciutti e privi di correnti d'aria. Se fornito in sacchi, questi non vanno mai tenuti all'aperto, ma conservati in ambienti asciutti e chiusi, lasciando sempre delle intercapedini fra piano di appoggio e terreno. E' escluso l'impiego di cementi alluminosi. Qualora il calcestruzzo risulti esposto a condizioni ambientali chimicamente aggressive si devono utilizzare cementi per i quali siano prescritte adeguate proprietà di resistenza ai solfati e/o al dilavamento o ad altre azioni aggressive.



## SABBIA

La sabbia dovrà essere prelevata esclusivamente da fiumi e da fossi; dovrà essere costituita da elementi prevalentemente silicei, di forma angolosa e di grossezza assortita; dovrà essere aspra al tatto e senza lasciare traccia di sporco; dovrà essere esente da cloruri e scevra di mate-

rie terrose, argillose, limacciose; non dovrà contenere fibre organiche, oltre a quanto stabilito dall'art.6 del citato R.D. 16.11.1939 n.2229, la corrispondenza granulometrica della sabbia potrà essere anche quella eventualmente migliore che risulti da diretta esperienza sui materiali impiegati.

#### GHIAIA E PIETRISCO

Sono idonei alla produzione del calcestruzzo per uso strutturale gli aggregati ottenuti dalla lavorazione di materiali naturali, artificiali, ovvero provenienti da processi di riciclo, conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 12620 e, per gli aggregati leggeri, alla norma europea armonizzata UNI EN 13055-1. L'attestazione della conformità di tali aggregati deve essere effettuata ai sensi del DPR n. 246/93. La ghiaia dovrà essere formata da materiali resistenti, inalterabili all'aria, all'acqua ed al gelo, gli elementi dovranno essere pulitissimi ed esenti da cloruri e da materiali polverulenti; dovranno essere esclusi elementi a forma di ago e di piastrelle. Oltre a rispondere ai requisiti richiesti dall'art.7 del R.D. 16/11/1939 n.2229, la composizione dell'aggregato ghiaia-sabbia dovrà essere quella eventualmente migliore che risulta da esperienza diretta sui materiali impiegati. Ad ogni modo la dimensione massima della ghiaia sarà commisurata per l'assestamento del getto, ai vuoti tra le armature e tra i casseri tenendo presente che il diametro massimo dell'inerte non deve superare 0,6-0,7 volte la distanza minima tra due tondini di acciaio contigui e dovrà essere inferiore ad  $\frac{1}{4}$  della dimensione minima della struttura. Il pietrisco e la graniglia dovranno provenire dalla spezzatura di rocce silicee, basaltiche, porferee, granitiche e calcaree, rispondenti in genere ai requisiti prescritti per pietre naturali nonché a quelli prescritti per la ghiaia al precedente punto. Dovrà essere escluso il pietrisco proveniente dalla frantumazione di scaglie di residui di cave.

*E' consentito l'uso di aggregati grossi provenienti da riciclo, secondo i limiti previsti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, a condizione che la miscela di calcestruzzo confezionata con aggregati riciclati, venga preliminarmente qualificata e documentata attraverso idonee prove di laboratorio. Per tali aggregati, le prove di controllo di produzione in fabbrica, di cui agli allegati di pertinenza delle norme UNI EN 12620, devono essere effettuate ogni 100 tonnellate di aggregato prodotto e, comunque, negli impianti di riciclo, per ogni giorno di produzione. Inoltre, gli aggregati riciclati devono rispettare, in funzione della destinazione finale del calcestruzzo e delle sue proprietà prestazionali, dei requisiti chimico-fisici aggiuntivi, rispetto a quelli fissati per gli aggregati naturali, secondo quanto prescritto dalle norme UNI 8520-1.2005 e UNI*

*8520-2:2005. Sempre con riferimento a queste norme, è possibile individuare le quantità percentuali minime di impiego per tali tipologie di aggregati.*

#### AGGIUNTE E ADDITIVI

Nei calcestruzzi è ammesso l'impiego di aggiunte, in particolare di ceneri volanti, loppe granulate d'altoforno e fumi di silice, purché non ne vengano modificate negativamente le caratteristiche prestazionali. Le ceneri volanti devono soddisfare i requisiti della norma europea UNI EN 450-1. Per quanto riguarda invece l'impiego bisogna fare riferimento alle norme UNI EN 206-1:2006 e UNI 11104:2004. I fumi di silice, infine, devono soddisfare i requisiti della norma europea UNI EN 13263-1. Oltre ai componenti normali (cemento, acqua, sabbia e ghiaia) è ammesso l'utilizzo di prodotti chimici come additivi al calcestruzzo. Essi, aggiunti solitamente in piccole quantità, hanno lo scopo di migliorare una o più prestazioni. A seconda della loro specifica funzione, gli additivi possono essere classificati in varie tipologie: acceleranti, ritardanti, aeranti, inibitori di corrosione, battericidi, idrofobizzanti, anti-ritiro, fluidificanti e superfluidificanti. In particolare, i fluidificanti, ad esempio, migliorano la lavorabilità dell'impasto, evitando di dover aumentare la quantità d'acqua; gli acceleranti e i ritardanti, rispettivamente, accelerano e ritardano la presa del calcestruzzo in opera; gli aeranti introducono aria, migliorando la resistenza al gelo. L'uso degli additivi deve essere fatto con attenzione, seguendo le indicazioni del fornitore. E' importante precisare che un uso scorretto, specie con riferimento alle quantità, può comportare effetti secondari negativi. Tutti gli additivi devono essere conformi alla norma europea UNI EN 13263-1.

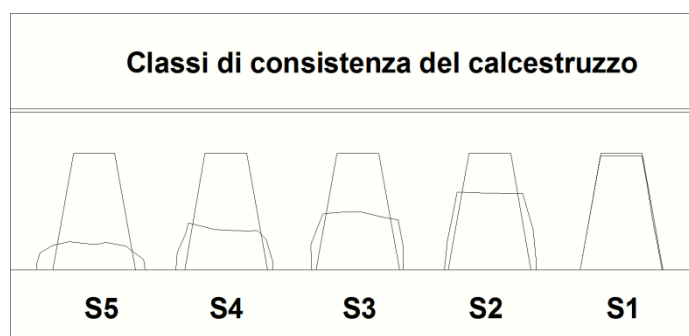
#### CLASSE DI CONSISTENZA DEL CALCESTRUZZO

La consistenza del calcestruzzo rappresenta il grado di compattezza dell'impasto fresco: minore è il grado di consistenza e maggiore sarà la sua lavorabilità. La lavorabilità, ovvero la facilità con cui viene mescolato l'impasto, varia in funzione del tipo di calcestruzzo impiegato, dipende dalla granulometria degli inerti, dalla presenza o meno di additivi e aumenta in relazione al quantitativo di acqua aggiunta. La classe di consistenza del calcestruzzo da utilizzare viene fissata in base all'esigenza che l'impasto rimanga fluido per il tempo necessario a raggiungere tutte le parti interessate dal getto, senza che perda di omogeneità ed in modo che, a compattazione avvenuta, non rimangano dei vuoti. Il calcestruzzo viene quindi classificato, a seconda della sua consistenza, sulla base dell'abbassamento al cono (slump), ed identificato da un codice (da S1 a S5), che corrisponde ad un determinato intervallo di lavorabilità, espresso me-

dianete la misura dello slump in mm. La lavorabilità cresce all'aumentare del numero che accompagna la classe.

Classe di Consistenza	Slump (mm)	Applicazioni
S1 (Terra umida)	10 - 40	pavimenti messi in opera con vibro finiture
S2 (Terra plastica)	50 - 90	strutture circolari (silos, ciminieri)
S3 (semi fluida)	100 - 150	strutture non armate o poco armate
S4 (fluida)	160 - 210	strutture mediamente armate
S5 (super fluida)	oltre 210	strutture fortemente armate con ridotta sezione e/o complessa geometria

Considerare, quindi, un calcestruzzo con classe di consistenza S3, caratterizzato da uno slump compreso tra 100 e 150 mm, significa che, se sottoposto alla prova di abbassamento del cono (slump test), il provino troncoconico di calcestruzzo fresco, appena sfornato, subisce un abbassamento compreso in quell'intervallo.



La scelta della classe di consistenza del calcestruzzo è legata alla lavorabilità che ci si aspetta dall'impasto per il tipo di opera che si deve andare a realizzare.

Per la quasi totalità delle opere in calcestruzzo armato gettato in casseforme, ci si aspetta una lavorabilità che ricada tra la classe di consistenza semi-fluida (S3) e quella super-fluida (S5). Ad esempio, nella realizzazione di elementi verticali, come muri contro terra, plinti in fondazioni, vani ascensore e pilastri, si preferirà utilizzare un calcestruzzo di classe S4, abbastanza fluido da essere posto in opera per mezzo di un'autopompa. Per gli elementi orizzontali, invece, come i solai direttamente gettati in opera o le travi, a causa della difficoltà della loro messa in opera, sarà necessario l'impiego di un calcestruzzo con classe di consistenza maggiore, come la S5. Infine, quando si tratterà di realizzare strutture inclinate come le rampe di una scala o le falde di un tetto, per le quali l'eccessiva fluidità del materiale può risultare scomoda, si passa alla scelta della classe S3. Possiamo quindi concludere che maggiore è la densità dei ferri all'in-

terno di un manufatto, maggiore deve essere la fluidità dell'impasto, di modo che quest'ultimo possa insinuarsi completamente all'interno di ogni intercapedine. Ad ogni modo una maggiore fluidità, indipendentemente dalla tipologia dell'opera, garantisce una esecuzione più rapida ed affidabile.

#### **CLASSE DI ESPOSIZIONE DEL CALCESTRUZZO**

Per resistere alle azioni ambientali, il calcestruzzo deve possedere dei requisiti che tengano conto della vita di esercizio prevista per l'opera da realizzare. Pertanto, in funzione della sua esposizione all'ambiente esterno, è possibile individuare le corrispondenti classi di esposizione. Per ciascuna di queste classi è richiesto il rispetto di alcuni vincoli, espressi sotto forma di rapporto acqua cemento (a/c), dosaggio di cemento e spessore minimo del copriferro. Questo significa che, all'aumentare dell'intensità dell'attacco dell'ambiente esterno, deve aumentare il quantitativo di cemento nell'impasto, riducendo, quindi, il rapporto acqua-cemento e deve aumentare lo spessore del copriferro. A seconda delle situazioni esterne ambientali, più o meno aggressive, è possibile, definire più classi di esposizione come prescritto dalle UNI-EN 206-1.2006 e come riportato nella seguente tabella:

<b>Classe</b>	<b>Ambiente</b>
X0	Assenza di corrosione
XC	Corrosione da carbonatazione
XD	Corrosione da cloruri non marini
XS	Corrosione da cloruri marini
XF	Degrado per cicli gelo - disgelo
XA	Attacchi chimici

Le Norme Tecniche, invece, distinguono le condizioni ambientali in ordinarie, aggressive e molto aggressive, e definiscono, per ciascuna condizione, le corrispondenti classi di esposizione, come di seguito indicato in tabella:

<b>Condizioni ambientali</b>	<b>Classi di esposizione</b>
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3,
Aggressive	XC4, XD1, XS1
Molto Aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3

#### **ACQUA DI IMPASTO PER CONGLOMERATO CEMENTIZIO**

L'acqua d'impasto non dovrà contenere, in percentuali pericolose, sostanze che influenzino negativamente le proprietà del cls sia fresco che indurito e la conservazione delle armature.

Le principali sostanze su cui va posta attenzione a questo fine saranno:

- sostanze organiche: limite di accettabilità  $\leq 2\text{g/l}$
- solfati (tipo  $\text{SO}_3$ ): limite di accettabilità  $\leq 1.2\text{g/l}$
- cloruri (ione Cl): limite di accettabilità  $\leq 0.4\%$  sul peso di cemento

Per i cloruri tale limite si intende relativo al contenuto complessivo di ione cloro nel conglomerato cementizio (aggregati + cemento + acqua + additivi).

## **ACCIAIO**

L'acciaio per la produzione di strutture in c.a. deve essere prodotto con un sistema permanente di controllo interno della produzione in stabilimento. Le prove di qualifica dell'acciaio prodotto devono essere effettuate sia internamente all'impianto di produzione, sotto controllo di un laboratorio ufficiale, sia presso il laboratorio ufficiale stesso. Tali prove devono essere qualificate con revisione semestrale da parte del Servizio Tecnico Centrale, mediante emissione di attestato di qualificazione, in cui vengono dichiarati i valori caratteristici dei vari requisiti geometrici e prestazionali, richiesti dalle Norme. La documentazione di qualifica deve essere verificata ad ogni fornitura di materiale in cantiere. L'acciaio deve essere riconoscibile per quanto concerne le caratteristiche qualitative e riconducibile allo stabilimento di produzione, tramite marchiatura indelebile, depositata presso il Servizio Tecnico Centrale. Dalla marchiatura deve risultare, in modo inequivocabile, il riferimento all'azienda produttrice, allo stabilimento, al tipo di acciaio e alla sua eventuale saldabilità. La mancata marchiatura, la non corrispondenza a quanto depositato o la sua illeggibilità, anche parziale, rendono il prodotto non impiegabile. Inoltre, sono obbligatori i controlli di accettazione in cantiere, da eseguirsi sui lotti di spedizione e da effettuarsi entro trenta giorni dalla consegna del materiale, con riferimento ai criteri di scelta dei campioni prescritti dalle Norme. I valori limite di resistenza e allungamento dei campioni, per l'accettazione, sono quelli prescritti dalle attuali Norme Tecniche per le Costruzioni. Le armature devono essere protette, durante la permanenza in deposito, contro tutte le azioni esterne che ne possano compromettere le caratteristiche geometriche o meccaniche. È necessario, prima della messa in opera controllare lo stato superficiale delle armature. Tutte le barre di acciaio dovranno essere poste in opera prive di tracce di ruggine e praticando all'estremità gli opportuni ancoraggi ed in ogni caso dovranno rispondere a tutti i requisiti riportati nella Circolare del Ministero LL.PP. n.37406 del 24/06/1993, relativamente agli acciai ad aderenza migliorata. Tutti gli acciai per cemento armato devono essere ad aderenza miglio-



rata, aventi cioè una superficie dotata di nervature o indentature trasversali, uniformemente distribuite sull'intera lunghezza, atte ad aumentare l'aderenza al conglomerato cementizio. Le barre sono caratterizzate dal diametro della barra tonda liscia equipesante, calcolato nell'ipotesi che la densità dell'acciaio sia pari a  $7,85 \text{ kg/dm}^3$ . Per il presente progetto, si è scelto di usare l'acciaio tipo B450C che risulta più duttile e può essere impiegato in barre del diametro compreso tra 6 e 40 mm. Nel caso si utilizzino diametri fino a 16 mm, è ammesso l'uso di acciai forniti in rotoli. Le operazioni di lavorazione delle armature, prima della messa in opera, possono essere effettuate direttamente in cantiere, o altrimenti effettuata da impresa specializzata, che, in base alle specifiche di progetto, sia in grado di fornire tutti gli elementi pronti per il montaggio, mediante lavorazione automatizzata. La lunghezza di ancoraggio  $L$  delle barre deve essere almeno pari a venti volte il diametro, mentre la piegatura del ferro deve essere almeno cinque volte il diametro. Le dimensioni del mandrino, con cui effettuare la piegatura dei ferri, dipende dal diametro della barra e dal tipo di acciaio impiegato come prescritto dalle norme UNI-EN 206, e come di seguito riportato in tabella:

Diametro della barra $\varnothing$	Diametro del mandrino $\beta$
$\varnothing < 12 \text{ mm}$	$4\varnothing$
$12 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 16 \text{ mm}$	$5\varnothing$
$16 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 25 \text{ mm}$	$8\varnothing$
$25 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 40 \text{ mm}$	$10\varnothing$

Lunghezza di ancoraggio $L_b \geq 20 \varnothing$	Lunghezza della piega $L \geq 5 \varnothing$

## MATERIALI LEGNOSI

**Legno lamellare:** Per le strutture portanti di orditura principale in legno si dovrà utilizzare un legno lamellare di conifera omogeneo. Per le caratteristiche meccaniche si dovrà fare riferimento alla normativa vigente (DM2018) ed alla **CNR-DT 206 R1/2018** ed in particolare alla Tabella A-5 (allegata) per una tipologia **GL32h**.

Tabella A-5 - Classi di resistenza per legno lamellare di conifera omogeneo (EN14080)

		GL20h	GL22h	GL24h	GL26h	GL28h	GL30h	GL32h
Resistenze [MPa]								
Flessione	$f_{m,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Trazione parallela	$f_{t,0,k}$	16	17.6	19.2	20.8	22.3	24	25.6
Trazione perpendicolare	$f_{t,90,k}$				0.5			
Compressione parallela	$f_{c,0,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Compressione perpendicolare	$f_{c,90,k}$				2.5			
Taglio	$f_{v,k}$				3.5			
Rolling shear	$f_{r,k}$				1.2			
Rigidezze [MPa]								
Modulo di elasticità parallelo medio	$E_{0,mean}$	8 400	10 500	11 500	12 100	12 600	13 600	14 200
Modulo di elasticità parallelo 5-percentile	$E_{0,05}$	7 000	8 800	9 600	10 100	10 500	11 300	11 800
Modulo di elasticità perpendicolare medio	$E_{90,mean}$				300			
Modulo di elasticità perpendicolare 5-percentile	$E_{90,05}$				250			
Modulo di taglio medio	$G_{mean}$				650			
Modulo di taglio 5-percentile	$G_{05}$				540			
Modulo di taglio rotolamento medio	$G_{r,mean}$				65			
Modulo di taglio rotolamento 5-percentile	$G_{r,05}$				54			
Massa volumica (kg/m <sup>3</sup> )								
Massa volumica caratteristica	$\rho_k$	340	370	385	405	425	430	440
Massa volumica media	$\rho_{mean}$	370	410	420	445	460	480	490

Il legname dovrà essere messo in opera con la massima cura facendo particolare attenzione alla protezione della zona direttamente a contatto con la muratura di appoggio: in particolare dovrà essere protetto con un materiale che ne consenta la traspirazione ma lo protegga dal contatto diretto con l'umidità naturale della muratura/calcestruzzo stessi. La classificazione dei preservanti per quanto attiene alla penetrazione ed alla ritenzione, è contenuta nelle UNI-EN 351 e le specifiche relative alla prestazione dei preservanti per legno, alla loro classificazione ed alla loro etichettatura sono indicate nella UNI-EN 599.

TAVOLATO IN LEGNO DI ABETE (C24) TIPO KVH: Per le strutture portanti di orditura secondaria in legno si dovrà utilizzare un legno di abete. Per le caratteristiche meccaniche si dovrà fare riferimento alla normativa vigente (DM2018) ed alla **CNR-DT 206 R1/2018** ed in particolare alla Tabella A-3 (allegata) per una tipologia **S2**.

Tabella A-3 - Classi di resistenza per specie legnose di provenienza italiana (conifere)-UNI 11035

		Abete / Italia		Pino laricio / Italia			Larice / Nord Italia		Douglasia / Italia		Altre conifere <sup>(2)</sup> / Italia		
		S2	S3	S1	S2	S3	S2	S3	S1 <sup>(1)</sup>	S2/S3	S1	S2	S3
Resistenze [MPa]													
Flessione	$f_{m,k}$	25	18	40	22	15	23	18	35	22	33	26	22
Trazione parallela	$f_{t,0,k}$	15	11	24	13	9	14	11	21	13	20	16	13
Trazione perpendicolare	$f_{t,90,k}$	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Compressione parallela	$f_{c,0,k}$	21	18	26	20	17	20	18	25	20	24	22	20
Compressione perpendicolare	$f_{c,90,k}$	2.6	2.6	3.2	3.0	3.0	3.6	3.6	3.2	2.9	3.7	3.7	3.7
Taglio	$f_{v,k}$	4.0	3.4	4.0	3.8	3.0	3.8	3.4	4.0	3.8	4.0	4.0	3.8
Rigidezze [GPa]													
Modulo di elasticità parallelo medio	$E_{0,mean}$	11.8	10.5	15.0	12.0	11.0	12.5	11.5	15.8	13.0	12.3	11.4	10.5
Modulo di elasticità parallelo 5-percentile	$E_{0,05}$	7.9	7.0	10.0	8.0	7.4	8.4	7.7	11.0	8.7	8.2	7.6	7.0
Modulo di elasticità perpendicolare medio	$E_{90,mean}$	0.39	0.35	0.50	0.40	0.37	0.42	0.38	0.53	0.43	0.41	0.38	0.35
Modulo di taglio medio	$G_{mean}$	0.74	0.66	0.94	0.75	0.69	0.78	0.72	0.99	0.81	0.77	0.71	0.66
Massa volumica [kg/m <sup>3</sup> ]													
Massa volumica caratteristica	$\rho_k$	375	375	455	425	430	510	520	450	415	530	530	530
Massa volumica media	$\rho_{mean}$	450	450	550	520	520	610	620	540	500	575	575	575

(1) Massima altezza e larghezza 100mm.  
(2) Pino silvestre, Pino nero, Pino marittimo, Pino domestico, Pino strobo, Cipresso, Cedro

(1) Massima altezza e larghezza 100mm.

(2) Pino silvestre, Pino nero, Pino marittimo, Pino domestico, Pino strobo, Cipresso, Cedro

Il legname dovrà essere messo in opera con la massima cura facendo particolare attenzione alla protezione della zona direttamente a contatto con la muratura di appoggio: in particolare dovrà essere protetto con un materiale che ne consenta la traspirazione ma lo protegga dal contatto diretto con l'umidità naturale della muratura/calcestruzzo stessi. La classificazione dei preservanti per quanto attiene alla penetrazione ed alla ritenzione, è contenuta nelle UNI-EN 351 e le specifiche relative alla prestazione dei preservanti per legno, alla loro classificazione ed alla loro etichettatura sono indicate nella UNI-EN 599.

## MATERIALI PER LA MURATURA

Gli elementi che concorrono alla formazione di una muratura portante in laterizio sono due:

- blocchi in laterizio;
- malta legante.

Senza trascurare le modalità di posa in opera, la resistenza meccanica di una muratura dipende innanzitutto dalle caratteristiche meccaniche degli elementi costituenti; solitamente l'elemento "debole" della muratura è rappresentato dalla malta. Le caratteristiche meccaniche dei blocchi e della malta vengono determinate con prove definite dalla normativa tecnica vigente. In particolare, per quanto riguarda le murature di nuova costruzione, le NTC fanno diretto riferimento alla marcatura CE (norma armonizzata UNI EN 771-1).

## BLOCCHI IN LATERIZIO

Si evidenzia in primo luogo che, essendo vigente la marcatura CE, non esiste più l'obbligo (sancito a suo tempo dal D.M. 20/11/1987) di eseguire annualmente, presso laboratori autorizzati, prove a compressione dei blocchi ma si fa riferimento ai dati di resistenza meccanica riportati nel cartiglio della marcatura CE del prodotto. La resistenza meccanica degli elementi (blocchi) viene dunque determinata e dichiarata dal produttore nell'ambito dell'applicazione della normativa inerente la marcatura CE [fig. 1].

<b>CE</b>
Any Co Ltd, PO Box 21, B-1050
02
EN 771-1
Categoria II, LD, xxx-yyy-zz mm elemento per muratura di laterizio
Resistenza alla compressione: media: ... xx N/mm <sup>2</sup> (⊥ facciabase), xx N/mm <sup>2</sup> (⊥ testa). (Categoria II)
Stabilità dimensionale: spostamento dovuto all'umidità: ... × mm/m
Forza di adesione: Valore fisso ... xx (N/mm <sup>2</sup> )
Contenuto di sali solubili attivi: ... NPD (S0)
Reazione al fuoco: Euroclasse ... A1
Assorbimento di acqua: Da non lasciare esposto
Coefficiente di diffusione del vapore acqueo: xxx
Isolamento acustico per via aerea diretto:
Massa volumica lorda: .....xxxx (D1) kg/m <sup>3</sup>
Configurazione Come nel disegno allegato
Conducibilità termica equivalente: xx W/mK ( $\lambda_{10,secco}$ )
Durabilità al gelo-disgelo: ... NPD
Sostanze pericolose: (1) ... vedere Nota seguente

Fig. 1 - Fac-Simile di cartiglio CE per un elemento per muratura di laterizio.

I blocchi per muratura portante possono essere, in relazione al sistema di attestazione della conformità utilizzato, di Categoria I o di Categoria II. Aspetto fondamentale è che, in luogo del certificato a compressione annuale, non più richiesto, **le NTC pongono a carico del D.L. l'obbligo di far eseguire prove di accettazione sugli elementi per muratura portante.**

## MALTE

Le NTC hanno introdotto una nuova classificazione delle malte per muratura, che discende anche in questo caso dall'applicazione della marcatura CE per tali prodotti (secondo la norma armonizzata di riferimento UNI EN 998-2).

Le malte per muratura sono suddivise in due categorie:

- malte a prestazione garantita
- malte a composizione prescritta.

Le prestazioni meccaniche della malta sono definite mediante la sua resistenza media a compressione  $f_m$ . La classe di una malta è definita da una sigla costituita dalla lettera M seguita da un numero che indica la resistenza  $f_m$  espressa in N/mm<sup>2</sup>.

Per le malte a prestazione garantita sono previste le classi indicate in tab. 1.

Classe	M 2,5	M 5	M 10	M 15	M 20	M d
Resistenza a compressione N/mm <sup>2</sup>	2,5	5	10	15	20	d

d è una resistenza a compressione maggiore di 25 N/mm<sup>2</sup> dichiarata dal produttore

Tab. 1 – Classi di malte a prestazione garantita.

Le classi di malte a composizione prescritta (NTC, § 11.10.2.2) sono definite in rapporto alla composizione in volume secondo la tab. 2.

		Cemento	Calce aerea	Calce idraulica	Sabbia	Pozzolana
M 2,5	Idraulica	---	---	1	3	---
M 2,5	Pozzolonica	---	1	---	---	3
M 2,5	Bastarda	1	---	2	9	---
M 5	Bastarda	1	---	1	5	---
M 8	Cementizia	2	---	1	8	---
M 12	Cementizia	1	---	---	3	---

Tab. 2 – Classi di malte a composizione prescritta.

Malte di diverse proporzioni nella composizione, preventivamente sperimentate con le modalità riportate nella norma UNI EN 1015-11:2007, possono essere ritenute equivalenti a quelle indicate qualora la loro resistenza media a compressione non risulti inferiore a quanto previsto in tab. 2. L'individuazione della classe di appartenenza della malta è importante ai fini della successiva determinazione della resistenza caratteristica della muratura. Le aziende produttrici di malte indicano la classe di riferimento dei prodotti nel cartiglio di marcatura CE [fig. 3].

<b>CE</b>
01234
Any Co Ltd, PO Box 21, B-1050
00
01234-CPD-00234
<b>EN 998-2</b> Malta da muratura a prestazione garantita per scopi generali per l'utilizzo esterno in elementi soggetti a requisiti strutturali <b>Resistenza a compressione:</b> Categoria M 5 <b>Resistenza a taglio iniziale:</b> 0,15 N/mm <sup>2</sup> (valore tabulato) <b>Contenuto di cloruri:</b> 0,07% Cl <b>Reazione al fuoco:</b> Classe A 1 <b>Assorbimento d'acqua:</b> 0,05 kg/(m <sup>2</sup> · min <sup>0,5</sup> ) <b>Permeabilità al vapore acqueo:</b> μ 15/35 <b>Conducibilità termica:</b> (λ <sub>10,deg</sub> ) 0,83 W/mK (valore tabulato) <b>Durabilità (al gelo/disgelo):</b> valutazione basata sulle disposizioni valide nel luogo di utilizzo previsto della malta

Fig. 3 - Fac-Simile di cartiglio CE per una malta a prestazione garantita.

Le NTC non ammettono in alcun caso l'impiego, per muratura portante, di malte con resistenza  $f_m < 2,5$  N/mm<sup>2</sup> (M 2,5). In particolare, per muratura da realizzare in zone con  $a_g S \geq 0,075g$  viene prescritto l'impiego di malta di allettamento con resistenza media non inferiore a 5

N/mm<sup>2</sup> (M5). Per muratura armata è sempre obbligatorio l'impiego di malte con resistenza media a compressione di almeno 10 N/mm<sup>2</sup> (M 10).

### ***Classificazione elementi in laterizio per muratura portante***

Per quanto riguarda gli elementi in laterizio la classificazione è sintetizzata nella tab. 3.

<b>Elementi</b>	<b>Percentuale di foratura <math>\phi</math></b>	<b>Area <math>f</math> della sezione normale del foro</b>
Pieni	$\phi \leq 15\%$	$f \leq 9 \text{ cm}^2$
Semipieni	$15\% < \phi \leq 45\%$	$f \leq 12 \text{ cm}^2$
Forati	$45\% < \phi \leq 55\%$	$f \leq 15 \text{ cm}^2$

*Tab. 3 – Classificazione elementi in laterizio.*

Per quanto attiene altri requisiti geometrici, non vengono stabiliti spessori minimi per i setti interni e le pareti esterne dei blocchi. Gli elementi possono essere rettificati sulla superficie di posa. Elementi di laterizio con area lorda  $A$  della faccia dell'elemento maggiore di 300 cm<sup>2</sup> possono essere dotati di un foro di presa di area massima pari a 35 cm<sup>2</sup>, mentre per area  $A$  superiore a 580 cm<sup>2</sup> sono ammessi due fori, ciascuno di area massima pari a 35 cm<sup>2</sup>, oppure un unico foro di presa o per l'eventuale alloggiamento dell'armatura la cui area non superi 70 cm<sup>2</sup>.

### **Ulteriori prescrizioni per elementi da impiegarsi nelle zone 3, 2, 1**

Oltre ai requisiti precedentemente esposti definiti nel § 4.5.2.2. delle NTC (riferiti a costruzioni da edificarsi in zone con  $a_g S \leq 0.075g$ ), gli elementi da utilizzare per strutture in muratura in zone con  $a_g S \geq 0.075g$  devono verificare le seguenti condizioni aggiuntive (NTC, § 7.8.1.2):

- percentuale volumetrica degli eventuali vuoti non superiore al 45% (quindi impiegabili solo blocchi pieni o semipieni);
- eventuali setti disposti parallelamente al piano del muro continui e rettilinei; le uniche interruzioni ammesse sono quelle in corrispondenza dei fori di presa o per l'alloggiamento delle armature;
- resistenza caratteristica a rottura degli elementi nella direzione portante ( $f_{bk}$ ) non inferiore a 5 N/mm<sup>2</sup>;
- resistenza caratteristica a rottura degli elementi nella direzione perpendicolare a quella portante ossia nel piano di sviluppo della parete ( $f_{bk}$ ) non inferiore a 1,5 N/mm<sup>2</sup>.

La malta di allettamento per la muratura ordinaria deve avere resistenza media non inferiore a  $5 \text{ N/mm}^2$  ed i giunti verticali devono essere riempiti con malta.

#### **RESISTENZA A COMPRESSIONE DEI BLOCCHI**

La conoscenza della resistenza a compressione dei blocchi è essenziale per una corretta valutazione delle caratteristiche meccaniche della muratura. Essa viene fornita dal produttore, nell'ambito degli adempimenti della marcatura CE, seguendo le modalità di prova riportate nella UNI EN 772-1:2002. Normalmente i valori di resistenza riportati nel cartiglio CE si riferiscono (se non diversamente indicato) alla resistenza media a compressione. La procedura di controllo di accettazione in cantiere prevede invece il confronto delle resistenze rilevate con la resistenza caratteristica a compressione  $f_{bk}$ . La NTC riporta (§ C11.10.3.1.) alcune indicazioni utili per la valutazione di  $f_{bk}$ .

#### **PROVE DI ACCETTAZIONE**

Sarà obbligo del Direttore dei Lavori di far eseguire prove di accettazione sugli elementi per muratura portante pervenuti in cantiere, prove che sono obbligatorie e devono essere eseguite e certificate presso un laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001 (NTC, § 11.10.1.1). Il controllo di accettazione in cantiere ha lo scopo di accertare se gli elementi da mettere in opera abbiano le caratteristiche dichiarate dal produttore ed afferiscono alla resistenza a compressione del materiale. In base alle indicazioni delle norme (NTC, § 11.10.1.1.1), tale controllo sarà effettuato su almeno un campione per ogni  $350 \text{ m}^3$  di fornitura per elementi di categoria II, e per ogni  $650 \text{ m}^3$  per elementi di categoria I. Ogni campione sarà costituito da  $n$  elementi ( $n \geq 6$ ) da sottoporre a prova di compressione. Per ogni campione siano  $f_1, f_2, \dots, f_n$  la resistenza a compressione degli elementi con  $f_1 < f_2 < \dots < f_n$  il controllo si considera positivo se risultano verificate entrambe le disuguaglianze:  $(f_1 + f_2 + \dots + f_n)/n \geq f_{bm}$ ;  $f_1 \geq 0,80 f_{bm}$

dove  $f_{bm}$  è la resistenza media a compressione dichiarata dal fabbricante.

Nel caso in cui il fabbricante non abbia dichiarato la resistenza media ma la sola caratteristica, il controllo di accettazione in cantiere sarà effettuato su almeno un campione per ogni  $350 \text{ m}^3$  di fornitura per elementi di categoria II innalzabili a  $650 \text{ m}^3$  per elementi di categoria I. Per ogni campione siano  $f_1, f_2, \dots, f_6$  la resistenza a compressione dei sei elementi con  $f_1 < f_2 < \dots < f_6$ , il controllo si considera positivo se risulta verificata la seguente disuguaglianza:  $f_1 \geq f_{bk}$ , dove  $f_{bk}$  è la resistenza caratteristica a compressione dichiarata dal fabbricante.

## MATERIALI DIVERSI

È opportuno rimarcare che i materiali per muratura trattati dalle NTC sono esclusivamente elementi e blocchi in laterizio, e calcestruzzo, conformi alle norme europee armonizzate della serie UNI EN 771 (NTC, § 11.10.1). L'impiego di materiali non tradizionali o non trattati nelle NTC è subordinato all'ottenimento di apposita autorizzazione del Servizio Tecnico Centrale su parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, autorizzazione che deve riguardare l'utilizzo del materiale nelle specifiche tipologie strutturali proposte sulla base di procedure definite dal Servizio Tecnico Centrale (NTC, Punto 4.6). Pertanto l'utilizzo di materiali diversi da quelli trattati nelle NTC, in mancanza della specifica autorizzazione richiesta dalle norme, espone il tecnico alle responsabilità conseguenti.

### BLOCCHI POROTON® PER MURATURA PORTANTE

I blocchi POROTON® sono elementi in laterizio che rientrano a tutti gli effetti tra i materiali trattati dalle NTC. Le tipologie impiegabili per la realizzazione di murature portanti sono, in relazione alle specifiche precedentemente esposte, le seguenti:

**POROTON® in zone** con  $a_g S \leq 0.075g$ : in questi casi il **riferimento** generale per quanto attiene le caratteristiche fisico-geometriche dei materiali per muratura portante da utilizzare è esclusivamente il **§ 4.5.2 delle NTC**, che prevede in sintesi che si possano impiegare, con riferimento alla gamma POROTON®:

- elementi semipieni: percentuale foratura  $15\% < \phi \leq 45\%$  (**POROTON® 800 e 800 MA**)
- elementi forati: percentuale foratura  $45\% < \phi \leq 55\%$  (**POROTON® 700**)

I suddetti elementi potranno essere lisci, ad incastro, con isolante integrato o rettificati.

Nel caso di progettazione **in zone** con  $a_g S \leq 0.075g$ , gli spessori minimi degli elementi da considerare, ai fini di realizzare una muratura portante, sono i seguenti:

- elementi semipieni (**POROTON® 800**): spessore minimo muratura 20 cm
- elementi forati (**POROTON® 700**): spessore minimo muratura 24 cm

**POROTON® in zone con**  $a_g S \geq 0.075g$ : laddove si ricada in zone **con**  $a_g S \geq 0.075g$  è necessario fare **riferimento**, per la scelta dei materiali per muratura portante, alle ulteriori prescrizioni riportate nel **§ 7.8.1.2 delle NTC**. Le prescrizioni aggiuntive rispetto a quanto precedentemente riportato sono le seguenti:

- gli elementi devono essere pieni o semipieni (percentuale foratura  $\phi \leq 45\%$ ) (solo **POROTON® 800 e 800 MA**);



- i setti disposti parallelamente al piano del muro devono essere continui e rettilinei (salvo le interruzioni ammesse in corrispondenza dei fori di presa);
- resistenza caratteristica a compressione degli elementi in direzione verticale  $f_{bk} \geq 5$  N/mm<sup>2</sup> ed ortogonale nel piano del muro  $f_{bk} \geq 1,5$  N/mm<sup>2</sup>;
- giunti verticali riempiti con malta;
- resistenza media a compressione della malta non inferiore a 5 N/mm<sup>2</sup> (10 N/mm<sup>2</sup> per muratura armata).

In base a tali prescrizioni aggiuntive, nel caso di progettazione nelle zone **con**  $a_g S \geq 0.075g$  è d'obbligo, qualora si valuti l'impiego di elementi ad incastro e/o rettificati, essendo solitamente gli elementi rettificati, per loro specificità, elementi ad incastro, verificare in particolare quanto segue:

- gli elementi siano semipieni (percentuale foratura  $\phi \leq 45\%$ );
- i setti disposti parallelamente al piano del muro siano continui e rettilinei;
- gli elementi presentino tasche di dimensione almeno pari al 40% della larghezza dell'elemento stesso da riempire completamente di malta in modo da realizzare giunti verticali conformi, per quanto applicabile, a quanto previsto nell'Eurocodice 6 (EN 1996-1-1, paragrafo 8.1.5 (3)).

Nel caso di progettazione nelle zone  $a_g S \geq 0.075g$  lo spessore minimo degli elementi per muratura portante deve essere di 24 cm.

**Tab. 7.8.1** – *Requisiti geometrici delle pareti resistenti al sisma*

Tipologie costruttive	$t_{min}$	$(\lambda = h_0/t)_{max}$	$(l/h')_{min}$
Muratura ordinaria, realizzata con elementi in pietra squadrata	300 mm	10	0,5
Muratura ordinaria, realizzata con elementi artificiali	240 mm	12	0,4
Muratura armata, realizzata con elementi artificiali	240 mm	15	Qualsiasi
Muratura confinata	240 mm	15	0,3
Muratura ordinaria, realizzata con elementi in pietra squadrata, in siti caratterizzati, allo <i>SLV</i> , da $a_g S \leq 0.15g$	240 mm	12	0,3
Muratura realizzata con elementi artificiali semipieni, in siti caratterizzati, allo <i>SLV</i> , da $a_g S \leq 0.075 g$	200 mm	20	0,3
Muratura realizzata con elementi artificiali pieni, in siti caratterizzati, allo <i>SLV</i> , da $a_g S \leq 0.075 g$	150 mm	20	0,3

## CONCLUSIONI

La valutazione delle caratteristiche meccaniche di una muratura è un aspetto da non sottovalutare e che richiede innanzitutto la conoscenza dei materiali impiegati e della loro resistenza. Si deve tenere presente che blocchi in laterizio di diversa origine, ancorché con analoghi parametri fisico-geometrici, possono presentare resistenze meccaniche diverse, in relazione alle



caratteristiche della materia prima (argilla) che li caratterizza e dunque dovranno essere utilizzati sempre gli stessi blocchi che rispettino le caratteristiche meccaniche imposte. E' obbligo per il Direttore dei Lavori di eseguire prove di accettazione sugli elementi per muratura portante forniti in cantiere e di verificarne la congruenza con i dati dichiarati dal produttore. Ai fini del calcolo strutturale, dati di resistenza di carattere generale possono essere considerati per eseguire valutazioni approssimate o di massima, non potendo tuttavia prescindere, per un calcolo e verifica esatti, dalla conoscenza dei parametri meccanici degli specifici materiali impiegati nell'opera. **Nell'opera in esame si useranno: blocchi in laterizio portante con le caratteristiche di resistenza a compressione specificate negli elaborati grafici e malta cementizia tipo M10, la malta cementizia dovrà essere posta in opera anche sul lato verticale dei blocchi.** Ad esempio i blocchi POROTON® 800 sono elementi caratterizzati da una massa volumica lorda di circa 800-860 kg/m<sup>3</sup>, idonei all'impiego per la realizzazione di murature portanti in zone anche con obbligo di progettazione sismica; si tratta infatti di elementi classificati semipieni (percentuale di foratura  $\phi \leq 45\%$ ), da porre in opera a fori verticali, che forniscono valori di resistenza a rottura ampiamente superiori ai limiti richiesti dalla normativa. I blocchi POROTON® 800 vengono prodotti in diverse misure e spessori. Essi sono disponibili, in relazione alle diverse zone geografiche, sia "lisci" che "ad incastro". Le caratteristiche fisico-geometriche dei blocchi POROTON® 800 sono conformi ai requisiti stabiliti dalle recenti "Norme tecniche per le costruzioni" (D.M. 14/01/2018) anche in merito ai requisiti aggiuntivi previsti per i materiali per muratura da impiegarsi per la progettazione sismica, essendo caratterizzati in particolare da:

- setti disposti parallelamente al piano del muro continui e rettilinei (salvo le interruzioni ammesse in corrispondenza di eventuali fori di presa);
- resistenza caratteristica a compressione degli elementi in direzione verticale  $f_{bk} \geq 5 \text{ N/mm}^2$  ed ortogonale nel piano del muro  $f'_{bk} \geq 1,5 \text{ N/mm}^2$ .








Classificazione del blocco	<b>SEMPIENO</b>
Peso specifico apparente del blocco	<b>~ 800 ÷ 860 (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Percentuale di foratura	<b>≤ 45%</b>
Resistenza caratteristica $f_{bk}$ in direzione dei carichi verticali	<b>&gt; 8,0 (N/mm<sup>2</sup>)</b>
Resistenza caratteristica $f'_{bk}$ in direzione ortogonale ai carichi verticali e nel piano del muro	<b>&gt; 1,5 (N/mm<sup>2</sup>)</b>

Idoneità per le classi di esposizione ambientale  
descrizione e simbologia

ASSENZA DI RISCHIO DI CORROSIONE O ATTACCO

Classe	Esempi di situazioni cui sono applicabili le classi di esposizione e icone relative (prospetto 4 UNI 11104:2004)		
X0		Calcestruzzo <b>non armato</b> soggetto a cicli di bagnato-asciutto ma non ad abrasione, gelo o attacco chimico.	 Interno di edifici con umidità relativa molto bassa. Calcestruzzo <b>non armato</b> all'interno di edifici.





CORROSIONE INDOTTA DA CARBONATAZIONE

Classe	Esempi di situazioni cui sono applicabili le classi di esposizione e icone relative (prospetto 4 UNI 11104:2004)		
XC1		Interni di edifici con umidità relativa bassa	Calcestruzzo armato ordinario con le superfici all'interno di strutture con eccezioni delle parti esposte a condensa o immerse in acqua
XC2		Calcestruzzo armato ordinario prevalentemente immerso in acqua non aggressiva	 Calcestruzzo armato ordinario prevalentemente immerso in terreno non aggressivo
XC3		Calcestruzzo armato ordinario in esterni con superfici esterne riparate dalla pioggia	 Calcestruzzo armato ordinario in interni con umidità relativa da moderata ad alta
XC4		Superfici a contatto con acqua non compresa nella classe XC2	 Calcestruzzi a vista in ambienti urbani





CORROSIONE INDOTTA DA CLORURI ESCLUSI QUELLI PROVENIENTI DALL'ACQUA DI MARE

Classe	Esempi di situazioni cui sono applicabili le classi di esposizione e icone relative (prospetto 4 UNI 11104:2004)		
XD1		Calcestruzzo armato ordinario in superfici o parti di ponte e viadotti esposti a spruzzi d'acqua contenenti cloruri	
XD2		Calcestruzzo armato ordinario in elementi strutturali totalmente immersi in acqua anche industriale contenente cloruri	 Calcestruzzo armato ordinario in elementi strutturali totalmente immersi in acqua (piscine)
XD3		Parti di parcheggi per auto o parti di pavimentazioni	 Parti di ponti

ATTACCO DEI CICLI DI GELO/DISGELO CON O SENZA DISGELANTI

Classe	Esempi di situazioni cui sono applicabili le classi di esposizione e icone relative (prospetto 4 UNI 11104:2004)		
XF1		Superfici verticali di calcestruzzo esposte alla pioggia ed al gelo.	Superfici non verticali di calcestruzzo esposte alla pioggia, all'acqua ed al gelo.
XF2		Elementi come parti di ponti che in altro modo sarebbero classificati come XF1 ma che sono esposti direttamente o indirettamente agli agenti disgelanti	
XF3		Superfici orizzontali in edifici dove l'acqua può accumularsi e che possono essere soggette ai fenomeni di gelo	elementi soggetti a frequenti bagnature ed esposti al gelo
XF4		Strade o pavimentazioni esposte al gelo ed ai sali disgelanti in modo diretto od indiretto	

ATTACCO CHIMICO

Classe	Esempi di situazioni cui sono applicabili le classi di esposizione e icone relative (prospetto 4 UNI 11104:2004)		
XA1		Contenitori di fanghi e vasche di decantazione	
XA2		Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi	
XA3		Torri di raffreddamento di fumi e gas di scarico industriali	 Contenitori di foraggi, mangimi e liquami provenienti dall'allevamento animale

CLASSI DI ESPOSIZIONE				REQUISITI TECNOLOGICI RICHIESTI (dai Prospetti 1 e 4 della Norma UNI 11104)															
SIGLA		DESCRIZIONE DELL'AMBIENTE		Massimo rapporto acqua/cemento		Minimo contenuto di cemento (Kg/m)						Minima classe di (Rck)							
X0		Assenza di rischio di corrosione o attacco		Nessun requisito		Nessun requisito						15							
		Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo e disgelo, o attacco chimico. Calcestruzzi con armatura o inserti metallici: in ambiente molto asciutto. Interno di edifici con umidità relativa molto bassa.																	
XC	1	Corrosione indotta da carbonatazione	Asciutto o permanentemente bagnato. Interni di edifici con umidità relativa bassa	0,60		300									30				
	2		Bagnato, raramente asciutto	0,60		300								30					
	3		Umidità moderata	0,55		320								35					
	4		Ciclicamente asciutto e bagnato	0,50		340							40						
XD	1	Corrosione indotta da cloruri non da acqua di mare	Umidità moderata	0,55		320								35					
	2		Bagnato, raramente asciutto	0,50		340						40							
	3		Ciclicamente asciutto e bagnato	0,45		360					45								
XF	1	Attacco dei cicli gelo/disgelo con o senza disgelanti	Moderata saturazione d'acqua, in assenza di agente disgelante	0,50		320								40					
	2		Moderata saturazione d'acqua in presenza di agente disgelante	0,50		340				Aria 3%	30								
	3		Elevata saturazione d'acqua in assenza di agente disgelante	0,50		340			30										
	4		Elevata saturazione d'acqua con presenza di agente antigelo	0,45		360			35										
XA	1	Attacco chimico (prospetto 2 UNI EN 206)	Ambiente chimicamente debolmente aggressivo	0,55		320						Cementi A.R.S.	35						
	2		Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo	0,50		340			40										
	3		Ambiente chimicamente fortemente aggressivo	0,45		360			45										
Idoneità delle classi Rck in relazione alle classi di esposizione ambientale e requisiti minimi - UNI 11104 / LINEE GUIDA																			
Rck	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3				
	11104 L G	11104 L G	11104 L G	11104 L G	11104 L G	11104 L G	11104 L G	11104 L G	11104 L G	11104 L G	11104 L G	11104 L G	11104 L G	11104 L G	11104 L G				
45	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
40	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	⊗	⊗	✓	✓	✓	⊗	✓	⊗				
37	✓	✓	✓	✓	⊗	✓	⊗	⊗	⊗	✓	✓	✓	✓	⊗	⊗				
35	✓	✓	✓	✓	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	✓	✓	✓	✓	⊗	⊗				
30	✓	✓	✓	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	✓	✓	⊗	⊗	⊗	⊗				
25	✓	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗				
20	✓	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗				
15	✓	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗				
10	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗				
5	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗				

- Linee Guida sul Calcestruzzo strutturale emesse dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

CONFRONTO TRA I REQUISITI DELLE LINEE GUIDA E DELLA NORMA UNI 11104 IN RELAZIONE ALLE CLASSI DI ESPOSIZIONE

Contenuto di cemento minimo (Kg/m³)	CLASSI DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE														Rapporto a/c massimo	
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	UNI 11104	LINEE GUIDA
	Classi minime di Resistenza caratteristica R <sub>ck</sub>															
360							45				35			45	0,45	
350							45				45			45		0,45
340									30	30					0,45	
340				40		40							40		0,50	
320				40		40		40	40	40			40		0,50	0,50
320			35		35							35			0,55	
300	30	30	37		40							37			0,60	0,55
280	30	30														0,60
									* Con aria aggiunta			Cemento ad alta resistenza ai solfati				