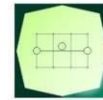


CONCEDENTE



CONCESSIONARIA



SOCIETÀ DI PROGETTO  
BREBEMI SPA

CUP E3 1 B05000390007

COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE  
DI CONNESSIONE TRA LE CITTA' DI  
BRESCIA E MILANO

PROCEDURA AUTORIZZATIVA D. LGS 163/2006  
DELIBERA C.I.P.E. DI APPROVAZIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO N° 19/2016

INTERCONNESSIONE A35-A4  
PROGETTO ESECUTIVO

O-PARTE GENERALE

OO-GENERALE

00001 - ELABORATI GENERALI

COMPOSIZIONE E DURABILITA' DEI CALCESTRUZZI DA IMPIEGARE  
PER L'INTERCONNESSIONE A35-A4

RELAZIONE TECNICA

PROGETTAZIONE:



VERIFICA:

IL PROGETTISTA RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRE-  
STAZIONI SPECIALISTICHE  
IMPRESA RIZZAROTTI E C. S.P.A.  
DOTT. ING. PIETRO MAZZOLI  
ORDINE DEGLI INGEGNERI DI PARMA N. 821

IL DIRETTORE TECNICO  
IMPRESA PIZZAROTTI E C. S.P.A.  
DOTT. ING. SABINO DEL BALZO  
ORDINE DEGLI INGEGNERI DI POTENZA N. 631

APPROVATO SDR

I.D.		IDENTIFICAZIONE ELABORATO										PROGR.		DATA:	
EMIT.	TIPD	FASE	M.A.	LOTTO	OPERA	PROG. OPERA	TRATTO	PART. E	PROGR.	PART. DOC.	STATO	REV.	LUG	2016	
65954	04	RG	E	I	I1	00	001	00	00	007	00	A	00	SCALA:	

ELABORAZIONE PROGETTUALE

IL PROGETTISTA  
PIACENTINI INGEGNERI S.R.L.  
DOTT. ING. LUCA PIACENTINI  
ORDINE DEGLI INGEGNERI DI BOLOGNA N. 4152

REVISIONE

N.	REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	DATA	CONTROLLATO	DATA	APPROVATO
A	00	EMISSIONE	29/07/2016	PIACENTINI	29/07/2016	MAZZOLI	29/07/2016	MAZZOLI

IL CONCEDENTE



IL CONCESSIONARIO



SOCIETÀ DI PROGETTO  
BREBEMI SPA

Società di Progetto  
Brebemi SpA

IL PRESENTE DOCUMENTO NON POTRA' ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O ALTRIMENTI PUBBLICATO, IN TUTTO O IN PARTE, SENZA IL CONSENSO SCRITTO DELLA SdP BREBEMI S.P.A. OGNI UTILIZZO NON AUTORIZZATO SARÀ PERSEGUITO A NORMA DI LEGGE  
THIS DOCUMENT MAY NOT BE COPIED, REPRODUCED OR PUBLISHED, EITHER IN PART OR IN ITS ENTIRETY, WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF SdP BREBEMI S.P.A. UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED BY LAW

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. DOCUMENTAZIONE UTILIZZATA .....</b>	<b>3</b>
<b>3. CONSIDERAZIONI SUI CALCESTRUZZI.....</b>	<b>4</b>
3.1 MIX DESIGN.....	4
<b>4. CONSIDERAZIONI SULLE CLASSI DI ESPOSIZIONE .....</b>	<b>6</b>
4.1 LA FESSURAZIONE DI ORIGINE TERMICA .....	6
4.2 LA CLASSE XF4.....	6
4.3 LE CLASSI XF2 E XF1.....	6
4.4 LA CLASSE XC4 .....	8
4.5 LA CLASSE XC4 IN COMBINAZIONE CON XF4.....	8
<b>5. DEFINIZIONE E COMPOSIZIONE DEI CALCESTRUZZI.....</b>	<b>10</b>

APPROVATO SDP

	Doc. N. 65954-00001-A00.docx	CODIFICA DOCUMENTO 04RGEI1100001000000700	REV. A00	FOGLIO 3 di 10
--	---------------------------------	--	-------------	-------------------

## 1. Premessa

La presente relazione riprende le considerazioni effettuate in sede di progettazione esecutiva del Collegamento Autostradale di Connessione tra le Città di Brescia e Milano, concernenti aspetti della tecnologia del calcestruzzo. Nel dettaglio, in tale sede si era proceduto a:

- analizzare ed affinare le scelte tecniche effettuate per le caratteristiche dei calcestruzzi riferibili alla durabilità, in particolare la classe di esposizione più idonea e il tipo di cemento da impiegare,
- definire un numero limitato di miscele (idonee a soddisfare tutti i requisiti di durabilità, strutturali e normativi), allo scopo di ottimizzare la gestibilità operativa durante la costruzione,
- individuare eventuali criticità legate al dosaggio di cemento e ai fenomeni termici ad esso conseguenti.

A partire da tali considerazioni, vengono riportate le caratteristiche dei calcestruzzi utilizzati.

## 2. Documentazione utilizzata

- il capitolato BREBEMI,
- le specifiche da progetto (in parte definitivo, in parte esecutivo),
- le norme utilizzabili, che per quanto concerne la durabilità possono essere, come previsto dalle ultime Norme Tecniche, sia la UNI EN 206-1 sia la UNI 11104. Nel presente documento la UNI di riferimento è la 11104, ovvero la norma europea adattata alle condizioni locali italiane,
- le Linee Guida del Ministero dei Lavori Pubblici.

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
**Brebemi SpA**



	Doc. N. 65954-00001-A00.docx	CODIFICA DOCUMENTO 04RGEI1100001000000700	REV. A00	FOGLIO 4 di 10
--	---------------------------------	--	-------------	-------------------

### 3. Considerazioni sui calcestruzzi

Sono state confrontati i valori di resistenza di progetto (requisito strutturale) con i valori limite di resistenza a compressione e dosaggio di cemento della UNI 11104; dalla combinazione dei requisiti precedenti si sono dedotti classe di resistenza effettiva, rapporto acqua/cemento e dosaggio di cemento calcolati con il mix-design tenendo conto della presenza d'aria.

#### 3.1 Mix design

Come si è detto, per ciascuna miscela prevista, con riferimento alla  $R_c$  effettiva, si è eseguito un Mix-Design di previsione, determinando in particolare il rapporto acqua/cemento ed il dosaggio di cemento necessario.

In tale operazione si è considerato in genere l'impiego di cemento di classe 42.5, salvo per i precompressi per i quali si è considerato l'uso di cemento 52.5.

Quanto al dosaggio di cemento, nella sua determinazione non si tiene conto del tipo impiegato; tuttavia tenendo presenti le favorevoli caratteristiche nello sviluppo del calore di idratazione e il generale buon comportamento nei confronti di eventuali aggressivi, a parità di altri fattori si dovrebbe usare in ordine di preferenza decrescente, cemento CEM III, oppure CEM IV o CEM II L.

Nella progettazione delle miscele si è tenuto conto del fatto che per gli impalcati, velette, baggioli e cordoli è previsto l'impiego di aggregato avente diametro massimo di 22 mm e per le parti rimanenti diametro massimo di 32 mm.

Si è osservato che:

- i valori di resistenza derivanti dalla progettazione strutturale non sempre coincidono con quelli indicati dalla normativa per le varie classi di esposizione: ad esempio per le fondazioni la classe di esposizione XC2 prevede una resistenza caratteristica minima di 30 MPa, mentre il capitolato richiede una resistenza caratteristica di 35 MPa;
- per i calcestruzzi delle classi XF2, XF3 e XF4 viene indicata anche la necessità di aria aggiunta (3% conformemente alla UNI EN 206).

È noto che per ogni 1% d'aria aggiunta la resistenza a compressione del calcestruzzo decresce del 5-6%; tuttavia, anziché attenersi a questa regola si è preferita l'impostazione della UNI EN 206, che, ad esempio, per calcestruzzo non aerato con rapporto acqua/cemento pari a 0,5 richiede una classe di resistenza non minore di C45, mentre per calcestruzzo aerato allo stesso rapporto acqua/cemento corrisponde una resistenza minima C35; in altre parole il calcestruzzo aerato a pari rapporto acqua/cemento dà due classi di resistenza in meno rispetto al calcestruzzo base non aerato.

Laddove le indicazioni progettuali prevedono la combinazione di più classi di esposizione, ad esempio: XC4, XD3 e XF4, si è individuata una classe di esposizione i cui limiti di composizione soddisfano anche quelli delle altre classi e il requisito di resistenza strutturale: ad esempio si veda la situazione descritta nella seguente tabella.

Classe di esposizione	Massimo rapporto acqua/cemento	Minima classe di resistenza	Minimo dosaggio di cemento kg/m <sup>3</sup>
XC4	0,50	C40	340
XD3	0,45	C45	360
XF4	0,45	C35 Con Aria	360

*Combinazione di più classi di esposizione*

Considerando che:

- la resistenza strutturale richiesta è di 40 MPa,
- per il rapporto acqua/cemento va esclusa la classe XC4,
- non si ritiene di applicare la classe XD3, poiché oltre ai sali disgelanti è prevista la situazione di gelo-disgelo (XF4) che costituisce l'unica causa della presenza di cloruri, né vi sono altre fonti da cui provengano cloruri,
- è richiesto un contenuto d'aria pari al 3%,

la specifica del calcestruzzo dovrà essere: C40, aria 3%.

Si verifica anche il caso in cui la resistenza strutturale non è vincolante in quanto minore di quella o quelle richieste per la classe di esposizione: nell'esempio precedente, se la resistenza strutturale fosse C35, si dovrebbe decidere se la resistenza del calcestruzzo deve essere C35 con aria (per XF4) o C40 con aria (per XC4 e XF4). Si ritiene che, poiché la resistenza alla carbonatazione è legata essenzialmente al rapporto acqua/cemento e non alla resistenza, sia opportuno adottare la classe XF4, che, pur con una resistenza minore, ha un minor rapporto acqua/cemento. La specifica del calcestruzzo dovrà essere in questo caso: C35, aria 3%.

APPROVATO SDP

## 4. Considerazioni sulle classi di esposizione

### 4.1 La fessurazione di origine termica

Ai fini della durabilità delle opere, rivestono grande importanza quelle scelte che influiscono sul dosaggio di cemento; è ben noto infatti che all'aumentare di questo fattore, a parità di altre condizioni, aumenta la temperatura raggiunta all'interno del manufatto a seguito dello sviluppo del calore di idratazione del cemento; durante il successivo raffreddamento nascono tensioni di trazione dovute alla contrazione del conglomerato, che in molti casi possono superare la resistenza a trazione<sup>1</sup>; si generano così le **"fessure da ritiro termico"** che, ovviamente influiscono in modo negativo sulla durabilità delle opere.

In particolare è necessario valutare accuratamente la scelta della classe di esposizione rispetto all'attacco dei cicli di gelo/disgelo. Infatti, poiché l'aggiunta d'aria riduce la resistenza di circa due classi, per soddisfare il requisito di resistenza strutturale di progetto possono essere richieste resistenze del calcestruzzo prima dell'aggiunta d'aria molto elevate, con forti dosaggi di cemento e corrispondenti aumenti della temperatura di picco del calcestruzzo.

Di conseguenza, **per evitare che un calcestruzzo dotato di durabilità anche in condizioni climatiche molto avverse causi sistematicamente la formazione di fessure, capaci di generare degrado nel cemento armato**, è opportuno valutare con attenzione la reale opportunità di attribuire la classe XF2 e la classe XF4 tenendo presenti le condizioni climatiche prevalenti.

### 4.2 La classe XF4

Alla classe di esposizione XF4, che richiede un contenuto di aria aggiunta al calcestruzzo, appartengono manufatti di piccole dimensioni, come velette, cordoli, baggioli, ritegni sismici e parti di opere in prossimità dei giunti; nonostante l'elevato dosaggio di cemento, si ritiene adeguata la classe di esposizione attribuita, in considerazione dell'elevato livello di degrado che si riscontra correntemente su parti di opere dello stesso tipo ed esposizione. Date le piccole dimensioni ed il fatto che alcuni di questi oggetti sono prefabbricati, non si ritiene invece pericoloso l'aspetto della fessurazione di origine termica.

Quanto ai cordoli, di lunghezza generalmente superiore a 10 m, i fenomeni di fessurazione potrebbero essere consistenti: si richiederà pertanto l'impiego di calcestruzzo con specifiche additivazioni oppure un opportuno sistema di giunti.

### 4.3 Le classi XF2 e XF1

La classe XF2 viene attribuita secondo la UNI 11104 ad "elementi come parti di ponti che in altro modo sarebbero classificati come XF1 ma che sono esposti direttamente o indirettamente agli agenti disgelanti".

Sono invece classificati nella classe XF1 "superfici verticali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo".

---

<sup>1</sup> Si veda in: Vito ALUNNO ROSSETTI "Il Calcestruzzo – materiali e tecnologia" Ed. McGraw-Hill, 2007, pagina 227

	Doc. N. 65954-00001-A00.docx	CODIFICA DOCUMENTO 04RGEI1100001000000700	REV. A00	FOGLIO 7 di 10
--	---------------------------------	--	-------------	-------------------

Ai fini del dosaggio di cemento richiesto, si ritiene opportuna la seguente valutazione della effettiva necessità dell'attribuzione della classe di esposizione XF1 in luogo della XF2.

Poiché è intuitivo il fatto che non è sufficiente una gelata durante la vita di un'opera perché si verifichi un danneggiamento intenso e il degrado del conglomerato, è opportuno prendere in considerazione i fattori che determinano l'intensità dell'azione aggressiva dei fenomeni di gelo-disgelo.

Tali fattori sono essenzialmente:

- la temperatura raggiunta durante il congelamento: tanto più è bassa tanto più fini saranno i pori entro i quali può gelare l'acqua presente nella pasta di cemento; in tal modo a temperature più basse aumenta il volume dell'acqua congelata e il danno prodotto;
- il numero dei cicli che si verificano durante la stagione fredda: è intuitivo il fatto che aumentando il numero dei cicli il calcestruzzo viene danneggiato in maggior misura. A tal proposito è necessario prendere in considerazione sia il fatto che i manufatti interessati sono localizzati nella pianura padana ad una quota generalmente non superiore 200 metri slm, sia che tale regione è caratterizzata da un clima relativamente mite.

Il grafico della figura 1 riporta il numero di gelate verificatesi nella regione negli ultimi dieci anni, in base ai dati orari di temperatura registrati nella stazione meteo di Bergamo Stezzano: il numero totale di gelate<sup>2</sup> registrato (74 in 10 anni, con una temperatura minima di -9,8 °C) è decisamente irrisorio; si tenga presente che la UNI EN 206-1 è una norma europea e si riferisce a condizioni medie tra quelle estreme dei paesi scandinavi e quelli mediterranei<sup>3-4</sup>.

APPROVATO SDP

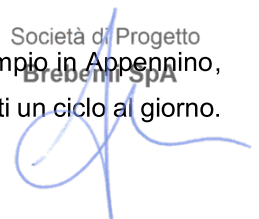
---

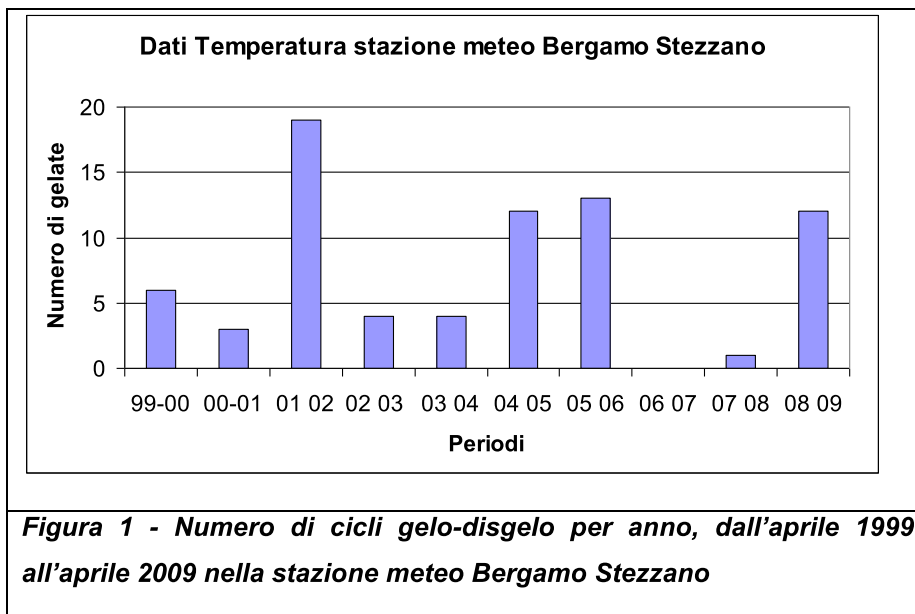
<sup>2</sup> Ricordando che la temperatura di congelamento del calcestruzzo non è pari a 0°C, sia a causa dell'abbassamento crioscopico dovuto ai sali disciolti nella soluzione acquosa che permea la pasta di cemento, sia alle dimensioni ridotte dei pori, sia infine a fenomeni di super raffreddamento (M.J. Setzer "Action of frost and deicing chemicals – basic phenomena and testing" in Freeze thaw durability of concrete – Rilem Proceedings n. 30, pag. 3), si è cautelativamente assunta come gelata un periodo in cui sono state registrate continuamente temperature inferiori a -3 °C per almeno sei ore.

<sup>3</sup> Ad esempio, J.K. Kaufmann dell'EMPA (Laboratorio Federale Svizzero di Prove e Ricerche sui Materiali), non molto più a nord di Bergamo, ritiene che "i cicli più frequenti di gelo-disgelo (50-70 per anno) sono indotti dalle variazioni giorno/notte" (Cement and Concrete Research, 34 (2004) 1421-1427)

<sup>4</sup> Naturalmente le precedenti considerazioni devono essere adattate alle quote effettive: ad esempio in Appennino, a quote superiori ai 600 m slm, per manufatti esposti al sole, si può verificare per periodi prolungati un ciclo al giorno.

Società di Progetto  
Brebini SPA





Si ritiene che l'attribuzione della classe XF2 alle elevazioni muri ad U, a muri e spalle, possa portare a consistenti fenomeni fessurativi. Sulla base della precedente discussione, si ritiene pertanto necessario e ammissibile modificare l'attribuzione della classe di esposizione per questi manufatti, passando alla classe XF1.

Di conseguenza anziché la classe di resistenza C35 + aria, corrispondente ad una classe C45, si dovrà utilizzare una classe C40, con una riduzione di cemento di più di 30 kg/m<sup>3</sup>. Un'ulteriore riduzione del dosaggio di cemento potrebbe essere ottenuta (in sede di definizione e qualifica delle miscele) adottando valori il più possibile elevati del diametro massimo dell'aggregato, anche in funzione del copriferro previsto per i vari elementi strutturali.

#### 4.4 La classe XC4

Sono inserite in questa classe varie tipologie di manufatti, diversi dei quali sono caratterizzati da lunghezze tipicamente maggiori di 10 m, ed assegnabili allo schema tipico muro basamento, ad esempio muri, piedritti, solettone.

La classe assegnata è corretta ed in grado di garantire una vita di esercizio dei manufatti in linea con le previsioni della Norma UNI EN 206-1. Tuttavia il dosaggio di cemento previsto, in combinazione con la tipologia sopra detta, è tale da rendere certi i tipici fenomeni fessurativi, ovvero fessure verticali di ampiezze fino a circa 0,8 mm, spesso passanti: è evidente che tali fessure non possono che risultare negative ai fini della durabilità.

Sarà quindi necessario, oltre ad una sistema di giunti, studiare accuratamente la composizione miscela, introducendo impiego di additivi speciali, atti a minimizzare i fenomeni di ritiro, sia termico sia igrometrico.

#### 4.5 La classe XC4 in combinazione con XF4

In alcuni casi si è attribuita sia la classe XC4 sia la XF4 (parti con elevata saturazione e presenza di agente antigelo). La resistenza richiesta è C32/40 per XC4 e C28/35 (con aria) per la classe di esposizione XF4. Per la combinazione, si potrebbe supporre di dover usare un calcestruzzo avente sia la resistenza massima delle due classi (C40) sia l'aggiunta d'aria.



Tuttavia, per i calcestruzzi con Rck da progetto pari a 35 MPa, si è ritenuto corretto adottare un calcestruzzo C35 aerato e non C40 aerato, in considerazione del fatto che la durabilità rispetto ai cicli gelo-disgelo si ottiene con l'aggiunta d'aria, mentre per quanto riguarda i problemi di corrosione, la durabilità si ottiene con il corretto rapporto acqua/cemento.

Ne deriva che, soddisfacendo il requisito del rapporto acqua/cemento non maggiore di 0,45 per la classe XF4, viene rispettato anche quello della classe XC4 (rapporto acqua/cemento non maggiore di 0,50).

APPROVATO SDP

## 5. Definizione e composizione dei calcestruzzi

A seguito delle precedenti considerazioni, la tabella seguente elenca le prescrizioni per i calcestruzzi.

	Classi			Resistenza cubica e Mix-Design						
	XC	XD	XF	Rck Progetto Esecutivo (MPa)	Tipo	Mix-Design per ciascun tipo				
						aria aggiunta 3%	a/c mix	Dos. Cem Mix (kg/m <sup>3</sup> )	Dmax (mm)	S
<b>OPERE</b>										
<b>CVAX1 – Cavalcavia Via Cavallera</b>										
Pali di Fondazione	XC2			30	1	-	0.56	300	32	S4
Fondazione Spalle	XC2			35	2	-	0.52	322	32	S4
Elevazione Spalle	XC4		XF4	35	2A	SI	0.44	381	32	S4
Baggioli Spalle	XC4		XF4	40	3A	SI	0.40	439	22	S4
Cordoli Impalcato	XC4		XF4	40	3A	SI	0.40	439	22	S4
Soletta Impalcato	XC2			40	3	-	0.47	372	22	S4
<b>CVA03/CVA04 - Svincolo Travagliato Est SVA03</b>										
Pali di Fondazione	XC2			30	1	-	0.56	300	32	S4
Fondazione Spalle	XC2			35	2	-	0.52	322	32	S4
Elevazione Spalle			XF4	35	2A	SI	0.44	381	32	S4
Coppelle Impalcato			XF1	45	4	-	0.44	381	32	S4
Baggioli Spalle	XC4		XF4	40	3A	SI	0.40	439	22	S4
Cordoli Impalcato	XC4		XF4	40	3A	SI	0.40	439	22	S4
Soletta e Traversi Impalcato	XC2			40	3	-	0.47	372	22	S4
Velette Prefabbricate di Bordo Impalcato	XC4		XF4	40	3A	SI	0.40	439	22	S4
Travi Prefabbricate			XF1	55	5	-	0.49	362	22	S4
<b>Sottovia Scatolari</b>										
Fondazione	XC2			35	2	-	0.52	322	32	S4
Elevazione	XC4	XD1	XF1	40	3	-	0.47	350	32	S4
Cordoli Portabarriera	XC4		XF4	40	3A	SI	0.40	439	22	S4
<b>Muri Di Sostegno</b>										
Fondazione	XC2			35	2	-	0.52	322	32	S4
Elevazione e Cordoli In Testa	XC4		XF4	40	3A	SI	0.40	439	22	S4
Elementi Prefabbricati	XC4	XD1	XF1	45	4A	-	0.45	340	25	S4
Velette Prefabbricate	XC4		XF4	40	3A	SI	0.40	439	22	S4
<b>Tombini</b>										
Fondazione	XC2			35	2	-	0.52	322	32	S4
Elevazione	XC4	XD1	XF1	40	3	-	0.47	350	32	S4
Cordoli Portabarriera	XC4		XF4	40	3A	SI	0.40	439	22	S4
Vasche di calma	XC2			35	2	-	0.52	322	32	S4
Elementi Prefabbricati	XC2			50	5	-	0.50	300	11-25	S1
<b>Fondazioni per Segnaletica e P.M.V.</b>										
Conglomerato Cementizio	XC2			35	2	-	0.52	322	32	S4

Definizione e composizione dei calcestruzzi del Progetto Esecutivo

Società di Progetto  
Brebemi SpA

