



## GRAN SASSO ACQUA S.p.A.

Via Ettore Moschino, 23/B  
67100 L'AQUILA (AQ)

**PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell'Aquila  
Ovest - CUP:B15H22001110005**

### PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

#### PROGETTISTA:



**C.&S. DI GIUSEPPE  
INGEGNERI ASSOCIATI S.r.l.**  
D.T. : Ing. Berardo GIANGIULIO  
66010 Palombaro (CH)  
Tel. 0871.895660 – Fax 0871.895218  
email: [info@c-sdigiuseppe.com](mailto:info@c-sdigiuseppe.com)



ISO 9001:2015 cert. n. IT307326-1



ISO 14001:2015 cert. n. IT307902



ISO 45001:2018 cert. n. IT307900

#### COMMITTENTE:



**IL PRESIDENTE:**  
Dott. Alessandro Piccinini  
**RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO**  
Dott. Ing. Alessandra MARONO  
**DIRETTORE DELL'ESECUZIONE DEL CONTRATTO**  
Dott. Ing. Alessandra MARONO

## ELABORATI SPECIALISTICI RELAZIONE SUI MATERIALI

Elaborato n°	Codice elaborato	Numero di Pagine
<b>3.5</b>	<b>905PFTE03050000_00</b>	<b>41</b>

Rev	Data	Descrizione/Modifica	Redatto	Verificato	Approvato
00	Sett. 2023	PRIMA EMISSIONE	Ing. Simone SCIARRA	Ing. Evandro SERAFINI	Ing. Berardo GIANGIULIO



<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>		
		Rev.	Data
		00	Set. 2023
		pag. 3 di 41	

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....	5
3	DURABILITÀ DELLE STRUTTURE.....	6
4	ACCIAIO DA ARMATURA.....	7
5	CALCESTRUZZO.....	8
5.1	CONTROLLI.....	10
5.2	TIPICI DI CALCESTRUZZO .....	10
5.3	CLASSE DI RESISTENZA.....	10
5.4	CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE.....	10
5.5	PRESCRIZIONE DEL DIAMETRO MASSIMO DELL'AGGREGATO.....	11
5.6	PRESCRIZIONE DELLA CLASSE DI CONSISTENZA .....	12
5.7	AGGREGATI.....	12
5.8	CLASSE DI CONTENUTO IN CLORURI .....	12
5.9	COPRIFERRO.....	12
5.10	MESSA IN OPERA.....	14
	5.10.1 Fornitura del calcestruzzo (§6.3.1 Linee Guida, Servizio Tecnico Centrale C.S.LL.PP.).....	14
	5.10.2 Movimentazione del calcestruzzo (§6.3.2 Linee Guida, Servizio Tecnico Centrale C.S.LL.PP.).....	16
	5.10.3 Operazioni di getto (§6.3.3 Linee Guida, Servizio Tecnico Centrale C.S.LL.PP.).....	17
	5.10.4 Riprese di getto (§6.3.4 Linee Guida, Servizio Tecnico Centrale C.S.LL.PP.).....	22
5.11	MATURAZIONE E PROTEZIONE DEL CALCESTRUZZO.....	23
	5.11.1 Condizioni di clima particolari (§7.1 Linee Guida, Servizio Tecnico Centrale C.S.LL.PP.).....	27
	5.11.2 Sviluppo di calore: getti di massa (§7.2 Linee Guida, Servizio Tecnico Centrale C.S.LL.PP.).....	31
	5.11.3 Protezione termica durante la maturazione del calcestruzzo fresco (§7.3 Linee Guida, Servizio Tecnico Centrale C.S.LL.PP.).....	35
	5.11.4 Disarmo (§7.4 Linee Guida, Servizio Tecnico Centrale C.S.LL.PP.).....	36
6	PROGETTO DELLA MISCELA DI CALCESTRUZZO .....	38
6.1	MISCELA PER CALCESTRUZZO C28/35 - XA1 - S5 .....	38
7	ACCIAIO DA CARPENTERIA .....	41
7.1	ACCIAIO DA CARPENTERIA PER HEB, IPE, OMEGA, FLANGE E PIASTRE DI COLLEGAMENTO .....	41

<u>Progettista</u> C. & S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.	<b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b>		
		<i>Rev.</i>	<i>Data</i>
		00	Set. 2023
		<i>pag. 4 di 41</i>	

## 1 PREMESSA

Il presente elaborato costituisce la “*Relazione sui materiali*”.

La relazione è così articolata:

- Il **Capitolo 2** elenca le Normative di riferimento;
- Il **Capitolo 3** illustra il concetto di durabilità delle strutture;
- Il **Capitolo 4** descrive le specifiche dell’acciaio da armatura;
- Il **Capitolo 5** descrive le specifiche del calcestruzzo;
- Il **Capitolo 6** descrive il progetto della miscela di calcestruzzo;
- Il **Capitolo 7** descrive le specifiche dell’acciaio da carpenteria.

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>		
		Rev.	Data
		00	Set. 2023
		pag. 5 di 41	

## 2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

I riferimenti normativi per la seguente relazione sono:

- Decreto ministeriale del 17 gennaio 2018 *Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”*;
- Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.. Istruzioni per l'applicazione dell’*”Aggiornamento delle Nuove norme tecniche per le costruzioni”* di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018 (GU n. 35 del 11-2-2019 - Suppl. Ordinario n.5);
- UNI-EN 1992-1-1 *”Progettazione delle strutture in c.a.”*;
- UNI-EN 206-1 *”Calcestruzzo, specificazione, prestazione, produzione e conformità”*;
- UNI 11104 *”Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1”*;
- UNI 8520 Parte 1 e 2 *”Aggregati per calcestruzzo – Istruzioni complementari per l’applicazione in Italia della norma UNI-EN 12620 – Parte 2:Requisiti”*;
- UNI 7122 *”Calcestruzzo fresco. Determinazione delle quantità di acqua d’impasto essudata.”*;
- EN 10080;2005 *”Acciaio per cemento armato”*;
- UNI EN ISO 15630 – 1 / 2 *”Acciai per cemento armato: metodi di prova”*;
- UNI EN 13670:2008 *”Execution of concrete structures”*.
- *”Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale”* Settembre 2016, Osservatorio per il calcestruzzo - Servizio Tecnico Centrale C.S.LL.PP.
- UNI EN 1998-5 *”Eurocodice 8 - Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”*.
- UNI EN 1090-2 :2018 *”Esecuzione di strutture in acciaio e di alluminio – Parte 2: Requisiti tecnici per strutture di acciaio”*.

<u>Progettista</u> C. & S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.	<b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b>		
		<i>Rev.</i>	<i>Data</i>
		00	Set. 2023
		pag. 6 di 41	

### 3 DURABILITÀ DELLE STRUTTURE

L’*”Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni”* (D.M. 17/01/2018) riprende quanto indicato nel precedente D.M. 14/01/2008 nel quale veniva introdotta, nei principi fondamentali, l’importanza dello studio dell’ambiente con le relative aggressioni sulle opere in calcestruzzo armato, al fine di garantire il raggiungimento della vita di servizio prevista. Per *“vita di servizio”* si intende il tempo durante il quale le strutture e/o i materiali conservano le loro prestazioni iniziali mantenendo il livello di sicurezza e di efficienza funzionale di progetto, per qualsiasi azione e condizione ambientale prevista. In quest’ottica viene ricalcato il concetto di durabilità, vale a dire la capacità di conservazione delle caratteristiche fisico-meccaniche delle strutture per tutta la vita di servizio prevista in progetto senza dover far ricorso a interventi di manutenzione straordinaria. Tale obiettivo viene raggiunto anche attraverso una prescrizione corretta delle regole di maturazione, una cadenza temporale dei necessari monitoraggi sulle opere, o su particolari di esse, e azioni manutentive preventive.

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>		
		Rev.	Data
		00	Set. 2023
		pag. 7 di 41	

## 4 ACCIAIO DA ARMATURA

L'acciaio per cemento armato ad aderenza migliorata presenta le seguenti caratteristiche:

- Tipologia: **B450C**
- Resistenza caratteristica a rottura:  $f_{ik} = 540 \text{ N/mm}^2$ ;
- Resistenza caratteristica a snervamento:  $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$ ;
- coefficiente di sicurezza acciaio:  $\gamma_s = 1,15$ ;
- Resistenza di calcolo:  $f_{yd} = 391,3 \text{ N/mm}^2$ ;
- Modulo di elasticità:  $E_s = 206000 \text{ N/mm}^2$ ;
- copriferro minimo: **4 cm**.

Tutti i copriferri dovranno essere garantiti con appositi distanziatori.

Le barre devono presentare struttura uniforme, essere prive di screpolature, bruciature o altre soluzioni di continuità; non devono presentare ruggine, per quanto sia accertato che una leggera ossidazione non riesce dannosa, in quanto il calcestruzzo avvolgente, dopo qualche tempo, la fa scomparire.

L'acciaio utilizzato comprende: barre d'acciaio tipo B450C ( $6 \text{ mm} < \Phi < 50 \text{ mm}$ ), rotoli tipo B450C ( $6 \text{ mm} < \Phi < 12 \text{ mm}$ ); prodotti raddrizzati ottenuti da rotoli con:

- Diametri  $< 22 \text{ mm}$  per il tipo B450C;
- Reti elettrosaldate ( $6 \text{ mm} < \Phi < 12 \text{ mm}$ ) tipo B450C;
- Tralicci elettrosaldati ( $6 \text{ mm} < \Phi < 12 \text{ mm}$ ) tipo B450C.

Ognuno di questi prodotti deve essere conforme alle Norme tecniche: queste specificano le caratteristiche tecniche che devono essere verificate, i metodi e le condizioni delle prove di accettazione e il sistema per l'attestazione di conformità per gli acciai destinati alle costruzioni in cemento armato che ricadono sotto la Direttiva Prodotti per CPD (89/106/CE).

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>		
		<i>Rev.</i>	<i>Data</i>
		00	Set. 2023
		pag. 8 di 41	

## 5 CALCESTRUZZO

Gli impasti di conglomerato cementizio per le strutture gettate in opera si otterranno dall'intimo mescolamento di componenti attivi quali acqua e cemento, e di materiali inerti sabbia, ghiaia, tali da avere una classe di resistenza non inferiore a C28/35 per le strutture. Tale valore caratteristico della resistenza cubica è valutato su provini cubici delle dimensioni di cm 15x15x15. Le caratteristiche meccaniche salienti del calcestruzzo strutturale per fondazioni, pareti e solette sono le seguenti:

- Classe di resistenza: **C28/35**;
- Classe di esposizione: **XA1**;
- Slump: **S5**;
- fattore riduzione da resistenza cubica a cilindrica = **0,83**;
- Resistenza cilindrica caratteristica:  **$f_{ck} = 29,05 \text{ N/mm}^2$** ;
- fattore di riduzione per carichi di lungo periodo = **0,85**;
- coefficiente di sicurezza calcestruzzo:  **$\gamma_c = 1,5$** ;
- Resistenza di calcolo a compressione semplice:  **$f_{cd} = 16,46 \text{ N/mm}^2$** ;
- Modulo elastico:  **$E_c = 32.588 \text{ N/mm}^2$** ;
- Modulo di Poisson:  **$\nu = 0,20$** ;
- Peso specifico:  **$\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$** ;
- coefficiente di espansione termica:  **$\alpha = 1,00E-05 \text{ 1/}^\circ\text{C}$** .

Il cemento sarà del tipo ad alta resistenza tipo 32,5, ed esso sarà fornito in sacchi sigillati, o in imballaggi speciali a chiusura automatica a valvola che non possono essere aperti senza lacerazioni, ovvero alla rinfusa. Sui sacchi e sugli imballaggi devono essere stampati il nome della ditta fabbricante e dello stabilimento di produzione, la qualità del legante, la quantità di acqua per la malta normale e, infine, le resistenze minime a trazione e compressione dopo 28 giorni di maturazione dei provini. Se invece i cementi sono forniti alla rinfusa, la provenienza e la qualità degli stessi dovranno essere dichiarate con documenti di accompagnamento della merce. La qualità potrà essere accertata mediante prelievo di campioni, con modalità previste dalle leggi e normative vigenti.

Copriferro minimo ai fini della verifica a fessurazione pari a 40 mm.

La resistenza meccanica e i requisiti fisico-chimico e le relative modalità di prova sono definite nel Cap. 11 - *Materiali e Prodotti per uso Strutturale* di cui al D.M. 17/01/2018. La presa deve avere inizio non prima di 45 minuti, dalla manipolazione con acqua, né terminare prima di 12 ore. Comunque, i tempi di presa possono variare sensibilmente anche per lo stesso cemento; il prodotto fresco di fabbricazione fa presa più rapidamente di quello stagionato; in ambiente caldo e asciutto i tempi si accelerano sensibilmente.



<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>		<p><i>Rev.</i></p>	<p><i>Data</i></p>
			<p>00</p>	<p>Set. 2023</p>
	<p><i>pag. 9 di 41</i></p>			

Gli inerti occupano in generale una frazione rilevante (70% - 80%) del volume del getto. La sabbia più adatta è quella viva del tipo preferibilmente silicea, a grana ruvida e ad elementi di diametro assortito da 0 a 3 mm circa. La sabbia può essere di provenienza fluviale o di cava e non deve contenere parti terrose o fango. Sono da escludersi sabbie provenienti da rocce in decomposizione, non resistenti alle azioni atmosferiche.

Ottime sabbie sono quelle provenienti dai frantoi o molazze mediante macinazione di pietre o pietrisco, purché provengano da rocce adatte e presentino spigoli vivi e dimensioni assortite.

La sabbia deve essere lavata se contiene limo, terreno vegetale, materiale melmoso, humus, ecc, in maniera tale da non asportare la parte più fine. Sabbie prodotte da frantoi contengono la polvere costituita dai grani più piccoli, che non debbono essere asportati. È necessario evitare sabbie di grana uniforme, in quanto grani di dimensioni diverse riempiono meglio gli spazi lasciati tra gli elementi di ghiaia. La sabbia natura o artificiale, da usare nel calcestruzzo, deve risultare ben assortita in grossezza e costituita di grani resistenti non provenienti da rocce gessose o decomposte. Essa deve essere scricchiolante alla mano, non lasciare traccia di sporco, non contenere materie organiche, melmose o comunque dannose.

La ghiaia o il pietrisco costituiscono la parte grossa dell’impasto, ed hanno grande importanza sulle sue proprietà. Gli elementi che formano la ghiaia o il pietrisco variano molto di grandezza, di solito da 5 a 30 mm. Anche la ghiaia deve avere grani di dimensioni assortite per conferire maggiore compattezza al calcestruzzo. La ghiaia o il pietrisco non devono contenere impurità, fango, terriccio, polvere; devono avere le superfici scabre, non devono provenire da materiali friabili o gelivi; sono da escludere materiali tufacei e teneri. Il calcare duro, compatto dà ottime ghiaie e ottimi pietrischi; anche il granito e le rocce silicee in genere danno buone ghiaie.

Per la ghiaia ed il pietrisco di genere si prescrive che la ghiaia deve essere ben assortita, formata da elementi resistenti e non gelivi, scevra di sostanze estranee, di parti friabili, terrose o comunque dannose.

L’acqua per gli impasti deve essere limpida, non contenere sali (cloruri e solfati) in percentuale dannosa e non deve essere aggressiva. Sono da escludere le acque di rifiuto e in special modo quelle provenienti da stabilimenti industriali, poiché anomalie nel fenomeno di presa ed indurimento del cemento possono essere provocate da olii, zuccheri, materiale organico. L’acqua di mare non può essere impiegata. Quando sussistono dubbi sull’idoneità dell’acqua da impiegare negli impasti, è opportuno ricorrere ad analisi chimiche.

<b>Progettista</b> C. & S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.	<b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b>							Rev.	Data
								00	Set. 2023
								pag. 10 di 41	

## 5.1 Controlli

Il calcestruzzo, secondo quanto previsto dalle Norme tecniche vigenti, deve essere prodotto da impianti dotati di un sistema di controllo permanente della produzione, certificato da un organismo terzo indipendente riconosciuto. È compito della DL accertarsi che i documenti di trasporto indichino gli estremi della certificazione. Nel caso in cui il calcestruzzo sia prodotto in cantiere occorre che, sotto la sorveglianza della DL, vengano prequalificate le miscele da parte di un laboratorio ufficiale. Sul calcestruzzo dovrà essere eseguito il controllo di accettazione di tipo A secondo quanto previsto dal capitolo 11 delle Norme tecniche.

## 5.2 Tipi di calcestruzzo

I calcestruzzi dovranno essere conformi alla UNI EN 206-1 e UNI 11104.

## 5.3 Classe di resistenza

La classe di resistenza è stata definita in conformità alle Norme tecniche e alla norma UNI EN 206-1: il primo termine definisce la resistenza caratteristica a compressione cilindrica ( $f_{ck}$  per le Norme tecniche e  $f_{ck,cyl}$  per le norme europee) mentre il secondo termine definisce la resistenza caratteristica a compressione cubica ( $R_{ck}$  per le Norme tecniche e  $f_{ck,cube}$  per le norme europee). Le resistenze soddisfano i valori minimi previsti dalla norma UNI 11104 per l’ambiente in cui è previsto che debbano lavorare i vari elementi strutturali.

Il calcestruzzo viene prescritto come calcestruzzo a prestazione garantita e di seguito si riportano le prescrizioni di base.

Normative di riferimento		UNI 11104 (prospetto 1)	UNI 11104 (prospetto 4) e UNI-EN 206.1						UNI-EN 1992-1-1
Tipo	Campi di impiego	Classe di esposizione	Classe di resistenza (caratteristica)	Classe di contenuto in cloruri	Contenuto di aria	$D_{max}$ aggregato (mm)	Classe di consistenza (slump)	Prestazioni aggiuntive	Copriferro nominale
1	Vasche	XA1	C28/35	Cl 0,20	no	32	S5	Cemento Classe 32,5o 42,5 tipo III o IV UNI EN 197-1	40

## 5.4 Classe di esposizione ambientale

In condizioni normali le armature all’interno del calcestruzzo si trovano in una condizione di “passivazione” dovuta alla reazione chimica di idratazione del cemento, che ha tra i risultati lo sviluppo d’idrossido di calcio (calce); esso contribuisce ad innalzare la basicità del calcestruzzo, portandolo a valori di pH superiori a 13. L’elevato pH del conglomerato che si trova direttamente a contatto con le barre di armatura produce una sorta di rivestimento protettivo con notevole capacità isolante. Tale barriera è costituita da uno strato di ossido ferrico compatto, denso, aderente al sottostante strato metallico e impermeabile sia all’ossigeno che all’umidità; la velocità di corrosione risulta, pertanto, contenuta a livelli pressoché trascurabili. Con il termine carbonatazione si intende il processo mediante

<p style="text-align: center;"><u>Progettista</u> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>		
		Rev.	Data
		00	Set. 2023
		pag. 11 di 41	

il quale l’anidride carbonica penetra attraverso il copriferro e reagisce con l’idrossido di calcio presente nella pasta cementizia idratata, determinando una notevole riduzione della basicità del conglomerato sino a valori di pH prossimi a 9. Come conseguenza il ferro di armatura, che si trovava precedentemente in uno stato a pH più elevato, perde la sua “passività”, trasformando lo strato di ossido che avvolge le barre da elemento difensivo a elemento incoerente e poroso, tanto da ridurre drasticamente le caratteristiche protettive. Una volta venuta meno l’impermeabilità della pellicola, i metalli restano direttamente esposti al contatto con l’ambiente che li circonda; con l’apporto di ossigeno e acqua, permeati dalla superficie di un calcestruzzo tendenzialmente poroso, si instaura un processo chimico di ossido-riduzione con l’armatura metallica (catodo) seguito dalla formazione di ruggine, che comporta un aumento di volume pari a circa 7 volte quello iniziale occupato dalla barra. La ruggine genera delle tensioni interne di compressione sul calcestruzzo e delle tensioni di trazione in superficie, determinando la comparsa di fessure superficiali che corrono parallelamente ai ferri di armatura, che aumentano progressivamente e culminano con l’espulsione totale del copriferro negli spigoli (“spalling”) o con la sua delaminazione nelle superfici piane e verticali. In conclusione, va comunque evidenziato come l’innesco della corrosione (una volta che il fronte di carbonatazione ha raggiunto l’armatura distruggendone la naturale protezione) richieda la contemporanea presenza di acqua e ossigeno. La breve analisi del meccanismo di corrosione promossa dalla carbonatazione serve a comprendere meglio la classificazione della UNI 11104, alla base della quale stanno sia le considerazioni appena viste, di carattere teorico, sia una serie di prove sperimentali in laboratorio.

Nel nostro caso, per la definizione della tipologia di degrado cui le strutture sono soggette, sono stati considerati i seguenti parametri:

- Vasche:
  - o *Contenitori di fanghi e vasche di decantazione.*
  - o *Contenitori e vasche per acque reflue.*

### **5.5 Prescrizione del diametro massimo dell’aggregato**

Le Norme Tecniche 2018 prescrivono nel paragrafo 4.1.6.1.3, a proposito dei dettagli costruttivi degli elementi monodimensionali, che “*per consentire un omogeneo getto di calcestruzzo fresco attraverso i ferri, il copriferro e l’interferro delle armature deve essere rapportato alla dimensione massima degli inerti impiegati*”. La norma ENV 206-1 consigliava i seguenti ragionevoli valori del diametro massimo dell’aggregato:

- o  $D_{max} < \text{copriferro in mm moltiplicato per } 1,3$
- o  $D_{max} < \text{interferro in mm} - 5 \text{ mm}$
- o  $D_{max} < \frac{1}{4} \text{ della sezione minima dell’elemento strutturale.}$

Vengono generalmente utilizzati aggregati di dimensione massima inferiore ai 32 mm.

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>		
		Rev.	Data
		00	Set. 2023
		pag. 12 di 41	

### **5.6 Prescrizione della classe di consistenza**

La classe di consistenza rappresenta un indice della lavorabilità del calcestruzzo di lasciarsi introdurre e stendere nella cassaforma, di avvolgere le barre di armatura, di riempire l'interno della forma e di espellere l'eccesso di aria inglobata durante la fase di vibrazione. Per ogni elemento strutturale occorre prescrivere la classe di consistenza appropriata, in funzione della densità dei ferri d'armatura, della geometria e della dimensione dell'elemento strutturale, della metodologia di getto (la pompa riduce la lavorabilità di quasi una classe di consistenza). Nel caso in esame le classi di consistenza sono state stabilite ipotizzando l'utilizzo della pompa. Per la **classe di consistenza S5** si devono accettare abbassamenti al cono di Abrams non superiori a 250 mm. Nel caso che, per motivi legati all'operatività, venga richiesto di utilizzare una classe di consistenza diversa da quella prescritta, può venire autorizzata dalla DL e annotata sull'apposito registro di cantiere, adducendo le motivazioni della variazione. Il mantenimento della consistenza deve essere garantito per un tempo di almeno due ore dalla fine del carico della autobetoniera e comunque non meno di un'ora dall'arrivo dell'autobetoniera in cantiere, tempo in cui l'impresa deve completare lo scarico. Il fornitore di calcestruzzo e l'impresa devono programmare il getto in modo che il produttore cadenzi le consegne per dare il tempo necessario all'impresa di poter mettere in opera il materiale. Sono da evitare interruzioni di getto superiori a un'ora. Nel caso che, durante il getto del calcestruzzo, si manifestino fenomeni di segregazione o eccessiva essudazione, occorre controllare che la prova di bleeding, secondo la norma UNI 7122, dia un valore inferiore a 0,5 l/m<sup>2</sup>/ora.

### **5.7 Aggregati**

Gli aggregati devono essere marcati CE secondo la norma UNI EN 12620 con un sistema di attestazione 2+ e devono essere conformi alla norma UNI 8520-2. Il diametro massimo dell'aggregato grosso prescritto tiene conto degli spessori, delle geometrie e dei copri ferri e interferri degli elementi strutturali. In funzione della disponibilità delle pezzature reperibili dei produttori di calcestruzzo in zona, sono accettabili solo diametri massimi o uguali a quelli prescritti.

### **5.8 Classe di contenuto in cloruri**

Tra quelle previste dalla norma UNI EN 206-1, è stata prescritta la classe che prevede una presenza bassa di cloruri.

### **5.9 Copriferro**

I valori dei copriferri sono stati stabiliti secondo la norma UNI EN 1992-1-1 (sezione 4), in funzione delle classi di esposizione delle classi ambientali. Si ricorda che il valore del copriferro è misurato dal filo esterno delle staffe, per cui se verranno utilizzati distanziatori fissati alle barre longitudinali occorrerà sommare al valore fornito anche il diametro delle staffe ed il raggio della barra. Le tolleranze di esecuzione dei copriferri sono quelle previste dalla norma EN 13670: 2008; è stata considerata una tolleranza  $\Delta C_{dev}$  di 10 mm., come proposto dalla norma UNI EN 1992-1-1.

Il copriferro **MINIMO**  $c_{min}$  che soddisfa sia i requisiti relativi all'aderenza che alla durabilità vale:

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>		
		Rev.	Data
		00	Set. 2023
		pag. 13 di 41	

$$c_{min} = \max [c_{min,b}; (c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}); 10 \text{ mm}]$$

dove:

$c_{min,b}$  copriferro minimo dovuto al requisito di aderenza ( $b = \text{“bond”}$ ) con  $c_{min,b} \geq \emptyset$  dell’armatura, e nel caso di utilizzo di un aggregato con diametro massimo superiore a 32mm, il valore calcolato va incrementato di 5mm;

$c_{min,dur}$  copriferro minimo dovuto alle condizioni ambientali ( $dur = \text{“durability”}$ ); i valori di tale parametro sono stati desunti dalle tabelle 4.3 e 4.4 della suddetta norma;

$\Delta c_{dur,\gamma}$  aumento del copriferro minimo per la durabilità in presenza di additivi (il valore raccomandato è 0).

$\Delta c_{dur,st}$  riduzione del copriferro minimo per la durabilità in presenza di acciaio inox o misure di protezione speciali (il valore raccomandato è 0).

$\Delta c_{dur,add}$  riduzione del copriferro minimo per la durabilità in presenza di protezioni aggiuntive (ad es. tavole di laterizio, intonaco, vernici protettive ecc; il valore raccomandato è 0).

Il copriferro **NOMINALE**  $c_{nom}$ , da considerare nel progetto delle armature e riportare nei disegni esecutivi, è somma:

- del copriferro minimo  $c_{min}$ ,
- della tolleranza di posizionamento delle armature  $\Delta c$ , assunta pari a 10 mm.

Inoltre, per le NT deve essere  $c_{nom} \geq 20 \text{ mm}$ .

Pertanto:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c = \max [c_{min} + (10) \text{ mm}; 20 \text{ mm}]$$

in definitiva si ottiene:

<i>Elemento strutturale</i>	<i>Classe di esposizione</i>	<i>C<sub>min,b</sub> (mm)</i>	<i>C<sub>min,dur</sub> (mm)</i>	<i>min (mm)</i>	<i>C<sub>min</sub> (mm)</i>	<i>Δc</i>	<i>C<sub>nom</sub> (mm)</i>
Vasche	XA1	20	30	10	30	10	<b>40</b>

**N.B.: Si prescrive un copriferro pari a 40 mm.**

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>		
		Rev.	Data
		00	Set. 2023
		pag. 14 di 41	

## 5.10 Messa in opera

La messa in opera del calcestruzzo deve essere conforme alla norma **UNI EN 13670: 2008** nonché alle relative **Linee Guida** del Servizio Tecnico Centrale - Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del Settembre 2016. A tal fine è stata prevista la *classe di esecuzione 1*. In particolare, si raccomanda di utilizzare casseforme di resistenza, rigidità, tenuta e pulizia adeguate per ottenere superfici regolari e prive di difetti superficiali che possano incidere pesantemente sulla capacità del copriferro di proteggere le armature. Per quello che riguarda la messa in opera (tolleranze, giunzioni, assemblaggio) e piegatura (temperatura minima, diametro dei mandrini, ecc.) delle armature, occorre attenersi alle prescrizioni contenute nel cap. 6 della norma UNI EN 13670:2008. I valori di preparazione e getti devono essere completati, ispezionati e documentati come richiesto dalla classe di esecuzione. Le superfici che vengono a contatto con il calcestruzzo fresco non devono avere una temperatura inferiore a 0° C finché questo abbia superato la resistenza a compressione di 5 MPa. Se la temperatura ambientale è prevista al di sotto di 0° C o al di sopra di 30° C al momento del getto o nel periodo di maturazione, occorre prevedere precauzioni per la protezione del calcestruzzo. Il calcestruzzo deve essere compattato a rifiuto in modo che le armature vengano adeguatamente incorporate nella matrice cementizia, l'elemento strutturale assuma la forma imposta dalle casseforme e la superficie del getto sia priva di difetti superficiali. Allo scopo occorre utilizzare vibratori ad ago da inserire ed estrarre verticalmente ogni 50 cm circa, facendo attenzione a non toccare le armature ed a inserire il vibratore ad una profondità tale da coinvolgere gli strati inferiori precedentemente vibrati. Per la scelta effettuata delle classi di consistenza, la durata della vibrazione sarà relativamente bassa.

### 5.10.1 Fornitura del calcestruzzo (§6.3.1 Linee Guida, Servizio Tecnico Centrale C.S.LL.PP.)

La fornitura del calcestruzzo dal mezzo di trasporto al punto di scarico può essere effettuata mediante autobetoniera oppure mediante pompa. Il mezzo di consegna deve essere scelto tenendo in considerazione le caratteristiche del calcestruzzo allo stato fresco, l'elemento da realizzare e di altre informazioni riguardanti la logistica del cantiere quali la distanza tra il punto d'arrivo del mezzo e quello di getto, le condizioni climatiche, la conformazione delle casseforme e del cantiere, le attrezzature di compattazione disponibili e la durata, ovvero il tempo, prevista del ciclo di messa in opera del calcestruzzo. Tali informazioni devono essere fornite dall'impresa esecutrice al produttore di calcestruzzo.

Nel caso delle autobetoniere, queste sono generalmente attrezzate con canalette che consentono la distribuzione diretta del calcestruzzo entro il raggio d'alcuni metri. L'uso della canaletta è idoneo solo nel caso di calcestruzzi aventi classe di lavorabilità S4-S5, oppure nel caso di calcestruzzi autocompattanti (SCC). Al fine di ottenere una corretta messa in opera, la canaletta deve avere pendenza e lunghezza compatibili con la classe di consistenza del calcestruzzo. E' opportuno che, per proteggere il calcestruzzo dal rapido essiccamento, la canaletta sia protetta dal vento e dal sole. Per evitare la segregazione del calcestruzzo, all'atto dello scarico l'impresa esecutrice predispone una idonea tramoggia che accompagni la discesa del calcestruzzo in direzione verticale. La segregazione è

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>		
		<i>Rev.</i>	<i>Data</i>
		00	Set. 2023
		pag. 15 di 41	

infatti provocata non tanto dalla lunghezza della canaletta quanto dalla caduta libera del calcestruzzo alla sua estremità.

Per motivi di sicurezza, le canalette delle autobetoniere devono essere opportunamente vincolate in modo da evitare gli spostamenti laterali. I sostegni della canaletta di cantiere devono essere idonei a sopportare il carico statico e dinamico del calcestruzzo. Durante le operazioni di getto, gli operatori dell’impresa esecutrice devono vietare lo stazionamento e il passaggio al di sotto della canaletta, ed indossare gli idonei DPI.

Successivamente alla fornitura del calcestruzzo gli addetti all’autobetoniera procedono al lavaggio della stessa conservando, di prassi, nel tamburo del mezzo le acque di lavaggio.

L’uso della pompa è anch’esso idoneo solo nel caso di calcestruzzi aventi classe di lavorabilità S4 – S5, oppure nel caso di calcestruzzi autocompattanti (SCC). Le pompe per calcestruzzo, in base alle loro caratteristiche, possono essere così classificate:

- pompe su autocarro, o autocarrate. Rappresentano il tipo di pompa più comune; sono usate nei cantieri in cui il braccio idraulico ha sufficiente spazio per muoversi ed il punto di posa del calcestruzzo è ubicato entro 30-40 metri dalla pompa;
- pompe su autobetoniera, o auto-beton-pompe. Hanno capacità ridotta sia in termini di portata sia di distanza di trasporto. Il loro impiego è dedicato ai cantieri di medio impegno. Spesso pompano il solo calcestruzzo trasportato dalla betoniera stessa, ma il loro impiego non comporta l’impegno di una macchina dedicata;
- pompe carrellate. Sono usate in postazioni fisse, in grossi cantieri che richiedono frequenti pompaggi di consistenti quantitativi di calcestruzzo. Alla pompa sono collegati elementi di tubazione fissi e, in alcuni casi (grattacieli, alte pile di ponti, ecc.), alla loro estremità è collegato un braccio idraulico di distribuzione. Le pompe carrellate trovano impiego anche nei piccoli cantieri ove non c’è spazio sufficiente (es.: nei centri storici) per posizionare una pompa autocarrata e la benna della gru non è in grado di raggiungere i punti di getto.

All’estremità della tubazione metallica di pompaggio generalmente è inserito un tubo flessibile che facilita la distribuzione del calcestruzzo entro le casseforme, ma che, di contro, induce ad una maggiore perdita di carico rispetto a quello metallico. Per motivi di sicurezza si deve evitare di sottoporre la tubazione flessibile a curve strette, ponendo attenzione ai possibili repentini scuotimenti dovuti ad aumenti della pressione di pompaggio.

Anche le tubazioni fisse devono essere disposte dal lavoratore dell’impresa esecutrice secondo un tracciato il più lineare possibile, evitando la formazione di curve strette. Per evitare pericolose espulsioni di calcestruzzo dovute a cedimenti delle tubazioni in pressione, è necessario che l’impresa fornitrice verifichi sistematicamente lo stato delle tubazioni e, in modo particolare, il loro stato di usura, nonché il corretto fissaggio degli elementi di congiunzione.

Nella stagione estiva è bene proteggere le tubazioni dall’esposizione diretta ai raggi solari in modo da limitarne il riscaldamento.

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>	Rev.	Data
		00	Set. 2023
		pag. 16 di 41	

Affinché l’operazione di pompaggio possa procedere in modo soddisfacente, è necessario che l’impasto sia alimentato in modo continuo, risulti uniforme, di buona qualità, omogeneamente mescolato e correttamente dosato, con aggregati di adeguato assortimento granulometrico. È buona norma prevedere un diametro massimo dell’aggregato non eccedente un quarto del diametro della tubazione e non maggiore di 32 mm. Il calcestruzzo, spinto dal movimento alterno dei pistoni, deve poter fluire nelle tubazioni senza contraccolpi, in modo continuo. Nel caso in cui, a seguito delle esigenze di posa in opera, sia necessario interrompere il pompaggio, per impedirne l’intasamento, l’operatore della pompa opera brevi ed alterni movimenti di spinta ed aspirazione del calcestruzzo. Dopo 10÷20 minuti d’interruzione, in relazione alla temperatura dell’ambiente, è necessario che l’operatore pompista effettui la pulizia del sistema.

Il lavoratore dell’impresa fornitrice deve evitare l’impiego della pompa in caso di velocità del vento superiore ai limiti imposti dal fabbricante nel manuale d’uso e manutenzione. Il dirigente/preposto o un incaricato dell’impresa esecutrice dei lavori deve, inoltre, vietare la sosta nei pressi del canale di getto nella fase iniziale del getto stesso e non consentire la sosta e il passaggio nelle immediate vicinanze delle tubazioni poiché la pressione di alimentazione può provocare forti oscillazioni e spostamenti, con conseguente rischio di urti e colpi violenti. Deve, inoltre, verificare che il lavoratore addetto alla tubazione non lasci mai incustodito il terminale di gomma della pompa per prevenire eventuali contraccolpi dovuti a variazioni interne nella pressione di erogazione.

Nell’eventualità di intasamento della tubazione di getto, il lavoratore dell’impresa fornitrice deve effettuare la manovra di disintasamento allontanando la parte terminale della tubazione dagli addetti alla posa, per evitare le conseguenze derivanti da un eventuale “colpo di frusta”, causato dalla pressione immessa.

A parità di portata, per il pompaggio dei calcestruzzi autocompattanti, si deve prevedere una maggiore pressione di quella necessaria al pompaggio dei calcestruzzi ordinari; per non sovraccaricare la pompa è opportuno ridurre la velocità di flusso aumentando la sezione dei tubi.

### **5.10.2 Movimentazione del calcestruzzo (§6.3.2 Linee Guida, Servizio Tecnico Centrale C.S.LL.PP.)**

La distribuzione del calcestruzzo può essere effettuata mediante benna o nastro trasportatore. Come per la fornitura, anche in questo caso, la scelta del mezzo di movimentazione è funzione delle peculiarità dell’opera e in particolare delle caratteristiche del calcestruzzo allo stato fresco, dell’elemento da realizzare, della distanza tra il punto d’arrivo del mezzo e quello di getto, delle condizioni climatiche, della conformazione delle casseforme e del cantiere, delle attrezzature di compattazione disponibili e della velocità d’avanzamento prevista.

La benna o “secchione” permette di movimentare quantità ridotte di calcestruzzo in punti dislocati in modo disperso nella struttura in costruzione. Questa soluzione è preferibile nei casi in cui l’impresa esecutrice operi a quote elevate rispetto al piano di consegna del calcestruzzo e sia installata una gru. La gru permette di distribuire in modo efficace il calcestruzzo entro un ampio raggio d’azione in virtù



<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>		
		<i>Rev.</i>	<i>Data</i>
		00	Set. 2023
		pag. 17 di 41	

della capacità dei movimenti traslatori orizzontali, verticali e rotazionali. I limiti di questo sistema di movimentazione sono la portata ed i vincoli della gru.

Le specifiche del calcestruzzo idoneo ad essere movimentato mediante benna riguardano in generale la classe di consistenza, che deve essere tale da far defluire il calcestruzzo dalla bocca senza segregare (classi S3, S4, S5).

Per distribuire il calcestruzzo entro le casseforme delle strutture verticali, evitando la caduta libera che provoca la segregazione, è consigliabile l’impiego di un tubo getto con tramoggia che, immerso nella superficie del calcestruzzo fresco, ne permetta l’immissione dal basso o, in alternativa, l’applicazione alla bocca di scarico della benna di un tubo di gomma flessibile, avente diametro di 15÷20 cm e lunghezza tale da ridurre la caduta libera del calcestruzzo a meno di 50 cm. Tale metodologia di distribuzione del calcestruzzo implica l’immersione del tubo getto a distanze tra due punti adiacenti di scarico è in funzione della classe di consistenza del calcestruzzo e quindi è particolarmente importante per i calcestruzzi fluidi (classe di consistenza S4 secondo la norma UNI EN 206:2014) e per quelli autocompattanti (le Linee Guida Europee e la Norma UNI EN 206).

La distribuzione mediante nastro è condizionata dalle proprietà del calcestruzzo che non deve segregare, non deve essiccare in modo rilevante e non deve “aderire” al nastro. L’uso del nastro è, infatti, idoneo solo nel caso di calcestruzzi aventi classe di lavorabilità S1 – S2 (eventualmente anche S3). Il nastro di ritorno, ripulito mediante gli specifici raschia-nastro, deve rimanere liberato dalla malta o pasta cementizia. Per evitare la segregazione allo scarico è opportuno predisporre, all’estremità del nastro, una tramoggia che permetta lo scarico verticale.

Nel caso in cui sia necessario utilizzare più di un nastro, per evitare la segregazione, è opportuno inserire una tramoggia per trasferire il calcestruzzo da un nastro all’altro. Per salvaguardare l’omogeneità del calcestruzzo è necessario stabilire ed ottimizzare la velocità di traslazione e la pendenza del nastro.

Questo tipo di movimentazione è idonea per calcestruzzi di consistenza plastica (S3) o meno fluidi, senza limitazioni per la dimensione massima dell’aggregato.

### **5.10.3 Operazioni di getto (§6.3.3 Linee Guida, Servizio Tecnico Centrale C.S.LL.PP.)**

Considerata l’importanza delle operazioni di getto, che riguardano la posa in opera del calcestruzzo e tutte le fasi relative, è necessario stabilire un programma di verifiche comprendenti:

- il coordinamento con la Direzione Lavori, con il progettista, con i laboratori esterni per ispezioni, verifiche, prelievi di campioni e prove a piè d’opera;
- il coordinamento con i fornitori e subappaltatori, con il dovuto anticipo, per la consegna del calcestruzzo delle caratteristiche prescritte;
- nel caso di calcestruzzo preconfezionato, le istruzioni/ordini circa le prestazioni, il programma della fornitura, l’eventuale necessità della pompa con relative caratteristiche;

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>		Rev.	Data
			00	Set. 2023
			pag. 18 di 41	

- l’istruzione agli operatori per organizzare la messa in opera, compattazione e maturazione del calcestruzzo, in funzione dei volumi, delle sequenze e degli spessori dei getti, della distribuzione e compattazione del calcestruzzo, della protezione e maturazione della struttura, delle condizioni climatiche, nonché delle eventuali superfici di contatto.

L’impresa esecutrice è tenuta a comunicare con dovuto anticipo al Direttore dei Lavori il programma dei getti indicando: il luogo di getto, la struttura interessata dal getto, la classe di resistenza e di consistenza del calcestruzzo.

I getti dovrebbero avere inizio solo dopo che il Direttore dei Lavori ha verificato:

- la preparazione e rettifica dei piani di posa;
- la pulizia delle casseforme;
- la posizione e corrispondenza al progetto delle armature e del copriferro;
- la posizione delle eventuali guaine dei cavi di precompressione;
- la posizione degli inserti (giunti, water stop, ecc.);
- la stesura del disarmante sul rivestimento delle casseforme o l’umidificazione a rifiuto delle superfici assorbenti, quali tavole o pannelli multistrato di legno non trattato, dei rivestimenti delle casseforme.

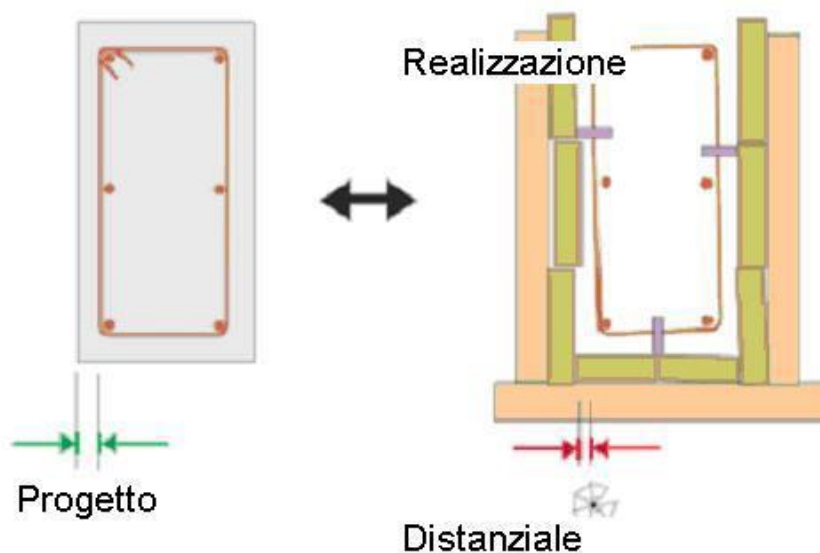


Figura 5-1 - Punti di controllo della cassaforma, dell’armatura e del copriferro

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>	Rev.	Data
		00	Set. 2023
		pag. 19 di 41	

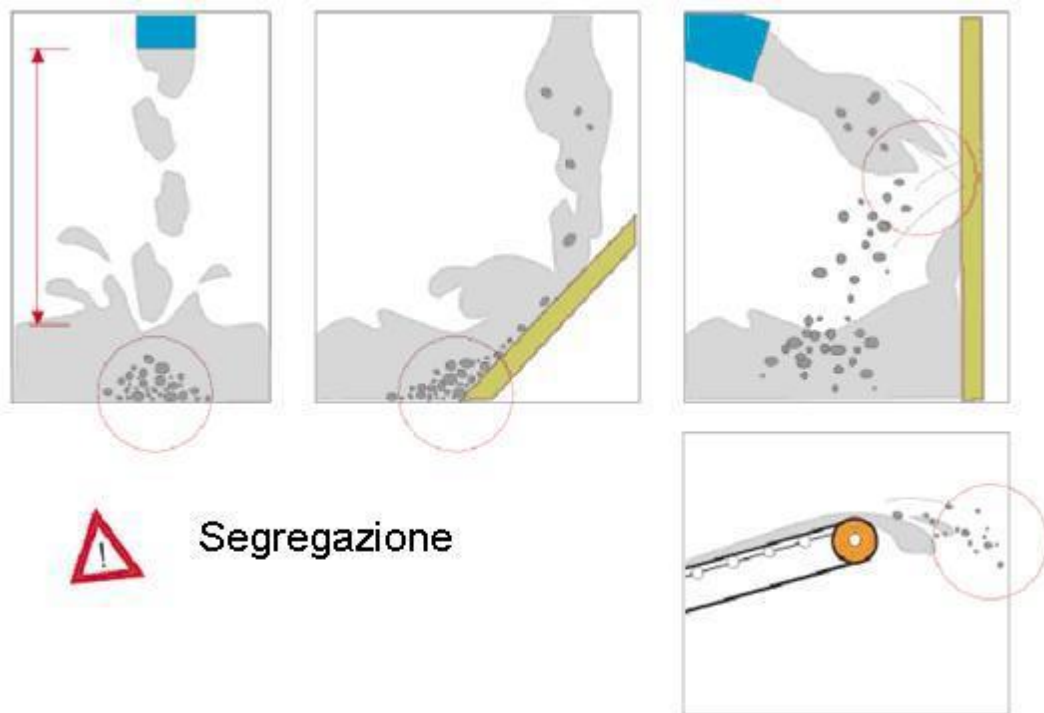


Figura 5-2 - Errori nella posa in opera del calcestruzzo

Nel caso di getti contro terra è bene controllare che siano eseguite, in conformità alle disposizioni di progetto, le seguenti operazioni: la pulizia del sottofondo, la posizione di eventuali drenaggi, la stesa di materiale isolante e/o di collegamento.

Lo scarico del calcestruzzo dal mezzo di trasporto nelle casseforme si effettua applicando tutti gli accorgimenti atti ad evitare la segregazione, come illustrato in Figura 5-2.

È opportuno che l'altezza di caduta libera del calcestruzzo fresco, indipendentemente dal sistema di distribuzione e getto, non ecceda 50-80 cm e che lo spessore degli strati orizzontali di calcestruzzo, misurato dopo la vibrazione, non sia maggiore di 30 cm (Figura 5-3).

Si deve evitare di scaricare il calcestruzzo in cumuli da stendere poi successivamente con l'impiego dei vibratori, in quanto questo procedimento può provocare l'affioramento della pasta cementizia e la segregazione. Per limitare l'altezza di caduta libera del calcestruzzo, è opportuno utilizzare un tubo di getto che rimanga sempre immerso nel calcestruzzo al fine di consentire al calcestruzzo di rifluire verso alto all'interno di quello precedentemente messo in opera. La funzionalità delle attrezzature ausiliarie per la messa in opera è illustrata in Figura 5-4.

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>	Rev.	Data
		00	Set. 2023
		pag. 20 di 41	

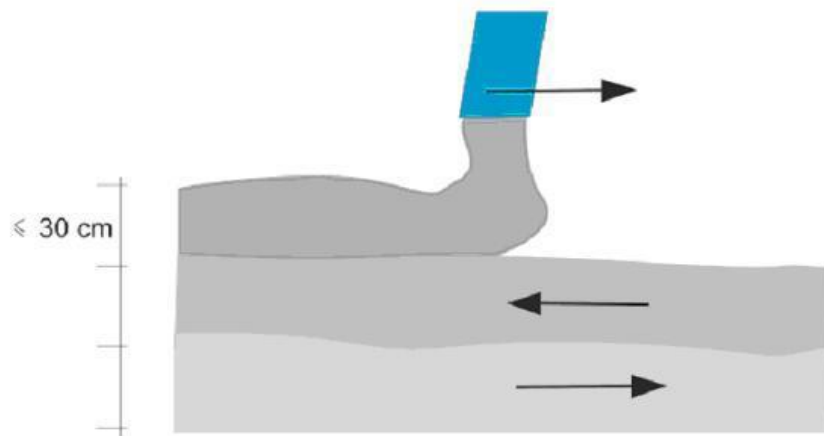


Figura 5-3 - Disposizione e spessore dello strato nel corso della messa in opera

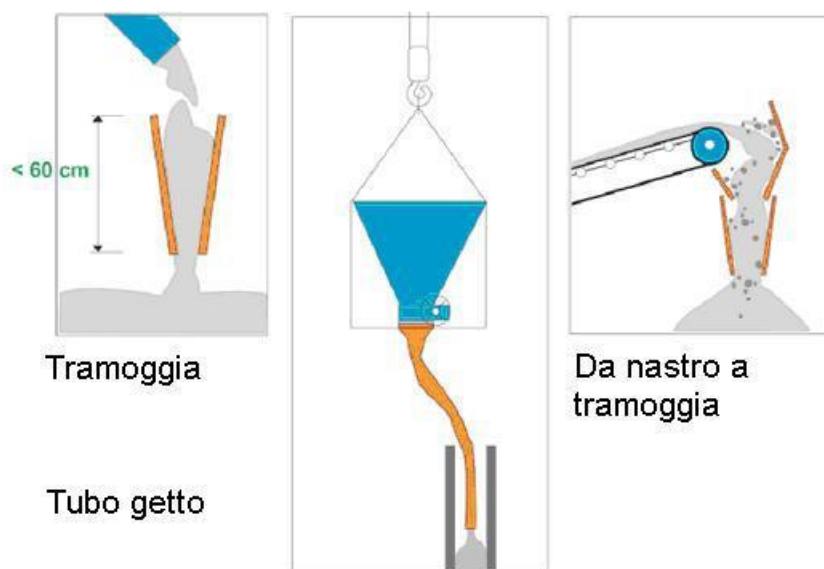


Figura 5-4 - Attrezzature per la messa in opera del calcestruzzo

Nei getti in pendenza è opportuno predisporre dei cordolini d'arresto atti ad evitare la formazione di lingue di calcestruzzo tanto sottili da non poter essere compattate in modo efficace.

Nel caso di getti in presenza d'acqua è opportuno:

- adottare gli accorgimenti atti ad impedire che l'acqua dilavi il calcestruzzo e ne pregiudichi la regolare presa e maturazione;
- provvedere, con i mezzi più adeguati, alla deviazione dell'acqua e adottare miscele di calcestruzzo, coesive, con caratteristiche antidilavamento, preventivamente provate ed autorizzate dal Direttore dei Lavori;
- utilizzare una tecnica di messa in opera che permetta di gettare il calcestruzzo fresco dentro il calcestruzzo fresco precedentemente gettato, in modo da far rifluire il calcestruzzo verso

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>		
		Rev.	Data
		00	Set. 2023
		pag. 21 di 41	

- l’alto, limitando così il contatto diretto tra l’acqua ed il calcestruzzo fresco in movimento, come illustrato in Figura 5-5.

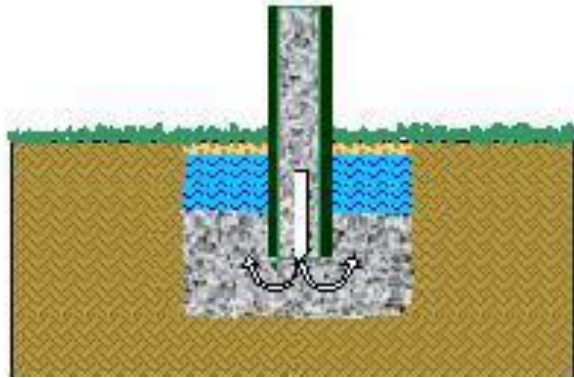


Figura 5-5 - Getto di calcestruzzo in presenza di acqua

Il calcestruzzo autocompattante deve essere gettato nelle casseforme in modo da evitare la segregazione e favorire il flusso attraverso le armature e le parti più difficili da raggiungere nelle casseforme. L'immissione per mezzo di una tubazione flessibile può facilitare la distribuzione del calcestruzzo. Se si usa una pompa, una tramoggia o se si fa uso della benna, il terminale di gomma deve essere predisposto in modo che il calcestruzzo possa distribuirsi omogeneamente entro la cassaforma. Per limitare il tenore d'aria occlusa è opportuno che il tubo di scarico rimanga sempre immerso nel calcestruzzo.

Nel caso di getti verticali ed impiego di pompa, qualora le condizioni operative lo permettano, si suggerisce di immettere il calcestruzzo dal fondo. Questo accorgimento favorisce la fuoriuscita dell'aria e limita la presenza di bolle d'aria sulle superfici dei paramenti in calcestruzzo. L'obiettivo è raggiunto fissando al fondo della cassaforma un raccordo di tubazione per pompa, munito di saracinesca, collegato al terminale della tubazione della pompa.

Un calcestruzzo autocompattante ha una distanza di scorrimento orizzontale che dipende anche dalla densità delle armature.

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>		<p>Rev.    Data</p>
	<p>00</p>	<p>Set. 2023</p>	
			<p>pag. 22 di 41</p>

#### 5.10.4 Riprese di getto (§6.3.4 Linee Guida, Servizio Tecnico Centrale C.S.LL.PP.)

Per quanto possibile, i getti devono essere eseguiti senza soluzione di continuità, in modo da evitare le riprese e conseguire la necessaria continuità strutturale. Per ottenere ciò è opportuno ridurre al minimo il tempo di ricopertura tra gli strati successivi, in modo che, mediante vibrazione, si ottenga la monoliticità del calcestruzzo. Qualora siano inevitabili le riprese di getto, è necessario che la superficie del getto su cui si prevede la ripresa, sia lasciata quanto più possibile corrugata, alternativamente la superficie deve essere scalfita e pulita da eventuali detriti, in modo da migliorare l’adesione con il getto successivo. L’adesione può essere migliorata con specifici adesivi per ripresa di getto (resine), o con tecniche diverse che prevedono l’utilizzo d’additivi ritardanti o ritardanti superficiali da aggiungere al calcestruzzo o da applicare sulla superficie.

Anche se le soluzioni sopraindicate mirano ad ottenere il monolitismo tra i getti successivi, per assicurare la continuità strutturale, le riprese di getto devono essere orientate su piani quanto più possibili ortogonali alla direzione dei flussi di compressione che si destano poi nella struttura in servizio, in modo da garantire un’imposta efficace per tali compressioni (Figura 5-6).

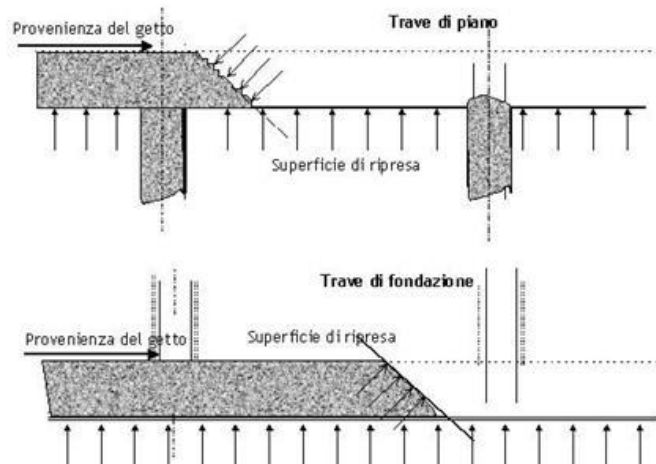


Figura 5-6 - Ripresa di getto in travi di piano e di fondazione

Qualora il getto comporti la messa in opera di più strati, si dovrà programmare la consegna del calcestruzzo in modo che ogni strato sia disposto sul precedente quando questo è ancora allo stato plastico così da evitare i “giunti freddi”. Nel caso di getti di calcestruzzo a vista, le disposizioni, progettuali o di capitolato, devono contenere indicazioni e specifiche riguardanti la posizione e le modalità esecutive delle riprese di getto.

Nelle strutture impermeabili dovrà essere garantita la tenuta all’acqua dei giunti di costruzione con accorgimenti (da indicare nel progetto e nelle prescrizioni di capitolato), quali: l’interposizione di giunti *waterstop*, la continuità del getto, la prescrizione di calcestruzzi a bassa permeabilità, ed eventuali rivestimenti interni della struttura.

<p style="text-align: center;"><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>	Rev.    Data	
		00	Set. 2023
		pag. 23 di 41	

### **5.11 *Maturazione e protezione del calcestruzzo***

Il calcestruzzo, dopo il getto, deve essere protetto contro la veloce evaporazione dell’acqua, al gelo, dagli agenti atmosferici. Nei getti verticali, la stagionatura consiste nel mantenimento delle casseforme, per i getti orizzontali nell’applicazione di teli di plastica per il tempo necessario. Per le opere in progetto si prescrive una classe di stagionatura 2. Eccetto che nel periodo invernale, è consentito utilizzare agenti antievaporanti, facendo attenzione a evitare le riprese di getto. In questo periodo, si prescrive l’utilizzo di teli di plastica, in modo da proteggere il getto, oltre che dall’evaporazione dell’acqua, anche dalle basse temperature. Nel periodo invernale, si consiglia di richiedere al fornitore di calcestruzzo un prodotto con bassi tempi di indurimento, in modo da accorciare i tempi di stagionatura.

In particolare, la maturazione e la protezione del calcestruzzo devono essere conformi alla norma **UNI EN 13670: 2008** nonché alle relative **Linee Guida** del Servizio Tecnico Centrale - Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del Settembre 2016.

Dopo la messa in opera e la compattazione, il calcestruzzo deve essere maturato e protetto dall’essiccamento in modo da:

- evitare modifiche dell’idratazione del cemento;
- ridurre il ritiro in fase plastica e nella fase iniziale dell’indurimento (1 ÷ 7gg);
- far raggiungere un’adeguata resistenza meccanica alla struttura;
- ottenere un’adeguata impervietà, compattezza e durabilità della superficie;
- migliorare la protezione nei riguardi delle condizioni climatiche (temperatura, umidità, ventilazione) e/o danni di tipo meccanico;
- evitare vibrazioni, impatti, o danneggiamenti sia alla struttura che alla superficie, ancora in fase di indurimento.

La maturazione comprende i processi durante i quali il calcestruzzo fresco sviluppa gradualmente le sue proprietà per effetto della progressiva idratazione del cemento. La velocità di idratazione dipende dalle condizioni climatiche d’esposizione e dalle modalità di scambio d’umidità e calore tra il calcestruzzo e l’ambiente. Per consentire una corretta maturazione è necessario mantenere costantemente umida la struttura realizzata.

L’appaltatore è responsabile della corretta esecuzione della maturazione, che potrà essere tenuta sotto controllo mediante:

- la permanenza entro casseri del conglomerato (almeno 3 giorni salvo prescrizioni specifiche del calcestruzzo);
- l’applicazione, sulle superfici libere, di specifici film di protezione mediante la distribuzione nebulizzata di additivi stagionanti (agenti di curing);
- l’irrorazione continua del getto con acqua nebulizzata;
- la copertura delle superfici del getto con fogli di polietilene, sacchi di iuta o tessuto non tessuto mantenuto umido in modo che si eviti la perdita dell’acqua di idratazione;

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>		<p>Rev.    Data</p>
	<p>00    Set. 2023</p>		
	<p>pag. 24 di 41</p>		

- la creazione attorno al getto, con fogli di polietilene od altro, di un ambiente mantenuto saturo di umidità;
- la creazione, nel caso di solette e getti a sviluppo orizzontale, di un cordolo perimetrale (in sabbia od altro materiale rimovibile) che permetta di mantenere la superficie ricoperta da un costante velo d’acqua.

I prodotti filmogeni di protezione non possono essere applicati lungo i giunti di costruzione, sulle riprese di getto o sulle superfici che devono essere trattate con altri materiali.

Al fine di assicurare alla struttura un corretto sistema di maturazione in funzione delle condizioni ambientali, della geometria dell’elemento e dei tempi di disarmo e rimozione delle casseforme previsti, l’appaltatore, previa informazione alla direzione dei lavori, deve eseguire accurate verifiche di cantiere che assicurino l’efficacia delle misure di protezione adottate.

La durata della maturazione protetta dei getti deve essere garantita dai 3 ai 7 giorni consecutivi.

Si definisce “ordinaria” la maturazione del calcestruzzo che avviene a temperatura ambiente (5÷32°C) con esclusione d’ogni intervento esterno di riscaldamento o raffreddamento. Per contro, si definisce maturazione “accelerata” quella che si effettua con sistemi di maturazione ad alta temperatura e/o in particolari condizioni d’umidità e pressione. La maturazione accelerata è utilizzata prevalentemente nella prefabbricazione, permette di ottenere rapidamente le resistenze operative necessarie a movimentare o installare i manufatti.

La presa e l’indurimento del calcestruzzo richiedono la disponibilità di un’idonea quantità d’acqua. L’acqua che è presente nel calcestruzzo fresco, all’atto del getto, deve rimanere disponibile fino a quando il volume iniziale dell’acqua e del cemento non è sostituito dai prodotti d’idratazione. L’idratazione del cemento progredisce solamente se la tensione di vapore dell’acqua contenuta nei pori è prossima al valore di saturazione ( $UR \geq 90\%$ ). Le miscele con un basso contenuto in acqua, possono richiedere, nel corso della maturazione, un apporto esterno d’acqua.

La sensibilità del calcestruzzo nei riguardi della maturazione può dipendere:

- dalla temperatura del calcestruzzo: la velocità d’indurimento a 35° C è doppia di quella che si sviluppa a 20° C che, a sua volta, è doppia di quella che si ha a 10° C;
- dalle condizioni ambientali esterne: umidità relativa, temperatura e velocità del vento.

Il tipico effetto dell’umidità relativa dell’ambiente sulla perdita d’acqua dal calcestruzzo, poco dopo il getto, è illustrato in Figura 5-7 (i valori sono stati rilevati a temperatura dell’aria 21°C e velocità del vento 4,5 m/s).



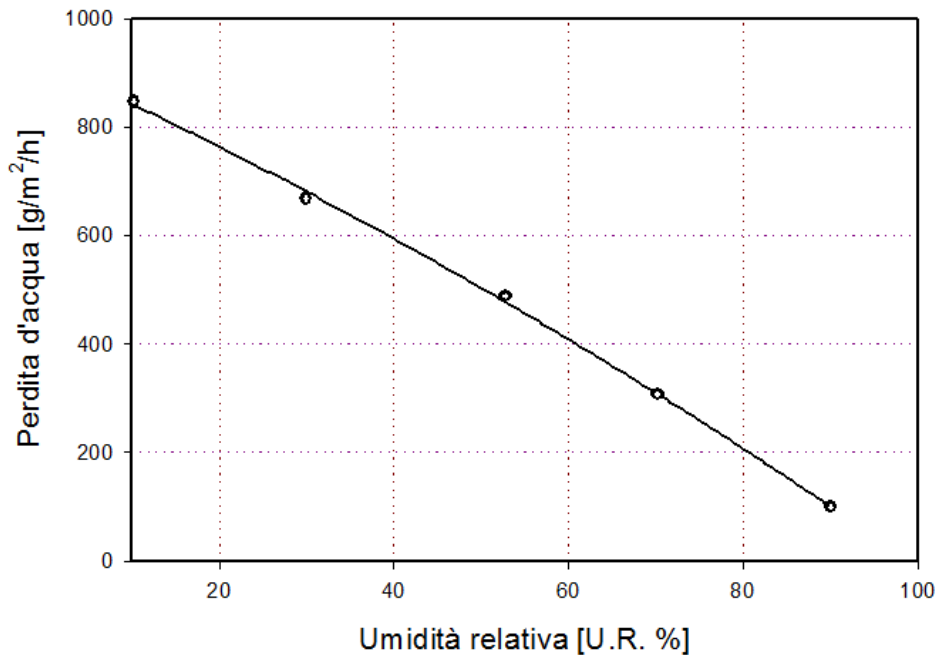


Figura 5-7 - Perdita di acqua dalla superficie del calcestruzzo fresco per effetto dell’umidità relativa dell’ambiente (temperatura dell’aria 21° C; velocità del vento 4,5 m/s)

La durata della maturazione “umida” condiziona lo sviluppo delle resistenze meccaniche. In genere la resistenza dei provini esposti sempre all’aria è molto inferiore rispetto a quella degli stessi provini mantenuti in ambiente saturo d’umidità.

La temperatura elevata del calcestruzzo e dell’ambiente, favorisce, la perdita d’acqua dei getti per evaporazione ma aumenta la velocità di reazione e quindi il grado d’idratazione nel tempo del cemento.

In Figura 5-8 è rappresentato il tipico effetto della temperatura dell’aria sulla perdita d’acqua del calcestruzzo fresco, con umidità relativa dell’aria 70% e velocità del vento 4,5 m/s.

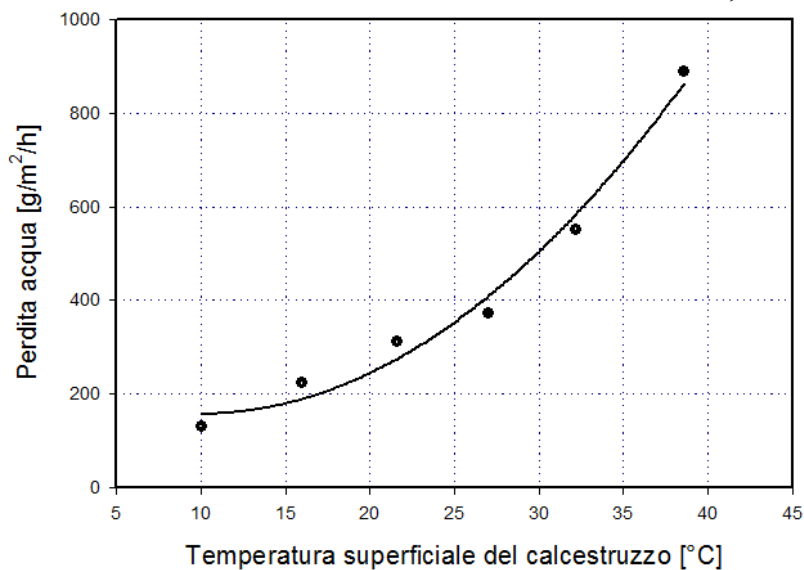


Figura 5-8 - Perdita di acqua del calcestruzzo poco dopo il getto (umidità relativa dell’aria 70%; velocità del vento 4,5 m/s) per effetto della temperatura

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>	Rev.	Data
		00	Set. 2023
		pag. 26 di 41	

La temperatura elevata richiede una corretta maturazione umida del getto, anche se i tempi necessari per raggiungere le resistenze prescritte sono più brevi. La temperatura di maturazione elevata incrementa la resistenza meccanica a breve termine ma può penalizzare quella finale (a lungo termine), a causa di un'idratazione meno completa del cemento.

La Figura 5-9 indica l'influenza della velocità del vento sulla perdita d'acqua dalla superficie del calcestruzzo.

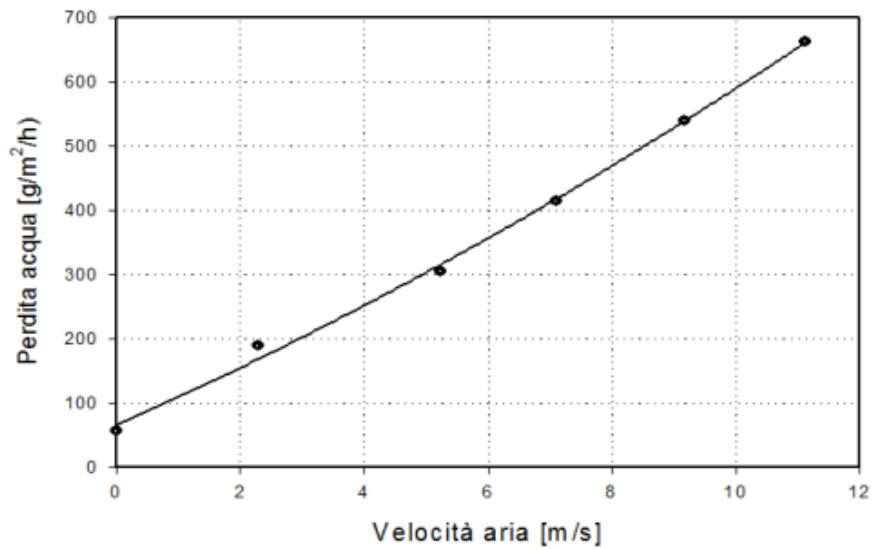


Figura 5-9 - Perdita di acqua del calcestruzzo fresco (umidità relativa 70%; temperatura 21° C) per effetto della velocità del vento

<p align="center"><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>	Rev.	Data
		00	Set. 2023
		pag. 27 di 41	

### **5.11.1 Condizioni di clima particolari (§7.1 Linee Guida, Servizio Tecnico Centrale C.S.LL.PP.)**

Le prescrizioni precedenti di fornitura, di messa in opera, di maturazione e di protezione del calcestruzzo si applicano per le condizioni ambientali correnti.

Particolari precauzioni, definite preventivamente devono essere adottate allorché la temperatura dell’aria misurata in cantiere è inferiore a 5° C (clima freddo) o quando la temperatura del calcestruzzo al momento della sua messa in opera è suscettibile di superare 32° C (clima caldo).

#### *5.11.1.1 Getti in clima freddo*

Si definisce “clima freddo” una condizione climatica in cui, per tre giorni consecutivi, si verifica almeno una delle seguenti condizioni:

- la temperatura media dell’aria è inferiore a 5° C;
- la temperatura dell’aria non supera 10° C per più di 12 ore.

Una temperatura particolarmente rigida può produrre, sulla superficie del calcestruzzo non opportunamente protetta, effetti di sfarinamento o di scagliatura. Occorre dunque adottare opportuni sistemi di protezione dei getti, che possono variare da caso a caso. Le casseforme convenzionali e/o le casseforme evolute con rivestimento in legno sono già per sé stesse dei buoni isolanti, ma se si prevede un clima molto freddo, o si deve gettare una parete o una soletta sottile, può essere necessaria una coibentazione supplementare. Le casseforme con rivestimento metallico non hanno nessun potere isolante, per cui in condizioni ambientali sfavorevoli, necessitano di un adeguato isolamento. Prima del getto si deve verificare che tutte le superfici che saranno a contatto con il calcestruzzo siano a temperatura  $\geq + 5^{\circ}\text{C}$ . La neve ed il ghiaccio, se presenti, devono essere rimossi immediatamente prima del getto dalle casseforme, dalle armature e dal fondo. I getti all’esterno devono essere sospesi dall’impresa esecutrice se la temperatura dell’aria è 0°C; tale limitazione non si applica nel caso di getti in ambiente protetto o in presenza di adeguato isolamento o qualora siano predisposti opportuni accorgimenti efficaci, approvati dalla Direzione Lavori, come ad esempio riscaldare gli ingredienti costituenti il calcestruzzo durante la miscelazione (riscaldare preferibilmente l’acqua, gli aggregati e quando è possibile l’ambiente) per prevenire i citati effetti del clima freddo. A causa del rallentamento dello sviluppo della resistenza meccanica dovuto alle basse temperature il calcestruzzo deve stagionare ad una temperatura del conglomerato cementizio sufficientemente elevata (per es. 10° C) per un tempo sufficientemente lungo (per es. 7 giorni) di maturazione parziale affinché sia eliminabile il rischio degli effetti della gelata. La temperatura del calcestruzzo deve essere mantenuta, ai fini del decorso nel tempo della resistenza meccanica e del rischio causato dalla formazione del ghiaccio, al di sopra di quella ambientale. Fra i sistemi utilizzati per mantenere la temperatura del calcestruzzo dopo il getto al di sopra di quella ambientale si evidenziano:

- prescrivere la temperatura del calcestruzzo all’arrivo in cantiere (alcuni valori di temperatura del calcestruzzo alla consegna con basse temperature dell’ambiente sono dipendenti spesso dalla possibilità di poter riscaldare i costituenti in impianto, per questo motivo per la prescrizione della temperatura va contattato preventivamente il produttore di calcestruzzo per valutarne la fattibilità);

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>		<p><i>Rev.</i></p>	<p><i>Data</i></p>
			<p>00</p>	<p>Set. 2023</p>
	<p><i>pag. 28 di 41</i></p>			

- valutare il raffreddamento del calcestruzzo durante le fasi che costituiscono il ciclo di getto (per es. scarico dall’autobetoniera, movimentazione attraverso gru e/o pompa, nastri, ecc., riempimento della cassaforma);
- mantenere la temperatura del calcestruzzo dopo il getto a 10° C riducendo al minimo la dissipazione del calore di idratazione sviluppato
- progettare un sistema di casseri, anche riscaldati, che non permettono la dissipazione del calore verso l’ambiente esterno accoppiati con appositi sistemi di maturazione .

Il calcestruzzo deve essere quindi protetto dagli effetti del clima freddo durante tutte le fasi di preparazione, trasporto, movimentazione, messa in opera, maturazione.

Prima di disarmare e rimuovere le casseforme in condizioni climatiche fredde si dovrebbero effettuare delle verifiche per quanto riguarda la temperatura del calcestruzzo in maturazione, verificando ad esempio che non sia inferiore a 10° C, in relazione al tempo di fine presa ed alla resistenza alla compressione iniziale.

Il valore della resistenza alla compressione iniziale del calcestruzzo in condizioni climatiche fredde dovrebbe essere controllato mediante prove su cubetti stagionati, confezionati e conservati negli stessi ambienti e nelle stesse condizioni del calcestruzzo in cui è stato messo in opera e in maturazione, quindi non protetti dagli effetti del clima freddo.

Le misure protettive devono essere mantenute almeno finché il periodo pre-indurimento sia completato, così come determinato e confermato dalle prove sui cubetti.

Si può ricorrere, in fase di progettazione del mix design del calcestruzzo, alla riduzione del rapporto acqua/cemento, eventualmente compensato dall’aggiunta di agenti super-fluidificanti e all’uso di idonei additivi acceleranti, coadiuvati, ove necessario, da additivi aeranti, per conseguire la resistenza ai cicli gelo-disgelo (UNI EN 206-1). Nel caso di superfici piane il calcestruzzo deve essere protetto tramite presidi di protezione semplici preposti a trattenere, per quanto possibile, il calore prodotto dall’idratazione e preservare il calcestruzzo fresco dagli eventi atmosferici, quali il vento, la pioggia, il precipitare delle temperature ambiente o alla copertura negli altri casi, evitando in ogni caso qualunque apporto d’acqua sulla superficie.

Si evidenzia come, anche nel caso in cui le condizioni climatiche non portino ad una formazione del ghiaccio subito dopo il getto, il calcestruzzo rimanga comunque esposto al rischio della gelata per un tempo relativamente lungo, almeno fin quando non abbia raggiunto un minimo di resistenza meccanica alla compressione, pari ad almeno 5 N/mm<sup>2</sup>; in questo periodo una gelata potrebbe indurre nel conglomerato danni irreversibili.

Durante le stagioni intermedie e/o in condizioni climatiche particolari (alta montagna) nel corso delle quali c’è comunque possibilità di gelo, tutte le superfici del calcestruzzo vanno protette dal gelo, dopo la messa in opera, per almeno 24 ore. La protezione nei riguardi del gelo durante le prime 24 ore non impedisce comunque un ritardo, anche sensibile, nell’acquisizione delle resistenze nel tempo.

<b>Progettista</b> C. & S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.	<b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b>	Rev.	Data
		00	Set. 2023
		pag. 29 di 41	

Nella seguente Tabella 5-1 sono riportate le temperature minime da garantire per il getto del calcestruzzo nonché la massima velocità di raffreddamento consigliabile, in relazione alle dimensioni del getto.

<b>Dimensione minima della sezione [mm<sup>2</sup>]</b>			
< 300	00 ÷ 900	900 ÷ 1800	> 1800
<b>Temperatura minima del calcestruzzo al momento della messa in opera</b>			
13 °C	10 °C	7 °C	5 °C
<b>Massima velocità di raffreddamento tollerabile per le superfici del calcestruzzo al termine del periodo di protezione</b>			
1,15 °C/h	0,90 °C/h	0,70 °C/h	0,45 °C/h

Tabella 5-1 - Temperature e velocità di raffreddamento consigliate in relazione alle dimensioni della sezione di calcestruzzo

Durante il “periodo freddo” la temperatura del calcestruzzo fresco messo in opera nelle casseforme non dovrebbe essere inferiore ai valori riportati in tabella. In relazione alla temperatura ambientale ed ai tempi di attesa e di trasporto si deve prevedere un raffreddamento di 2÷5° C tra il termine della miscelazione e la messa in opera. Il calcolo della resistenza termica delle casseforme determina i valori necessari per mantenere un elemento costruttivo in calcestruzzo alla temperatura idonea (per es.10° C) per  $n$  giorni, in funzione del dosaggio del cemento, della dimensione minima della struttura e della temperatura ambientale, fino al raggiungimento della resistenza di riferimento prescritta, sia in fase di maturazione che per il disarmo. Al termine del periodo di protezione, necessario alla maturazione, il calcestruzzo deve essere raffreddato gradatamente per evitare il rischio di fessure provocate dalla differenza di temperatura tra parte interna ed esterna. La diminuzione di temperatura sulla superficie del calcestruzzo, durante le prime 24 ore, non dovrebbe superare i valori riportati in tabella. Si consiglia di allontanare gradatamente le protezioni facendo in modo che il calcestruzzo raggiunga gradatamente l’equilibrio termico con l’ambiente.

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>		
		<i>Rev.</i>	<i>Data</i>
		00	Set. 2023
		pag. 30 di 41	

### 5.11.1.2 *Getti in clima caldo*

Il clima caldo influenza la qualità sia del calcestruzzo fresco che di quello indurito. Infatti, provoca una troppo rapida evaporazione dell’acqua di impasto ed una velocità di idratazione del cemento eccessivamente elevata. Le condizioni ambientali che caratterizzano il clima caldo sono:

- temperatura ambiente elevata ( $T_a = \geq 32^\circ \text{C} - \leq 45^\circ \text{C}$ );
- bassa umidità relativa dell’ambiente;
- intensità e incremento velocità del vento  $> 5 \text{ km/h}$ ;
- elevato assorbimento del calore dei raggi solari delle superfici (esposizione ai raggi solari);
- temperatura elevata ( $> 30^\circ \text{C}$ ) del calcestruzzo al momento della sua messa in opera.
- un tasso di evaporazione che supera  $1 \text{ kg} / \text{m}^2 / \text{h}$

I potenziali problemi per il calcestruzzo fresco riguardano:

- aumento del fabbisogno d’acqua;
- veloce perdita di lavorabilità;
- riduzione del tempo di presa con connessi problemi di messa in opera, di compattazione, di finitura e rischio di formazione di giunti freddi;
- tendenza alla formazione di fessure per ritiro plastico;
- difficoltà nel controllo dell’aria inglobata;
- danni all’aspetto superficiale del calcestruzzo;
- riduzione delle attese in termini di resistenza e di durabilità del calcestruzzo;
- necessità di dover ricorrere alle ore notturne per le fasi di getto del calcestruzzo.
- I potenziali problemi per il calcestruzzo indurito riguardano:
  - riduzione della resistenza a 28 giorni e penalizzazione nello sviluppo delle resistenze a scadenze più lunghe, se non ovviato in fase di progettazione del *mix design* del calcestruzzo, sia per effetto del prematuro indurimento del calcestruzzo;
  - maggior ritiro per perdita di acqua;
  - probabile insorgenza di fessure per effetto dei gradienti termici (picco di temperatura interno e gradiente termico verso l’esterno);
  - ridotta durabilità per effetto della diffusa microfessurazione;
  - forte variabilità nella qualità dell’aspetto della superficie dovuta alle differenti velocità di idratazione;
  - maggior permeabilità.

Tutti i punti sopra elencati devono essere quindi considerati in fase di progettazione della struttura e prescrizione del calcestruzzo. Si consiglia di contattare il produttore di calcestruzzo già in fase di

<b>Progettista</b> C. & S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.	<b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b>	Rev.	Data
		00	Set. 2023
		pag. 31 di 41	

progettazione della messa in opera e maturazione dei getti. La progettazione di nuovi calcestruzzi può essere fatta anche in fase di realizzazione nel caso sopraggiungano nuove necessità.

Durante le operazioni di getto la temperatura del calcestruzzo fresco non deve superare 35° C; tale limite dovrà essere convenientemente ridotto nel caso di getti di grandi dimensioni, tenendo conto della maggiore quantità di calore di idratazione prodotto. Esistono diversi metodi per raffreddare il calcestruzzo; il più semplice consiste nell’utilizzo di acqua molto fredda o di ghiaccio in sostituzione di parte dell’acqua d’impasto.

Tuttavia, l’impiego dell’acqua fredda o del ghiaccio per abbassare la temperatura del calcestruzzo nei climi caldi e ridurre la perdita di lavorabilità, non è un’operazione semplice. Può essere utile, in tal caso, il ricorso agli additivi superfluidificanti, agli additivi ritardanti o agli additivi superfluidificanti di tipo ritardante che non incidono tanto sull’abbassamento della temperatura quanto sui tempi di presa e maturazione del calcestruzzo.

### 5.11.2 Sviluppo di calore: getti di massa (§7.2 Linee Guida, Servizio Tecnico Centrale C.S.LL.PP.)

La reazione d’idratazione del cemento è esotermica, conseguentemente la temperatura, specialmente nei getti di grosse dimensioni, nei quali il calore non si disperde rapidamente (condizioni quasi adiabatiche), può raggiungere valori elevati.

Prima l’innalzamento, poi la successiva diminuzione della temperatura, per effetto delle variazioni dimensionali impedito, inducono tensioni di trazione e di compressione tra parti interne ed esterne dei getti, come è illustrato in Figura 5-10 e Figura 5-11.

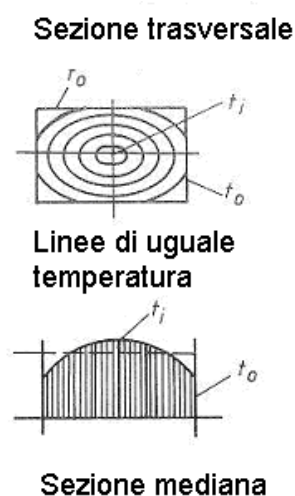


Figura 5-10 - Distribuzione della temperatura dovuta al calore di idratazione

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>	Rev.	Data
		00	Set. 2023
		pag. 32 di 41	

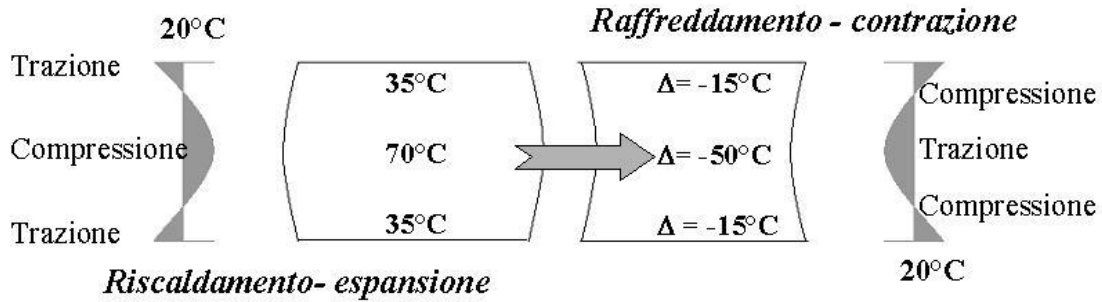


Figura 5-11 - Effetto dei gradienti termici sullo stato di coazione di una sezione di calcestruzzo

Nel periodo iniziale, l’innalzamento termico provocato dall’idratazione, non produce tensioni elevate all’interno del calcestruzzo giacché il modulo elastico è ancora basso e le sollecitazioni sono compensate dalle deformazioni plastiche.

La velocità e l’intensità dello sviluppo di calore del calcestruzzo dipendono dal tipo, classe e dosaggio ( $\text{kg/m}^3$ ) del cemento e dalla presenza di aggiunte attive (es.: ceneri, fumi di silice, loppa), dal dosaggio e natura degli altri costituenti e dalla temperatura iniziale dei materiali. L’innalzamento termico, a sua volta, dipende dalla possibilità di scambio termico del getto e dalle sue caratteristiche geometriche.

Il calore d’idratazione dei cementi, determinato in condizioni isoterme con il metodo per soluzione (*UNI EN.196-8 Metodi per provare i cementi- parte 8 – Calore di idratazione – metodo per soluzione*) ed in condizioni standard di laboratorio, può essere un utile elemento per stimare l’innalzamento termico del calcestruzzo (in condizioni adiabatiche). In Tabella 5-2 sono riportati i valori indicativi del calore d’idratazione per differenti tipi di cemento e classi di resistenza previsti dalla UNI EN 197-1.



<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>		Rev.	Data
			00	Set. 2023
			pag. 33 di 41	

	<i>Cemento: tipo e classe di resistenza</i>						
Tempo (giorni)	CEM VLH 22.5	CEM IV/B 32.5	CEM II/BS 32.5R	CEM II/A-LL 32.5R	CEM IV/A 42.5R	CEM II/A-LL 42.5R	CEM I 52.5R
3		200	225	255	275	285	315
7	220	240	270	300	300	330	355
28	240	275	310	335	315	355	380
90		295	365	360	340	380	400

Tabella 5-2 - Valori indicativi del calore d'idratazione [kJ/kg] di alcuni cementi, determinato con il metodo a soluzione

In condizioni quasi adiabatiche la temperatura massima è raggiunta nel corso della prima settimana di maturazione (3÷7giorni). I calcestruzzi a rapido sviluppo di resistenza ( $R2/R28 > 0.5$ ) sono più critici nei riguardi degli effetti secondari provocati dal calore d'idratazione.

L'effetto degli additivi ritardanti e acceleranti è rilevante nei riguardi dell'innalzamento termico dopo 3÷7 giorni.

L'innalzamento termico in condizioni adiabatiche, in funzione dell'idratazione del cemento e del tempo di maturazione, può essere stimato conoscendo le principali caratteristiche fisiche del cemento e del calcestruzzo, mediante la seguente relazione:

$$\Delta T = \frac{q_t \cdot c}{m \cdot \rho}$$

In cui:  $q_t$  = calore d'idratazione unitario del cemento (kJ/kg)

$c$  = dosaggio del cemento (kg/m<sup>3</sup>)

$m$  = peso specifico (massa volumica) del calcestruzzo [2350÷2450] kg/m<sup>3</sup>

$\rho$  = calore specifico del calcestruzzo [0.87÷1.08] kJ/kg°C

La temperatura massima raggiunta (picco termico) può essere stimata, in prima approssimazione, sommando alla temperatura iniziale del calcestruzzo fresco l'incremento termico dovuto all'idratazione del cemento, calcolato come sopra.

Per un cemento 42.5 R il valore di  $q_t$  a 3 giorni è circa 280 KJ/Kg; ne consegue che, in un calcestruzzo dosato a 330 kg/m<sup>3</sup>, l'innalzamento termico è dell'ordine di:

$$\Delta T = \frac{280 \times 330}{2400 \times 0.97} \cong 40^\circ C$$

Con una temperatura iniziale del calcestruzzo di 25° C, il picco termico raggiunge quindi 65° C.

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>		
		<i>Rev.</i>	<i>Data</i>
		00	Set. 2023
		pag. 34 di 41	

Come regola pratica di cantiere si può assumere che ogni 100 kg/m<sup>3</sup> di dosaggio in cemento di classe 42.5 R (II A/L), provoca nel calcestruzzo un aumento di temperatura di ≈12° C mentre per un cemento 32.5 R il medesimo dosaggio porta ad un incremento di ≈10° C.

La temperatura del calcestruzzo all’interno di un getto non dovrebbe superare 70° C; temperature superiori possono essere ammesse a condizione che siano verificati gli eventuali effetti collaterali sulle altre proprietà del calcestruzzo.

Per limitare le tensioni d’origine termica è necessario controllare gli innalzamenti termici delle diverse parti della struttura, ponendo attenzione alla differenza di temperatura tra le diverse parti stesse, ed evitare o ridurre i vincoli esterni che impediscono le deformazioni.

È opportuno, inoltre, rispettare i seguenti limiti nella struttura:

- temperatura massima del calcestruzzo  $\leq 70^{\circ}$  C;
- $\Delta T_{\max} \leq 20^{\circ}$  C fra le varie parti della struttura;
- $\Delta T_{\max} \leq 15^{\circ}$  C in prossimità dei giunti di costruzione o nelle sezioni di dimensioni molto variabili.

Per limitare il rischio delle fessure superficiali, dovute agli effetti termici, è opportuno proteggere adeguatamente la struttura in modo da ridurre il  $\Delta T$  fra l’interno e l’esterno. Particolare attenzione deve essere posta ai getti di grosse dimensioni, in cui l’inerzia termica della parte interna ed il rapido raffreddamento di quella esterna, può provocare stati di coazione. Il progettista e/o la Direzione Lavori possono prescrivere la verifica degli innalzamenti termici e dei gradienti termici in diversi punti di una sezione di calcestruzzo, facendo predisporre termocoppie all’interno delle casseforme ed opportuni interventi di coibentazione della struttura o di variazione della composizione del calcestruzzo. Un utile contributo può provenire dall’impiego di casseforme termoisolanti e dal ricoprimento delle superfici esposte all’ambiente, con pannelli di materiale termoisolante previa copertura con fogli di polietilene o equivalente, per tutta la durata della maturazione del getto.

Durante il progetto di strutture massive si consiglia di consultarsi con il produttore di calcestruzzo ed i fornitori dei casseri per mettere a punto prescrizioni su calcestruzzo, sistema di cassetta e maturazione, tali da limitare i  $\Delta T$  fra l’interno e l’esterno del manufatto al di sotto valori dei valori che possono provocare fessure da shock termico.

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>		<p>Rev.    Data</p>
	<p>00</p>	<p>Set. 2023</p>	
			<p>pag. 35 di 41</p>

### **5.11.3 Protezione termica durante la maturazione del calcestruzzo fresco (§7.3 Linee Guida, Servizio Tecnico Centrale C.S.LL.PP.)**

A titolo esemplificativo, richiamando peraltro quanto già evidenziato nel paragrafo relativo ai fenomeni di fessurazione e ritiro del calcestruzzo, che richiedono analoghi sistemi di protezione, sono descritti di seguito i più comuni sistemi di protezione termica adottabili nei getti di cantiere:

#### *Cassaforma coibentata*

Il  $\Delta T$  20°C può essere rispettato se si usa una cassaforma con rivestimento isolante, es.: pannello multistrato di legno compensato con spessore non inferiore a 2 cm, o se il getto si trova contro terra.

#### *Sabbia e foglio di polietilene*

La parte superiore del getto di solette e dei getti a sviluppo orizzontale si può proteggere con un foglio di polietilene coperto con 7-8 cm di sabbia. Il foglio di polietilene ha anche la funzione di mantenere la superficie pulita e satura d’umidità.

#### *Immersione in leggero strato d’acqua*

La corretta maturazione di solette e getti a sviluppo orizzontale è assicurata mantenendo costantemente umidi gli stessi elementi costruttivi. Si suggerisce di creare un cordolo perimetrale che permette di mantenere la superficie costantemente ricoperta da alcuni centimetri d’acqua. Occorre porre attenzione, in condizioni di forte ventilazione, alla rapida escursione della temperatura sulla superficie per effetto dell’evaporazione.

#### *Coibentazione con teli flessibili*

Sono ideali nelle condizioni invernali, in quanto permettono di trattenere il calore nel getto, evitando la dispersione naturale; si deve tener conto, tuttavia, che, nella movimentazione, i teli flessibili possono essere facilmente danneggiati. Al fine di assicurare alla struttura un corretto sistema di maturazione in funzione delle condizioni ambientali, della geometria dell’elemento costruttivo strutturale e dei tempi previsti di disarmo e rimozione delle casseforme, occorre prevedere ed eseguire in cantiere una serie di verifiche che assicurino l’efficacia delle misure di protezione adottate.

#### *Geotessuti o tessuto/non tessuto*

Ricoprimento della superficie del calcestruzzo fresco esposta in quanto non a contatto della cassaforma con geotessile o tessuto non tessuto, tenuto costantemente umido. Il metodo può essere adottato in presenza di elevate temperature ambientali «calde», salvo i necessari adeguamenti, nel caso di strutture orizzontali (bidimensionali) quali solette ecc. che in presenza di strutture verticali (tridimensionali) quali i pilastri, le pareti ecc.

#### *Protezione con pannelli coibenti e/o coperte per l’isolamento termico*

Protezione delle superfici del calcestruzzo fresco a contatto della cassaforma e non con pannelli termoisolanti di polistirolo espanso estruso di spessore pari a 50 mm (o con materassini di equivalente resistenza termica). Sulle superfici esposte in quanto non a contatto della cassaforma prima della predisposizione dei materassini termoisolanti coprire la superficie del calcestruzzo fresco con un foglio

<p align="center"><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>	Rev.	Data
		00	Set. 2023
		pag. 36 di 41	

di polietilene. Sono presidi di protezione preposti a trattenere il calore prodotto dall'idratazione e preservare il calcestruzzo fresco dagli eventi atmosferici, quali il vento, la pioggia, il precipitare delle temperature ambientali «fredde».

#### **5.11.4 Disarmo (§7.4 Linee Guida, Servizio Tecnico Centrale C.S.LL.PP.)**

Prima che le casseforme possano essere rimosse, il calcestruzzo deve aver raggiunto una resistenza sufficiente ad auto-portarsi ed a resistere ad eventuali danni meccanici durante il disarmo delle stesse casseforme, ovvero:

- sopportare le azioni applicate;
- evitare che le deformazioni superino le tolleranze specificate;
- resistere ai deterioramenti di superficie dovuti al disarmo.

Le procedure operative e le modalità di disarmo delle casseforme e/o della rimozione delle unità di puntellamento, impalcature di sostegno e centine ecc. devono essere oggetto di un'apposita nota progettuale, redatta dal progettista strutturale dell'opera, riportata nelle specifiche progettuali e delle specifiche tecniche del capitolato.

Durante il disarmo è necessario evitare che la struttura subisca colpi, sovraccarichi e deterioramenti.

I carichi sopportati da ogni unità di puntellamento, centine ed impalcature di sostegno, devono essere rilasciati gradatamente, in modo tale che gli elementi di supporto contigui non siano sottoposti a sollecitazioni brusche ed eccessive ed all'insorgere di azioni dinamiche.

È bene, in genere, procedere alla rimozione delle casseforme dai getti solo quando la maturazione del calcestruzzo (Si veda Appendice informativa UNI EN 13670-2010 punto F8.5 richiamata dal D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008 punto 4.1.7.), sia sufficiente per la realizzazione dei cicli successivi di getto ed abbia raggiunto la resistenza indicata dal progettista per evitare fenomeni fessurativi dovuti anche a ritiro impedito e così pure in funzione della struttura da realizzare, delle procedure e modalità costruttive (es. ancoraggi e dispositivi di sospensione delle casseforme a ripresa)

Per i solai, le travi e gli impalcati è talvolta possibile procedere al disarmo parziale anticipato delle casseforme tenendo conto delle condizioni come sopra già indicate e mantenendo in esercizio le impalcature di sostegno, puntellamenti e/o attrezzature provvisorie di supporto delle casseforme, successivamente al disarmo parziale anticipato delle stesse casseforme, per un periodo definito dal progettista strutturale dell'opera, in relazione alle condizioni che influenzano la maturazione del calcestruzzo

Il disarmo deve essere autorizzato e concordato con la Direzione Lavori che deve attenersi alle indicazioni previste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti e alle condizioni ambientali.

In presenza di alte temperature, nei periodi caldi, è talvolta possibile disarmare le casseforme verticali dopo 16, 24 o 36 ore dalla fine getto.

Questi tempi di disarmo così rapidi richiedono che la stagionatura sia assicurata da accorgimenti concretamente efficaci, al fine di evitare danni irreparabili, quali ad esempio micro e macro-

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>		<p><i>Rev.</i></p>	<p><i>Data</i></p>
			<p>00</p>	<p>Set. 2023</p>
	<p><i>pag. 37 di 41</i></p>			

fessurazioni e creep degli elementi strutturali che possono recare grave pregiudizio per la stabilità e la durabilità delle opere.

Analoga attenzione si deve porre nei periodi freddi, quando le condizioni climatiche rallentano lo sviluppo delle resistenze del calcestruzzo, in particolar modo nel disarmo e rimozione delle casseforme a ripresa e/o delle casseforme e delle relative strutture di sostegno delle solette e delle travi.

In caso di dubbio, è sempre opportuno:

- rilevare in situ i valori della temperatura del calcestruzzo in opera durante il processo di maturazione correlata con il grado di maturazione del calcestruzzo in tempo reale mediante dispositivi di controllo che possono fornire un’indicazione affidabile per la stima della resistenza del calcestruzzo
- verificare la resistenza meccanica reale del calcestruzzo, prima di procedere alla rimozione delle casseforme avendo cura, nella fase di getto, di prelevare un numero sufficiente di campioni, sia per effettuare i controlli ufficiali di accettazione a 28 giorni, ma anche verifiche da 2 a 7 giorni.

I provini di calcestruzzo prelevati per le verifiche della resistenza meccanica a compressione iniziali del calcestruzzo dopo 16, 24, 36 ore e/o da 2 a 7 giorni dal getto devono essere conservati negli stessi luoghi e nelle stesse condizioni ambientali in cui è stato messo in opera.

La resistenza meccanica reale del calcestruzzo in opera può essere determinata con i controlli del grado di compattazione dello stesso calcestruzzo, generalmente incompleta per gli usuali calcestruzzi, relativo a strati specifici (es.: gli strati superiori e/o intermedi. di pareti pilatri pile, ecc.) in relazione ai procedimenti ed alle modalità costruttive.

Il grado di compattazione del calcestruzzo, raggiunto in opera anche dopo un solo giorno dal getto, è possibile determinarlo mediante il confronto tra la misura della massa volumica (peso specifico) di provini, relativi a strati specifici di calcestruzzo, prelevati al momento del getto del calcestruzzo e la misura della massa volumica (peso specifico) di una carota estratta dalla struttura, anche dopo un solo giorno dal getto.

Dal punto di vista operativo, prima di procedere al disarmo ed alla rimozione delle casseforme, per quantificare la resistenza meccanica dopo 16,24,36 ore e/o n giorni < sette giorni dalla fine del ciclo del getto del calcestruzzo, può essere utile, in alternativa al grado di compattazione, applicare un coefficiente di riduzione ( $10\% \geq K \leq 15\%$ ), rispetto ai valori della resistenza meccanica a compressione iniziali del calcestruzzo dopo 16,24,36 ore e/o n giorni < sette giorni.

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>	Rev.	Data
		00	Set. 2023
		pag. 38 di 41	

## 6 PROGETTO DELLA MISCELA DI CALCESTRUZZO

Scopo della seguente progettazione è quello di fornire un’indicazione di massima sul corretto confezionamento del calcestruzzo in modo da garantirne buone doti di durabilità e resistenza dello stesso. La prescrizione riguarda un calcestruzzo a prestazione garantita.

Il volume del calcestruzzo è dato dalla seguente relazione:

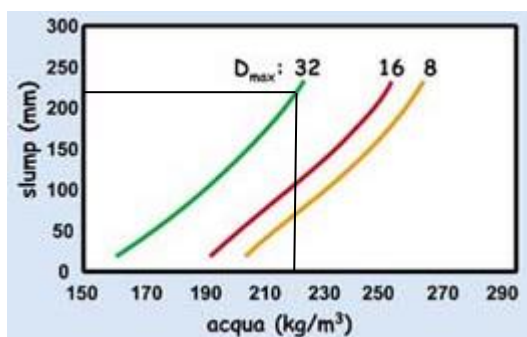
$$V_{cls} = V_c + V_a + V_{a'} + V_i$$

dove:

- $V_{cls} = 1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ l}$
- $V_c = \text{Volume di Cemento } (V_c = c / \rho_c)$  dove  $c$  è il quantitativo di cemento e  $\rho_c$  è la massa volumica del cemento pari a 3,15 Kg/l.
- $V_a = \text{Volume d’acqua d’impasto}$
- $V_{a'} = \text{Volume d’aria d’impasto}$
- $V_i = \text{Volume aggregato}$

### 6.1 Miscela per calcestruzzo C28/35 - XA1 - S5

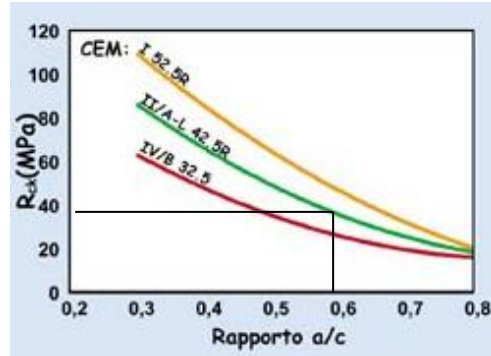
- Calcestruzzo: C28/35
- Cemento tipo: 32,5
- Slump: S5
- Diametro max aggregato: 32 mm
- Quantità ottimale di acqua in funzione del D max aggregato: 220 L (dedotto dal grafico)



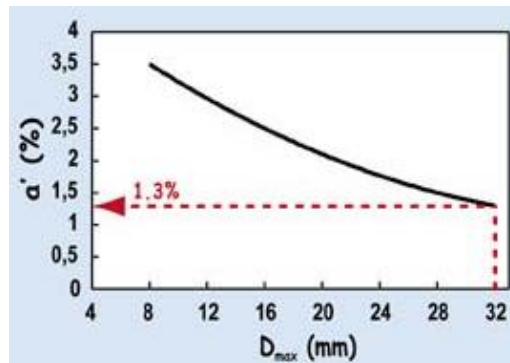
- Aggiunta di acqua per inerti frantumati = 10 L
- Rapporto a/c = 0,55 (da classe di esposizione)
- Rapporto a/c = 0,53 (da tipologia cemento, vedasi grafico seguente)

<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A. PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila Ovest - CUP:B15H22001110005 RELAZIONE SUI MATERIALI</p>	Rev.	Data
		00	Set. 2023
		pag. 39 di 41	

- **Rapporto a/c di progetto = 0,53** (valore minimo tra quello ricavabile in base alla classe di esposizione e quello ricavabile dalla tipologia di cemento)



- Aria inglobata = 1,3% (dedotto dal grafico)



I Volumi assoluti sono pari:

Cemento:  $220/0,53 = 415,1 \text{ Kg/m}^3$

Il volume assoluto degli aggregati misti, di conseguenza sarà pari a:

$$V_i = \left[ 1000 - \frac{415,1}{3,15} - 220 - 13 \right] = 635 \text{ l}$$

Assunto di utilizzare le seguenti tre classi granulometriche, in percentuale rispetto al totale degli aggregati:

15<d<25 ghiaia – Perc. d’impiego 30% - Massa volumica satura a superficie asciutta  $2.704 \text{ Kg/m}^3$

5<d<15 ghiaietto - Perc. d’impiego 30% - Massa volumica satura a superficie asciutta  $2.696 \text{ Kg/m}^3$

0<d<5 sabbia - Perc. d’impiego 40% - Massa volumica satura a superficie asciutta  $2.658 \text{ Kg/m}^3$

Pertanto, il peso specifico  $P_i$  dell’aggregato misto sarà:

$$P_i = (0,3 \times 2704) + (0,3 \times 2696) + (0,4 \times 2658) = 2.683,20 \text{ Kg/m}^3$$

Il peso dell’aggregato totale per  $\text{m}^3$  di calcestruzzo sarà:

$$P_{\text{aggregato}} = 2.683,20 \times 0,635 = 1.703,83 \text{ Kg/m}^3$$

I pesi per ogni singola classe di aggregati, per  $1 \text{ m}^3$  di calcestruzzo, allo stato saturo a superficie asciutta saranno:

<u>Progettista</u> C. & S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.	<b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b>		
		<i>Rev.</i>	<i>Data</i>
		00	Set. 2023
		<i>pag. 40 di 41</i>	

Ghiaia 15/30 =  $1.703,83 \times 0,3 = 511,15 \text{ Kg/m}^3$

Ghiaietto 5/15 =  $1.703,83 \times 0,3 = 511,15 \text{ Kg/m}^3$

Sabbia 0/5 =  $1.703,83 \times 0,40 = 681,53 \text{ Kg/m}^3$

Per 1 m<sup>3</sup> di calcestruzzo progettato la composizione risulta dunque:

Cemento : 415,10 Kg

Acqua : 220,00 Kg

Sabbia 0-5 : 681,53 Kg

Ghiaietto 5-15 : 511,15 Kg

Ghiaia 15-25 : 511,15 Kg

PESO TOTALE TEORICO MISCELA CLS: 2.338,93 kg



<p><i>Progettista</i> C. &amp; S. DI GIUSEPPE Ingegneri Associati S.r.l.</p>	<p><b>G.S.A. Gran Sasso Acqua S.p.A.</b> <b>PNRR – M2C4 I4.4 – Potenziamento depuratore di Scoppito e parte dell’Aquila</b> <b>Ovest - CUP:B15H22001110005</b> <b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b></p>	Rev.	Data
		00	Set. 2023
		pag. 41 di 41	

## 7 ACCIAIO DA CARPENTERIA

### 7.1 Acciaio da carpenteria per HEB, IPE, OMEGA, flange e piastre di collegamento

- Classe di esecuzione UNI EN 1090: **EXC2**
- Tipologia ai sensi delle UNI EN 10025: **S235**
- Resistenza caratteristica a trazione:  $f_{uk} = 360 \text{ N/mm}^2$ ;
- Resistenza caratteristica a snervamento:  $f_{yk} = 235 \text{ N/mm}^2$ ;
- coefficiente di sicurezza per *Resistenza delle sezioni trasversali*:  $\gamma_{M0} = 1.05$ ;
- coefficiente di sicurezza per *Resistenza delle membrature all’instabilità*:  $\gamma_{M1} = 1.05$ ;
- coefficiente di sicurezza per *Resistenza delle sezioni trasversali in tensione per frattura*:  $\gamma_{M2} = 1.25$ ;
- Resistenza di calcolo ( $\gamma_{M0}$  e  $\gamma_{M1}$ ):  $f_{yd} = 223,81 \text{ N/mm}^2$ ;
- Resistenza di calcolo ( $\gamma_{M2}$ ):  $f_{yd} = 188 \text{ N/mm}^2$ ;
- Modulo elastico:  $E = 210000 \text{ N/mm}^2$ ;
- Modulo di Poisson:  $\nu = 0.30$ ;
- Modulo tangenziale:  $G = 81000 \text{ N/mm}^2$ ;
- peso specifico:  $\gamma = 78 \text{ KN/m}^3$ ;
- coefficiente di espansione termica:  $\alpha = 1.20E-05 \text{ 1/}^\circ\text{C}$

**N.B.**: Tutti i profilati metallici saranno sottoposti a zincatura.