

1.

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:	PROGETTISTA:	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE
RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI	Ing. Nicola Cuzzo	Ing. Piergiorgio GRASSO Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche

**PROGETTO ESECUTIVO**

**ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO  
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO  
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO- TELESE**

GAO2 - GALLERIA ARTIFICIALE TELESE

RACCOMANDAZIONI E CAUTELE PER GETTI MASSIVI

<b>IMPRESA APPALTATORE &amp; C. S.p.A.</b> Dott. Ing. Sabino Del Balzo IL DIRETTORE TECNICO Ing. S. Del Balzo 23/06/2020	SCALA: <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px; text-align: center; margin: 5px 0;">-</div>
--	--

COMMESSA    LOTTO    FASE    ENTE    TIPO DOC.    OPERA/DISCIPLINA    PROGR.    REV.

I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	S	P	G	A	0	2	0	0	0	0	1	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	<u>D. Neri</u> 	23/06/2020	F. Rizzo 	23/06/2020	P. Grasso 	23/06/2020	Ing. Nicola Cuzzo 

## Indice

<b>1</b>	<b>GENERALITA' .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>PRESCRIZIONI DI CAPITOLATO .....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>ACCORGIMENTI PROGETTUALI.....</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>PRESTAZIONI RICHIESTE .....</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>CONFEZIONAMENTO DELL'IMPASTO .....</b>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>POSA IN OPERA.....</b>	<b>13</b>
<b>8</b>	<b>CURING .....</b>	<b>15</b>
<b>9</b>	<b>MONITORAGGIO.....</b>	<b>16</b>

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>GA02- Raccomandazioni e cautele per getti massivi</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>SP</td> <td>GA0200 001</td> <td>A</td> <td>3 di 17</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	SP	GA0200 001	A	3 di 17
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	SP	GA0200 001	A	3 di 17								

## 1 GENERALITA'

Il presente documento viene redatto al fine di mettere in evidenza le problematiche che possono sorgere negli elementi strutturali in calcestruzzo quando le condizioni ambientali, gli spessori e le caratteristiche dei materiali portino alla formazione di cospicue quantità di calore di idratazione. Le Norme in vigore prescrivono infatti (cfr §4.1.7 NTC08):

*Tutti i progetti devono contenere la descrizione delle specifiche di esecuzione in funzione della particolarità dell'opera, del clima, della tecnologia costruttiva. In particolare, il documento progettuale deve contenere la descrizione dettagliata delle cautele da adottare per gli impasti, per la maturazione dei getti, per il disarmo e per la messa in opera degli elementi strutturali.*

Nel corso del tempo di presa ed indurimento dell'impasto, si vengono a creare all'interno dell'elemento strutturale significativi gradienti termici che generano stati di coazione che comprendono tensioni di trazioni. Le conseguenti eventuali fessurazioni, non sempre riscontrabili in superficie, dipendono fortemente dall'entità del gradiente e dalla progressione del modulo di elasticità dell'impasto lungo il suo percorso di maturazione. Il grafico sottoriportato offre un'immagine, seppur qualitativa, dell'entità delle variazioni termiche riscontrabili e della durata della parte esotermica della reazione di idratazione del cemento.

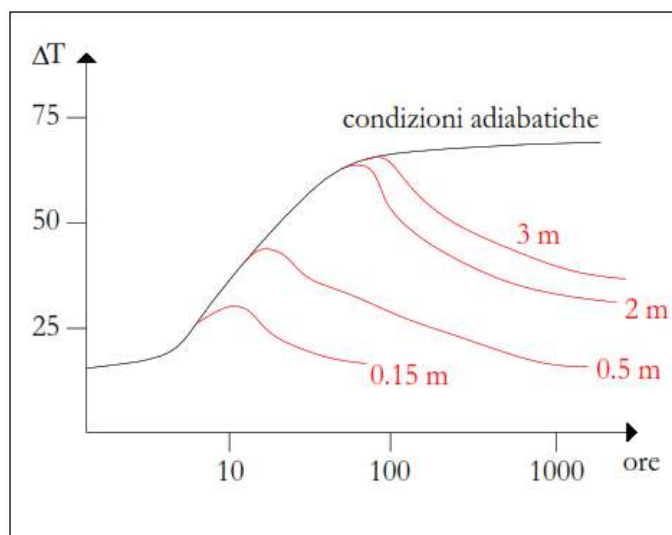


Figura 1: Profili di temperatura per spessore di elemento

Gli elementi strutturali in calcestruzzo armato presenti nella Galleria Artificiale GA02 risultano espressi nella seguente Tabella e Figure:

GA02- Raccomandazioni e cautele per getti massivi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 002	A	4 di 17

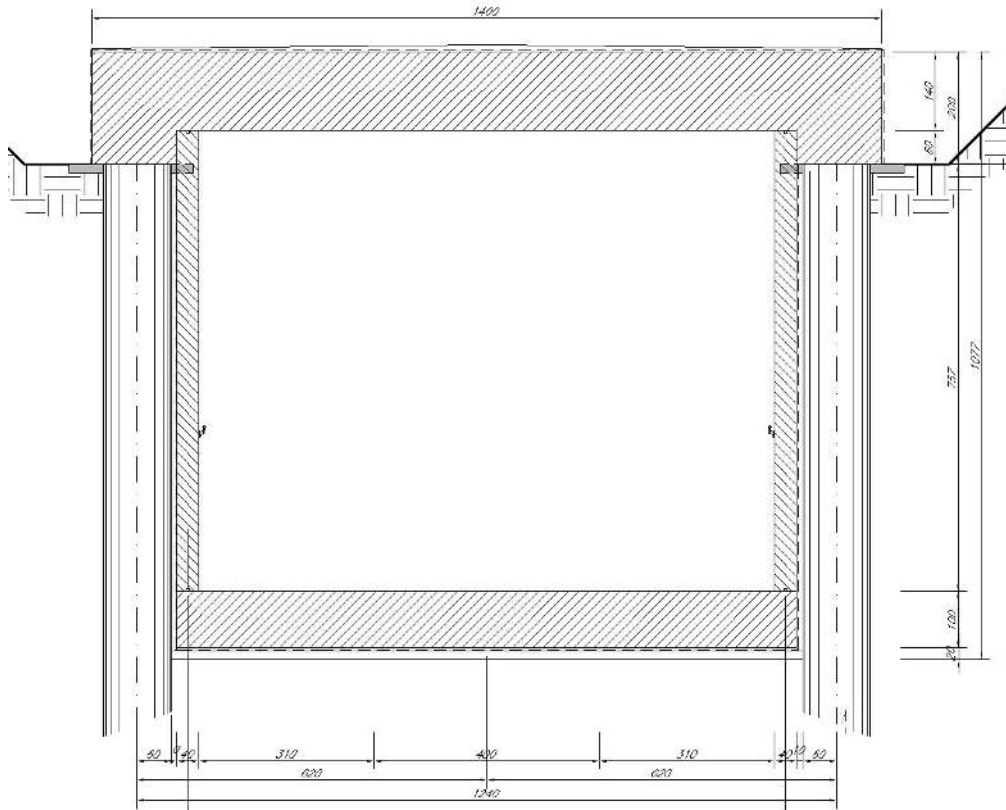


Figura 2: Sezione Tipo A per  $H_r \leq 4.00$  m

Elemento	Sezione Tipo A	Sezone Tipo C	Esposizione del Getto
Soletta Superiore	1.40 m	1.75-2.25 m	Esterna
Fodere	0.40 m	0.40 m	Interna
Soletta Inferiore	1.00 m	1.00 m	Interna

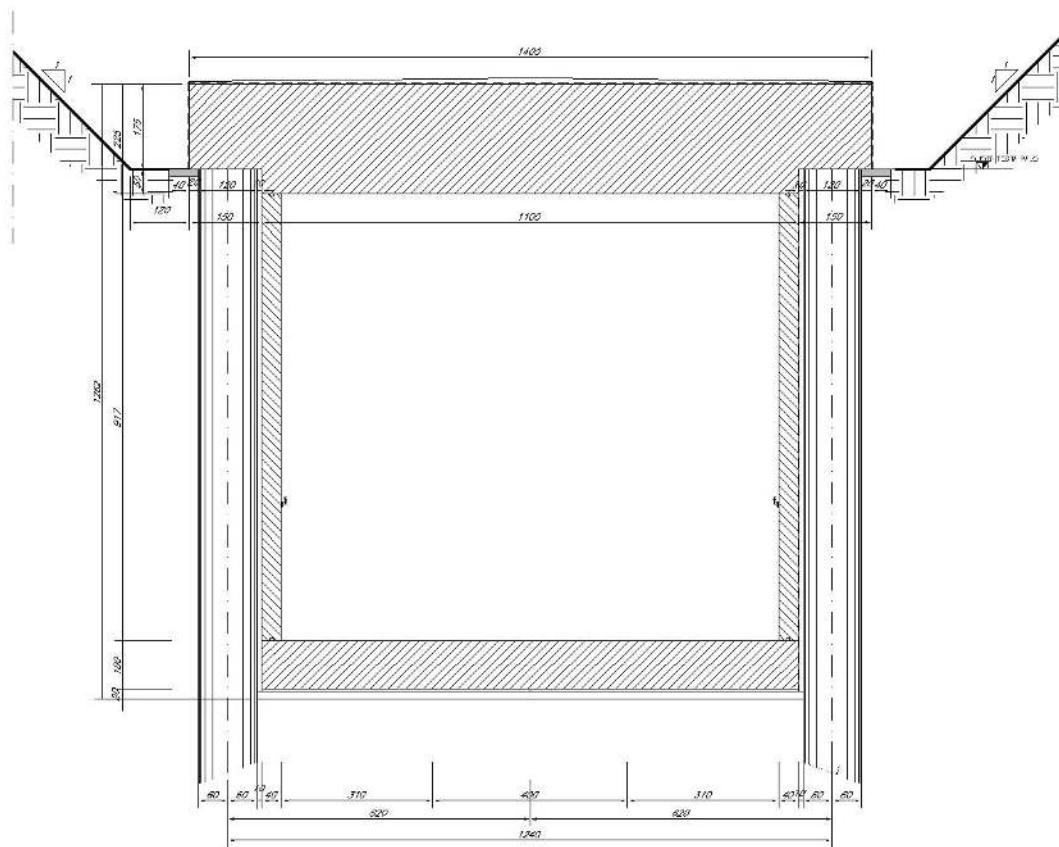


Figura 3: Sezione Tipo C per  $4.00 < H_r \leq 6.00$  m

La fessurazione per “ritiro termico”, così come si definisce il fenomeno in esame, riguarda principalmente i getti massivi, mentre gli elementi di piccolo o modesto spessore trovano, al contrario, beneficio. In letteratura la misura del separatore di campo viene usualmente posta, per calcestruzzo gettato in ambienti aperti, nello spessore  $H > 0.80$  m e  $H > 1.00$  m per getti in galleria (n.b. il Capitolato stabilisce come massivo un getto per  $H > 0.70$  m ma non differenzia l’ambiente – cfr §6.5.6.3).

Per l’Opera in esame, le Raccomandazioni e le Cautele che si impartiscono sono relative alle sole solette di copertura, dello spessore variabile tra 1.40 m e 2.25 m, per volumi minimi pari a circa 20 mc/m e fino a massimi di 30 mc/m, che risultano gli unici elementi strutturali esposti all’ambiente esterno durante il processo di getto e maturazione. Lo spessore del solettone di fondazione, infatti, risulta gettato in condizioni di umidità, assenza di ventilazione e assenza di irraggiamento diretto sicuramente ben più favorevoli per una migliore resa del prodotto finito, e pertanto viene escluso dall’oggetto della presente.

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>GA02- Raccomandazioni e cautele per getti massivi</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA0200 002	REV. A	FOGLIO 6 di 17

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Di seguito si riporta l'elenco delle Normative impiegate per la redazione del presente documento:

- Rif. [1] Ministero delle Infrastrutture, DM 17 gennaio 2018, Circolare 21 Gennaio 2019 N° 7 C.S.LL.PP «Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni»
- Rif. [2] Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, circolare 2 febbraio 2009, n. 617 C.S.LL.PP., «Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008»
- Rif. [3] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE I / Aspetti Generali (RFI DTC SI MA IFS 001 A)
- Rif. [4] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 1 / Ambiente e Geologia (RFI DTC SI AG MA IFS 001 A – rev 30/12/2016)
- Rif. [5] Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili – Parte II Sezione 6  
Opere in Conglomerato Cementizio e Acciaio

### 3 PRESCRIZIONI DI CAPITOLATO

Il Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili, alla Parte II Sezione 6 (Tabella 6.5.5.1) stabilisce i requisiti minimi delle miscele di calcestruzzo. Ai fini dello scopo di questa relazione, classificando la soletta di copertura sia come F3.2 che come G2, la classe di consistenza richiesta è S4, mentre i tipi di cemento richiesti sono CEM III, IV e V.

Il dosaggio di cemento consentito, a meno di deroghe richieste dall'Esecutore ed espressamente autorizzate dalle Ferrovie, deve rientrare nei limiti  $300 \leq c \leq 400$  kg/mc.

Per quanto riguarda i limiti di deformazione ammessa per la componente idraulica del ritiro, da misurarsi secondo UNI 11037, i limiti superiori ammessi risultano di  $400 \mu\text{m/m}$  e  $500 \mu\text{m/m}$ , rispettivamente a 60 e 90 giorni.

Per la parte termica del ritiro il limite viene posto sulla temperatura massima che può raggiungere il getto, nella sua parte più calda (core) relativamente alla temperatura ambiente ( $\Delta T_{1\text{max}}$ ):

$$\Delta T_{1\text{max}} = q * c / (m c_s) \leq \Delta T_{1\text{lim}}$$

dove I simboli assumono il seguente significato:

q = calore di idratazione del cemento a 2 giorni (kJ/kg)

c = dosaggio di cemento kg/mc

m = massa volumica del calcestruzzo kg/mc

$c_s$  = calore specifico del calcestruzzo = 1.10 kJ/kg °C (in realtà var. tra 0.87 e 1.08)

$\Delta T_{1\text{lim}}$  = 40°C per Calcestruzzi "G" e 35°C per Calcestruzzi "F3"

**GA02- Raccomandazioni e cautele per getti massivi**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 002	A	8 di 17

**Tabella 6.5.5.1 – Requisiti minimi delle miscele**

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Tipo di calcestruzzo	Campi di impiego	Classe di esposizione ambientale (UNI EN 206)	Rapporto a/c max	Classe di resistenza minima [C(fck/Rck) <sub>min</sub> ]	Classe di consistenza	Tipo di cemento	Classe di resistenza di calcolo (MPa)
<b>A</b>	<b>1*</b> Impalcati ed Elementi in c.a.p. prefabbricati	[XC3]	0,45	C35/45	S4-S5	CEM I,II,III,IV,V	Rck
	<b>2</b> Impalcati ed Elementi in c.a.p. gettati in opera	[XC3]	0,45	C35/45	S5	CEM I,II,III,IV,V	Rck
<b>B*</b>	<b>1</b> Elementi prefabbricati in c.a. per strutture fuori terra	[XC3]	0,45	C35/45	S4	CEM I,II,III,IV,V	Rck
	<b>2</b> Conci prefabbricati in c.a. per rivestimento di gallerie	[XA2]	0,45	C35/45	S2-S3-S4	CEM III,IV,V	Rck
	<b>3</b> Canalette portacavi prefabbricate Cunette prefabbricate Elementi prefabbricati senza funzioni strutturali	XC1	0,55	C25/30	S3,S4	CEM III,IV,V	Rck
<b>C**</b>	<b>1</b> Impalcati in c.a. ordinari Solette in c.a. in elevazione	XC3	0,55	C30/37	S4,S5	CEM I,II,III,IV,V	Rck
	<b>2</b> Pile e spalle Boggioli e pulvini Strutture in c.a. in elevazione	XC3	0,55	C30/37	S3,S4	CEM I,II,III,IV,V	Rck
<b>D**</b>	Lastre in cls per pavimentazioni esterne Manufatti estrusi	XC3	0,55	C30/37	S1	CEM III,IV,V	Rck
<b>E**</b>	Tombini a struttura scolare e circolare	XA1	0,55	C30/37	S3, S4	CEM III,IV,V	Rck
<b>P**</b>	<b>1</b> Arco rovescio di gallerie (getti orizzontali)	XA1	0,55	C30/37	S3, S4	CEM III, IV, V	30
	<b>2</b> Arco rovescio di gallerie (getti tradizionali a superficie inclinata)	XA1	0,55	C30/37	S3	CEM III,IV,V	30
	<b>3.1</b> Piedrini e calotta di gallerie – sezioni impermeabilizzate non armate	[X0]	0,60	C25/30	S3-S4	CEM III,IV,V	30
	<b>3.2</b> Piedrini e calotta di gallerie – sezioni impermeabilizzate armate	XC2	0,60	C25/30	S4	CEM III,IV,V	30
	<b>3.3</b> Piedrini e calotta di gallerie – sezioni non impermeabilizzate	XA1	0,55	C30/37	S4	CEM III,IV,V	30



GA02- Raccomandazioni e cautele per getti massivi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 002	A	9 di 17

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Tipo di calcestruzzo	Campi di impiego	Classe di esposizione ambientale (UNI EN 206) <sup>1</sup>	Rapporto a/c max	Classe di resistenza minima [C(fck/Rck) <sub>min</sub> ]	Classe di consistenza	Tipo di cemento	Classe di resistenza di calcolo (MPa)	
G**	1	Muri di controscarpia/sottoscarpa in c.a. (armatura $\geq 30$ Kg/mc)	XC3	0,55	C30/37	S3, S4	CEM III,IV,V	Rck
	2	Muri di controscarpia/sottoscarpa debolmente armati (armatura < 30 kg/mc) o non armati Solettoni di fondazione Fondazioni armate Rivestimenti di tubazioni	XC2	0,60	C25/30	S3, S4	CEM III,IV,V	30
	3	Fondazioni non armate (pozzi, sottopiedi, prismi per difese spondali, ecc...)	XC2	0,60	C25/30	S3,S4	CEM III,IV,V	30
	4	Cunette, canalette e cordoli	XC1	0,60	C25/30	S3,S4	CEM III,IV,V	Rck
H**	1	Pali (di paratie o opere di sostegno), diaframmi e relativi condoli di collegamento gettati in opera	XC2	0,60	C25/30	S4, S5	CEM III,IV,V	30
	2	Pali di fondazione gettati in opera	XC2	0,60	C25/30	S4, S5	CEM III,IV,V	30
	3	Pali di fondazione prefabbricati	[XA1]	0,50	C32/40	S4, S5	CEM III,IV,V	Rck
I	Magrone di riempimento o livellamento	X0	-	C12/15	-	CEM I,II,III,IV,V	Rck	

\* vedi punto 6.5.7.2 "Caratteristiche aggiuntive per calcestruzzi da prefabbricazione";

\*\* vedi punto 6.5.7.1 "Caratteristiche aggiuntive per calcestruzzi gettati in opera";

1 di norma, la classe di esposizione ambientale indicata individua le caratteristiche della miscela; nei casi in cui la classe di esposizione ambientale è scritta tra parentesi quadre (es. per i calcestruzzi di tipologia A1 e A2 si ha [XC3]), la classe di resistenza minima è stata determinata in considerazione di fattori diversi e, comunque, più vincolanti.

#### Legenda tabella 6.5.5.1

Colonna I - Tipo di calcestruzzo: le miscele di calcestruzzo sono suddivise in nove tipologie (da A a I) in funzione dell'impiego a cui sono destinate, come specificato nella successiva Colonna II.

Colonna II - Campi di impiego: per ogni tipo di calcestruzzo indicato in Colonna I vi è una ulteriore suddivisione che tiene conto della parte d'opera e/o della particolare tipologia costruttiva da adottare. Gli esempi indicati nella tabella non sono esaustivi per l'ESECUTORE.

Colonna III - Classe di esposizione ambientale: è indicata la classe minima da adottare in funzione del campo d'impiego; l'ESECUTORE, di concerto con le FERROVIE, è tenuto a verificare, con riferimento al prospetto 4 della norma UNI 11104 che la classe di esposizione ambientale effettiva non sia più severa di quella prevista nella tabella.

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>GA02- Raccomandazioni e cautele per getti massivi</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA0200 002	REV. A	FOGLIO 10 di 17

## 4 ACCORGIMENTI PROGETTUALI

Gli accorgimenti progettuali adottati per la gestione e la riduzione, per quanto possibile, delle conseguenze degli effetti del ritiro termico sono consistiti in maggior parte nell'adeguamento della lunghezza dei conci, ossia dei volumi di getto, nell'ambito dell'intorno di un volume di calcestruzzo pari a circa  $V=700$  mc, che, per una produzione stimata di circa 70 mc/h, conduce al completamento delle operazioni di getto in un massimo di circa 10 ore lavorative. La scelta corrisponde ad una lunghezza del concio standard di  $L=22.50$  m, che viene adattata alle situazioni locali quando necessario, dove si pongono i giunti di costruzione. La presenza dei pali non si considera costituire un vero e proprio impedimento alle contrazioni di ritiro, in quanto al momento del getto, i pali risultano connessi alla edificanda soletta solo attraverso le armature di continuità e la deformabilità del terreno in cui sono immersi, risulta comunque superiore a quella che si verifica nel caso classico di contrazione impedita costituita dal getto di un muro al di sopra del suo plinto di fondazione.

Il rapporto minimo di armatura, che molte normative richiedono, pari a

$$\rho \geq f_{ctm}/f_{yk} = 3.02/450 = 0.0067$$

risulta sempre soddisfatto in quanto, viste le importanti coperture, le armature disposte risultano ben maggiori della prescrizione suddetta. Per lo stesso motivo non si è potuto adottare diametri delle armature "piccoli", al fine di ridurre le ampiezze delle fessurazioni a scapito della loro frequenza, ma le verifiche strutturali svolte garantiscono i limiti imposti alle aperture stabiliti, dalle prescrizioni prestazionali, in

$$w_k \leq 0.200 \text{ mm}$$

Le sole repentine variazioni di sezioni non sono risultate eliminabili, vedasi sezione tipo C, a causa dei notevoli vincoli geometrici posti dal progetto quali rispetto dei limiti di esproprio e rispetto della distanza massima tra l'intradosso della soletta superiore ed il piano del ferro.

## 5 PRESTAZIONI RICHIESTE

Le prestazioni richieste all'impasto durante le prime ore e settimane dal suo confezionamento sono l'unico strumento a disposizione del progettista per raccomandare la dovuta cura ed attenzione ai fornitori del materiale, gli impianti di betonaggio, e agli esecutori dei getti, le imprese appaltatrici, per ottenere con buona probabilità il confezionamento di un calcestruzzo esente dalle imperfezioni che possano comprometterne la durabilità attesa. La fessurazione del calcestruzzo, come ben noto, non è un fenomeno anomalo in un elemento strutturale ordinariamente armato, anzi, al contrario, è insito nella sua natura visto che nel dimensionamento delle sezioni se ne trascura la resistenza a trazione. Le eventuali comparse di fessure in superficie, pertanto, non possono essere considerate inficianti del comportamento strutturale ma solo una causa della probabile riduzione della Vita Utile dell'opera, intendendo con ciò la necessità di anticipare le operazioni di manutenzione straordinaria che sono comunque previste nel Piano di Manutenzione dell'Opera. Le prestazioni richieste vanno, pertanto, inquadrate in

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>GA02- Raccomandazioni e cautele per getti massivi</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA0200 002	REV. A	FOGLIO 11 di 17

un più ampio e complesso quadro gestionale dell'Opera e ordinate secondo priorità non limitate da un singolo aspetto del comportamento del materiale.

La prestazione più importante che si richiede dunque è la

### **Assenza di Giunti Freddi**

tra le riprese di getto nel confezionamento non solo delle solette superiori ma di tutti gli elementi strutturali che compongono l'Opera, ossia anche i pali, il solettone di fondazione e le fodere di rivestimento. Solo casi eccezionali dovuti ad imprevisti potranno essere trattati con azioni correttive idonee a ripristinare la continuità delle stratificazioni del getto ma, tale argomento, non è di pertinenza di questa relazione.

La prestazione più ovvia, evidentemente, riguarda l'ottemperanza alle richieste progettuali in termini di

### **Resistenza, Rigidezza**

di cui, ovviamente, risulta inutile discutere in questa sede.

Il valore del gradiente termico tra il core dell'elemento strutturale e le sue superfici, risulta la grandezza più significativa per il controllo del fenomeno delle fessurazioni per ritiro termico e viene posta a

### **Gradiente Termico $DT_{3_{max}} \leq 20^{\circ}C$**

La grandezza esposta integra le prescrizioni imposte a proposito del gradiente relativo alla temperatura ambiente riportata nei capitoli precedenti (cfr Capitolato §6.5.11.4.3), e rende chiaro che le due grandezze hanno in comune l'intento del contenimento del calore di idratazione dell'impasto. Tale prescrizione può anche porsi come segue:

### **Calore di Idratazione: $Q \leq 270 \text{ J/g @7giorni}$**

e dalla quale discende la medesima prescrizione di Capitolato per l'impiego di cementi tipo

### **CEM III, IV e V**

ossia cementi pozzolanici, d'altoforno o compositi che, notoriamente, consentono di distribuire in modo più graduale nel tempo la esotermica reazione di idratazione del cemento.

L'approccio prestazionale è l'unico che può essere demandato all'attività di progettazione. La tecnologia del materiale, infatti, non solo non è propria dell'attività del progettista ma risulterebbe una indebita interferenza imporre agli impianti di betonaggio prescrizioni cogenti sulle miscele o sulle scelte dei materiali le cui caratteristiche, peraltro, sono già decretate nel Capitolato Generale Tecnico d'Appalto. I migliori impianti, quali quelli cui sicuramente l'Appaltatore affiderà la fornitura, dispongono infatti di centinaia di ricette stabilite con l'ausilio di prove di laboratorio preliminari in funzione delle peculiarità dei componenti approvvigionati la cui conoscenza esula dal compito del progettista.

Nei capitoli che seguono, pertanto, si proporranno suggerimenti e si evidenzieranno cautele che hanno lo scopo di circoscrivere e indirizzare le scelte del tecnologo lasciando egli la piena libertà di comporre i materiali a disposizione del suo impianto.

## 6 CONFEZIONAMENTO DELL'IMPASTO

La scelta dei componenti delle miscele per l'impasto e le loro proporzioni sono, per quanto detto in precedenza, una prerogativa dei tecnologi degli impianti di betonaggio di cui si servirà l'Appaltatore.

Per raggiungere le richieste di durabilità il dosaggio di cemento tende ad essere in genere incrementato rispetto alle sole prestazioni di resistenza e rigidità. Per i getti massivi, pertanto, diventa importante avere cura della scelta tipologica del cemento tendenzialmente scelto con basso tenore di C<sub>3</sub>A e C<sub>3</sub>S, come descritto nei capitoli precedenti che potrebbe anche essere proposto a finezza di macinazione grossolana. Il maggior tempo richiesto da questi cementi per il processo di idratazione, infatti, si traduce in un più graduale rilascio del calore di reazione che agevola quindi il raggiungimento delle prestazioni richieste al §5.

*Calore di idratazione unitario a 3 e 7 giorni di diversi cementi disponibili in Italia.*

TIPO DI CEMENTO	CLASSE DI CEMENTO	q <sub>3</sub> (kJ/kg)	q <sub>7</sub> (kJ/kg)
I	52.5 R	380 - 410	400 ÷ 430
II/A-LL	42.5 R	300 ÷ 320	330 ÷ 340
II/B-LL	32.5 N	250 ÷ 270	285 ÷ 290
II/B-M	32.5 R	250 ÷ 270	285 ÷ 290
II/A-S	42.5 R	290 ÷ 310	320 ÷ 330
III/A	32.5 R	230 ÷ 250	265 ÷ 270
III/B	32.5 N	180 ÷ 190	190 ÷ 200
IV/A (ARS)	32.5 R	200 ÷ 210 (150 - 170)	210 ÷ 220 (170 - 190)
IV/A	42.5 R	240 ÷ 290	285 ÷ 310
IV/B	32.5 R	175 ÷ 220	190 ÷ 240

Le stesse proporzioni degli inerti influiscono notevolmente nella generazione del calore di idratazione: impiegando miscele "sotto sabbiate" il dosaggio del cemento può attestarsi verso la parte inferiore del range ammesso in Capitolato, pur rispettando il dosaggio minimo richiesto dalle Norme ai fini della durabilità.

Volendo tenere basso il rapporto a/c al fine di ottenere le resistenze richieste ai bassi dosaggi, occorrerà impiegare additivi superfluidificanti per garantire la lavorabilità dell'impasto. Tra essi si suggerisce la preferenza per i PCE (PoliCarbossilati Eteri) con repulsione ad effetto sterico, rispetto ai tradizionali ad effetto elettrostatico, per la maggiore affidabilità, dosabilità e maggior tempo di lavorabilità (nel caso di scelta di cementi pozzolanici andrà verificata la compatibilità di tali additivi con il cemento che potrebbe inibirne l'effetto). La prescrizione progettuale di assenza di giunti freddi non fa escludere la necessità di impiegare anche additivi ritardanti della

presa che, come si vedrà più avanti, dovranno coprire il tempo di posa in opera, spandimento e vibrazione delle colate sulla base del programmato ciclo produttivo dei getti previsti per la realizzazione dell'elemento strutturale. A tale proposito si potrà prendere in considerazione anche l'impiego dei cementi di Classe 22.5, se propri del know-how dell'impianto, che consentono di ritardare il tempo di presa fino a 75 minuti, oppure, qualora l'Appaltatore ne ravvedesse la necessità e previa autorizzazione delle Ferrovie, l'impiego di calcestruzzi SCC da qualificare appositamente o S5.

## 7 POSA IN OPERA

Le precauzioni da adottare in sede di messa in opera dell'impasto per la buona riuscita di un getto massivo non differiscono sostanzialmente dalle precauzioni che si adottano per il confezionamento di un getto ordinario.

La temperatura dell'impasto una volta giunto a piè d'opera dovrà essere compresa tra

$$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{impasto}} \leq 35^{\circ}\text{C}$$

Più precisamente in funzione dello spessore dell'elemento strutturale la temperatura ambientale minima è bene non scenda al di sotto del valore di 5 °C salvo nei casi e con le prescrizioni indicate al paragrafo 6.5.11.4.2 del Capitolato per la costruzione delle Opere Civili, mentre nella tabella che segue sono riportati i valori limite superiore della velocità di raffreddamento consentita:

spessore	mm	< 300	300-900	900-1800	> 1800
V_raffreddamento	°C/h	1.15	0.90	0.70	0.45

Si raccomanda inoltre di mantenere la temperatura dell'impasto all'interno del range previsto, con gli accorgimenti propri della stagione calda o fredda. Allo scopo, la differenza termica tra gli inerti e la temperatura ambiente non ecceda i limiti riportati nella seguente tabella:

Inerte	mm	Ghiaia	Graniglia	Sabbia	Filler
DT_max	°C	20	28	39	55

Nella stagione fredda il difetto più frequente consiste nello sfarinamento e scagliatura delle superfici esposte, e il fenomeno della presa e lo stesso sviluppo della resistenza risultano rallentati. Le superfici dei casseri vanno tenute a temperature superiori i 5°C e dovranno essere rivestite con materiali isolanti o legno dello spessore di almeno 20 mm (come prescritto al § 6.5.6 del capitolato). Se non si potranno evitare i getti nelle giornate in cui la temperatura si mantiene al disotto dei 5°C per più di 12 ore, occorrerà garantire che la temperatura del core

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>GA02- Raccomandazioni e cautele per getti massivi</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA0200 002	REV. A	FOGLIO 14 di 17

dell'elemento strutturale si mantenga al di sopra dei 10°C con i sistemi di protezione dalle intemperie (vento, pioggia, neve, ...) descritti nel capitolo *Curing*.

Nella stagione calda, per contro, il difetto più frequente consiste nella formazione di microfessurazione diffusa per ritiro plastico che assume la tipica forma del piede di corvo. Già a temperature ambiente pari a 32°C l'evaporazione può superare il limite di 0.75 kg/m<sup>2</sup>\*h, che conduce a perdite di lavorabilità, riduzione del tempo di presa, riduzione di resistenza, aumento del ritiro e della porosità. Le misure preventive possono consistere nel far scorrere acqua fredda sulla superficie esterna della botte di mescolazione, eseguire i getti di sera, di notte o nelle prime ore della giornata, evitare l'impiego di inerti che si trovino a temperature superiori ai limiti stabiliti nella tabella precedente provvedendo a coprirli o mantenendoli umidi mediante irrigazione con acqua proveniente da pozzo, fare in modo che il tempo di fornitura del calcestruzzo in opera dal momento dell'inizio della mescolazione in betoniera, ossia dall'introduzione dell'acqua, non ecceda i 45 minuti. Queste prescrizioni diventano più agevoli da rispettare in caso di programmazione di getti notturni o, nel caso di modesti volumi, nelle prime ore del mattino. Anche per queste condizioni estreme, gli accorgimenti per il *Curing* del getto, descritti successivamente, risultano di grande importanza per il corretto confezionamento dell'elemento strutturale.

Ma per la peculiarità del forte spessore delle solette gettate all'aperto può essere di indubbia efficacia la attenta programmazione del tempo di presa dell'impasto e la conseguente sequenza delle fasi di getto, tra le quali la scelta degli spessori degli strati risulta di notevole importanza.

Lo spessore ottimale degli strati, che comunque non potrà superare i 70 cm, e l'estensione superficiale degli stessi dovranno pertanto essere valutati tenendo presente la necessità di evitare l'inizio della fase di presa di uno strato prima dell'inizio del getto dello strato successivo, procedendo all'esecuzione di strisce di getto dirette lungo la luce libera degli elementi strutturali.

La scelta degli spessori di getto andrà inoltre verificata con le potenziali prestazioni degli additivi ritardanti che l'impianto vorrà prendere in considerazione. La miscela di ciascuno degli strati avrà un tempo di ritardo della presa studiato in modo che il comportamento termo-meccanico dell'impasto consenta di ottenere una dissipazione del calore di idratazione graduale sia nel tempo che lungo lo spessore dell'elemento. A tale proposito i limiti termici suggeriti sono rappresentati nella seguente tabella (cfr Capitolato §6.5.11.4.3):

Punto di Misura	mm	Core	Superfici Orizzontali	Superfici Verticali
T_max	°C	70	50	50
ΔT3_max	°C	---	±20	±20

## 8 CURING

La protezione delle superfici esposte, soprattutto nei **primi 14 giorni dal getto**, risulta di primaria importanza per il buon esito del processo costruttivo e, nel caso di getti massivi, l'obiettivo è rappresentato dal consentire al calcestruzzo, che possiede un basso valore di trasmissibilità termica, di dissipare gradualmente nel tempo e nello spazio del suo spessore, i gradienti termici originati dalle reazioni di idratazione del cemento.

A tale scopo si rende necessario prevedere per il periodo di stagionatura adeguati sistemi di protezione che, in funzione delle situazioni ambientali di temperatura e ventilazione previste dopo l'esecuzione del getto, possono prevedere l'impiego (anche combinato) dei seguenti apprestamenti :

- Teli di TNT o iuta bagnati, con funzione umidificante
- Fogli di polietilene, con funzione antievaporante;
- Polistirolo/polistirene in lastre con funzione di coibente termico

I teli in TNT o iuta, di spessore adeguato alle prestazioni del materiale, dovranno essere mantenuti costantemente imbibiti d'acqua al fine di evitare l'evaporazione sia nella stagione calda (bassa umidità relativa) che in quella fredda (forte ventilazione). La temperatura dell'acqua non dovrà superare la temperatura del core dell'elemento strutturale né dovrà risultare maggiore di 20°C rispetto alla temperatura superficiale.

La rimozione dei casseri dipenderà dalla resistenza meccanica minima necessaria per garantire la stabilità dell'opera, che comunque non potrà essere inferiore a 2 Mpa.

Dopo lo scassero la superficie del calcestruzzo, in funzione delle condizioni ambientali e della risposta della strumentazione di monitoraggio predisposta nel getto, dovrà essere protetta con provvedimenti analoghi a quelli sopra descritti.

Non appena lo stato della superficie lo consenta è comunque opportuno procedere in tempi brevi all'allestimento dello strato impermeabile e al rinterro dell'Opera, in modo che la soletta venga a trovare condizioni termo-igrometriche costanti.

## 9 MONITORAGGIO

La formulazione delle miscele dovrà essere supportata dalle ordinarie prove che si eseguono normalmente sul calcestruzzo oggetto di *mix-design*, peraltro normate dallo stesso Capitolato, alle quali vanno aggiunte le prove adiabatiche per la misura del ritiro termico.

Una volta approvate e i calcestruzzi messi in opera, si pone il problema del controllo della corretta esecuzione che si basa essenzialmente sulla misura delle temperature all'interno del getto alle quali vanno associate la misura delle condizioni ambientali e lo stato di protezione e *curing* del getto messo in essere.

Nelle figure che seguono si mostra la possibile dislocazione delle termocoppie per ciascuna delle due sezioni tipologiche di cui si compone l'Opera:

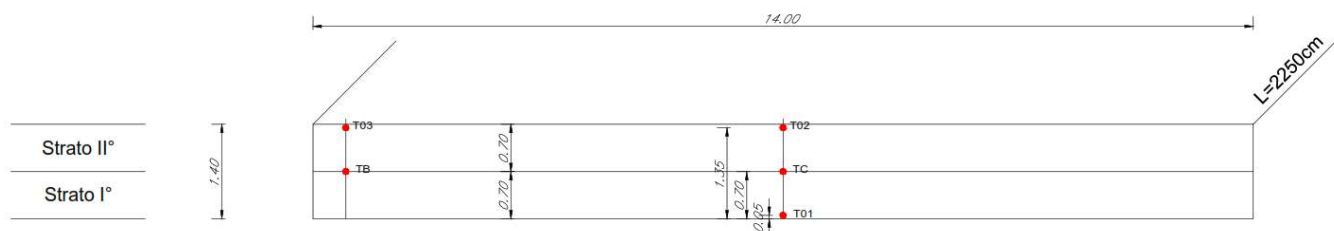


Figura 4: Disposizione delle termocoppie nelle Sezione Tipo A

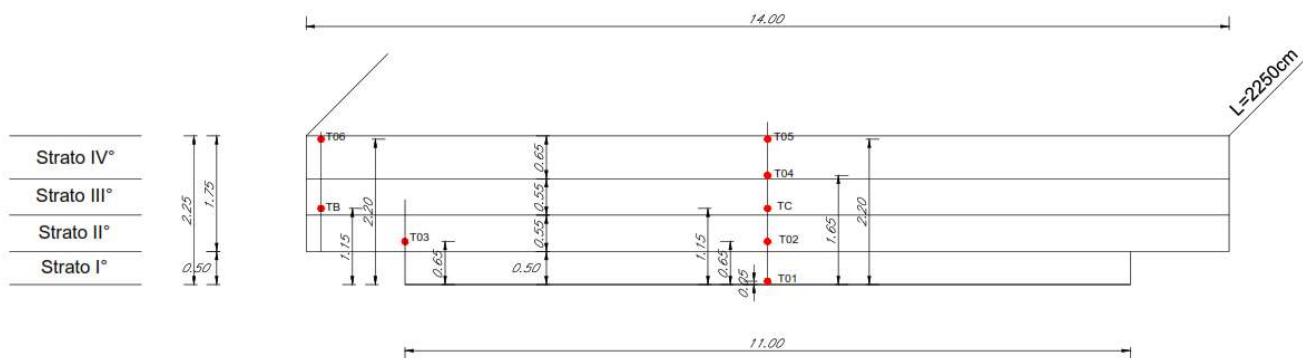


Figura 5: Disposizione delle termocoppie nelle Sezione Tipo C

Le sezioni da strumentare in un conco saranno due, mentre il numero dei conchi da strumentare sarà il 20% del totale. Le letture andranno eseguite con cadenza oraria per le prime 48 ore, e poi con cadenza 3-4 ore per i successivi 7 giorni.

La registrazione delle condizioni ambientali (temperatura, umidità, vento, ...) e il tracciamento della protezione messa in essere faranno parte delle schede di monitoraggio.



**GA02- Raccomandazioni e cautele per getti massivi**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 002	A	17 di 17

Anche i prelievi di campioni di calcestruzzo fresco andranno inquadrati nella gestione del monitoraggio dei getti massivi e per eventuale scassero anticipato è opportuno prevedere il confezionamento di cubetti da sottoporre a rotture per verificare il raggiungimento della Resistenza Caratteristica minima definita per lo scassero. In ogni caso si consiglia, per ogni prelievo, di confezionare almeno 6 campioni. Due saranno destinati alle prove di schiacciamento a 7 giorni, due a quelle a 28 giorni e due verranno tenuti di riserva per ridondanza contro eventuali anomalie nelle risposte dei precedenti quattro. I campioni andranno prelevati in ragione di uno ogni 30 mc per i primi 90 mc, e successivamente in ragione di uno ogni 100 mc, fino a 2000 mc.