

PNC - PNRR: Piano Nazionale Complementare al Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza nei territori colpiti dal sisma 2009-2016, Sub-misura A4, "Investimenti sulla rete stradale statale"

S.S. 502 - S.S. 78 - Belforte del Chienti - Sarnano - Lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in t.s. e potenziamento delle intersezioni. 2° Stralcio. Cod. SIL ACNOAN00114 - Codice CUP F71B22001170001

PROGETTAZIONE DEFINITIVA, ESECUTIVA ED ESECUZIONE LAVORI

cod. **PSL10/22**

PROGETTO DEFINITIVO

RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Prof. Ing. Franco BRAGA
Ordine Ingegneri di Roma n. 7072/A

GEOLOGO:

Dott. Geol. Andrea RONDINARA
Albo regionale del Lazio n. 921

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Davide TALIA
Ordine Ingegneri di Roma n. 29001/B

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Marco MANCINA

PROTOCOLLO

DATA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI IMPRESE:

Mandataria



Mandanti



RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI:

Mandataria



Mandanti



Dott. Geol. Andrea Rondinara

Prestatore del servizio di PMA



OPERE D'ARTE MAGGIORI

Viadotto VI.01

Relazione sui materiali

CODICE PROGETTO

NOME FILE

T01VI01STRRE06A.dwg

REVISIONE

SCALA:

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

--

--

CODICE ELAB. **T01VI01STRRE06**

A

-

A	EMISSIONE	Agosto 2023	Petrucci	Orsini	Braga
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

S.S. 502 – S.S. 78 Belforte del Chienti – Sarnano – Lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in t.s. e potenziamento intersezioni – 2° stralcio. Cod. SIL ACNOAN00114 - Codice CUP F71B22001170001 CIG 95039446B1

PROGETTO DEFINITIVO

Viadotto VI.01 – Relazione sui materiali

INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	6
	3.1 Calcestruzzo	6
	3.1.1 Approccio UNI EN	8
	3.1.2 Approccio NTC-2018	11
	3.1.3 Resistenze minime e resistenze assunte	12
	3.1.4 Resistenze di progetto cls	13
	3.2 Acciaio	14
	3.2.1 Acciaio per cemento armato.....	14
	3.2.2 Acciaio per carpenteria metallica	14

1 PREMESSA

Nella presente relazione si riportano i materiali scelti per la realizzazione delle strutture in progetto e le loro caratteristiche meccaniche.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nella redazione del progetto strutturale si fa riferimento al quadro normativo ai sensi del D. M. 17 gennaio 2018. Il riferimento principale per la determinazione dei carichi agenti sulle strutture, le verifiche di sicurezza degli elementi strutturali di impalcato sarà pertanto:

- D.M. 17 gennaio 2018 - “Norme tecniche per le costruzioni” con la relativa circolare applicativa del 21 Gennaio 2019 n. 7 - “Istruzione per l’applicazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni” (nel seguito **NTC-2018**);
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. n.35 del 11 febbraio 2019) - Istruzioni per l’applicazione dell’“Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

Nei casi in cui le enunciate normative italiane si presentino carenti di informazioni in relazione a particolari studi specifici, si fa riferimento a normative europee ed al sistema degli eurocodici, ed in particolare:

- UNI EN 1990:2006 - EUROCODICE 0 - “Criteri generali di progettazione strutturale” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1991-1-1:2004 - EUROCODICE 1 Parte 1-1 - “Azioni sulle strutture - Pesi per unità di volume; pesi propri e sovraccarichi per gli edifici” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1991-1-4:2005 - EUROCODICE 1 Parte 1-4 - “Azioni in generale - Azioni del vento” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1991-1-5:2004 - EUROCODICE 1 Parte 1-5 - “Azioni in generale - Azioni termiche” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1991-2:2005 - EUROCODICE 1 Parte 2 - “Carichi da traffico sui ponti” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1992-1-1:2005 - EUROCODICE 2 Parte 1-1 - “Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Regole generali e regole per gli edifici” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1997-1:2005 - EUROCODICE 7 parte 1 - “Progettazione geotecnica - Regole generali” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1998-1:2005 - EUROCODICE 8 parte 1 - “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1998-2:2011 - EUROCODICE 8 parte 2 - “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Ponti” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- UNI EN 1998-5:2005 - EUROCODICE 8 parte 5 - “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici” con il relativo NAD del 25.02.2011.

Per quanto concerne le caratteristiche del materiale calcestruzzo armato, si considerano:

- UNI EN 206:2016 - “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità”; • UNI 11104:2016 - “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206”;

- UNI EN 10080:2005 - "Acciaio saldabile per cemento armato - Generalità";
- Normativa antisismica: L. 2.2.74 n.64; D.M. 24.1.86;
- Norme per le costruzioni dei ponti: D.M. 2.8.80; Circolare n. 20977 dell'11.11.80 Min. LL. PP.

Sono infine state applicate le indicazioni contenute nei seguenti quaderni tecnici ANAS per la salvaguardia delle infrastrutture, qualora applicabili:

- Volume I – Quaderno 1 - Valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo
- Volume I – Quaderno 2 - Valutazione delle caratteristiche meccaniche dell'acciaio
- Volume I – Quaderno 3 - Definizione del piano delle indagini
- Volume I – Quaderno 4 - Interventi di ripristino delle condizioni di sicurezza di cordoli e barriere bordo ponte
- Volume II – Quaderno 5 - Interventi di rifacimento dei cordoli con calcestruzzo fibrorinforzato
- Volume II – Quaderno 6 - Interventi di ripristino corticale dei calcestruzzi ammalorati
- Volume II – Quaderno 7 - Interventi locali sugli appoggi
- Volume II – Quaderno 8 - Interventi di ripristino delle condizioni di sicurezza dei giunti

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Di seguito si riportano le caratteristiche dei materiali con cui verranno realizzate le opere in progetto. Tutti i materiali utilizzati dovranno essere corrispondenti alle prescrizioni di legge, ed essere della migliore qualità e posti in opera a regola d'arte.

In fase di realizzazione tutti i materiali e i manufatti di nuova fabbricazione saranno sottoposti alle prove prescritte dalla legislazione vigente presso uno dei laboratori autorizzati, al fine di ottenere la massima garanzia sulla stabilità delle opere. L'esito favorevole di tali prove non esonererà l'appaltatore da ogni responsabilità nel caso in cui, nonostante i risultati ottenuti, non si raggiungano nelle opere finite i prescritti requisiti.

I materiali aventi le caratteristiche appresso specificate garantiscono la sicurezza e la durabilità dell'opera, come previsto dalla norma tecnica di progetto (**NTC-2018** § 11.2.).

3.1 Calcestruzzo

Per il progetto in esame si prevede la realizzazione dei seguenti manufatti:

- pali di fondazione;
- fondazioni;
- strutture di elevazione delle spalle;
- strutture di elevazione delle pile;
- soletta impalcato;
- cordoli impalcato.

Per tali manufatti e per il materiale calcestruzzo si prevede che la produzione venga fatta in regime di controllo di qualità, con lo scopo di garantire il rispetto delle prescrizioni di seguito elencate in termini di resistenza e durabilità. In particolare, la durabilità dell'opera è intesa come la capacità di conservazione delle caratteristiche fisicomeccaniche delle strutture per tutta la vita di servizio prevista in progetto, senza dover far ricorso ad interventi di manutenzione straordinaria durante la sua vita utile.

In tale ottica, di concerto con il committente, si è stabilita una vita utile di 50 anni e, con riferimento alla norma UNI 206-1 e UNI 11104, sono state stabilite le classi di esposizione ambientale per tutti i nuovi manufatti in cemento armato.

Le tabelle seguenti riportano le definizioni delle classi di esposizione per le varie parti di opera.

PROGETTO DEFINITIVO

 prospetto 1 **Classi di esposizione**

Denominazione della classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono corrispondere le classi di esposizione
1 Assenza di rischio di corrosione o attacco		
X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo/disgelo, abrasione o attacco chimico. Per calcestruzzo con armatura o inserti metallici: molto secco.	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità dell'aria molto bassa.
2 Corrosione indotta da carbonatazione		
Nel caso in cui il calcestruzzo contenente armature o inserti metallici sia esposto all'aria e all'umidità, l'esposizione deve essere classificata come segue:		
XC1	Secco o permanentemente acquoso	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità dell'aria bassa. Calcestruzzo costantemente immerso in acqua.
XC2	Acquoso, raramente secco	Superfici di calcestruzzo a contatto con acqua per lungo tempo. Molte fondazioni.
XC3	Umidità moderata	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità dell'aria moderata o elevata. Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia.
XC4	Ciclicamente acquoso e secco	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2.
3 Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare		
Nel caso in cui il calcestruzzo contenente armature o altri inserti metallici sia soggetto al contatto con acqua contenente cloruri, inclusi sali disgelanti, con origine diversa dall'acqua di mare, l'esposizione deve essere classificata come segue:		
XD1	Umidità moderata	Superfici di calcestruzzo esposte a nebbia salina.
XD2	Acquoso, raramente secco	Piscine. Calcestruzzo esposto ad acque industriali contenenti cloruri.
XD3	Ciclicamente acquoso e secco	Parti di ponti esposte a spruzzi contenenti cloruri. Pavimentazioni. Pavimentazioni di parcheggi.

 prospetto 1 **Classi di esposizione (Continua)**

Denominazione della classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono corrispondere le classi di esposizione
4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare		
Nel caso in cui il calcestruzzo contenente armature o altri inserti metallici sia soggetto al contatto con cloruri presenti nell'acqua di mare o con aria che trasporta sali derivanti dall'acqua di mare, l'esposizione deve essere classificata come segue:		
XS1	Esposto ad aria che trasporta salsedine ma non in contatto diretto con acqua di mare	Strutture in prossimità o sulla costa.
XS2	Permanentemente sommerso	Parti di strutture marine.
XS3	Zone esposte alla marea, alle onde e agli spruzzi	Parti di strutture marine.
5 Attacco del gelo/disgelo con o senza agenti antigelo		
Nel caso in cui il calcestruzzo bagnato sia esposto a un attacco significativo dovuto a cicli di gelo/disgelo, l'esposizione deve essere classificata come segue:		
XF1	Moderata saturazione d'acqua, in assenza di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo.
XF2	Moderata saturazione d'acqua, in presenza di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo di strutture stradali esposte al gelo e a nebbia di agenti antigelo.
XF3	Elevata saturazione d'acqua, in assenza di agente antigelo	Superfici orizzontali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo.
XF4	Elevata saturazione d'acqua, in presenza di agente antigelo o acqua di mare	Strade e impalcati da ponte esposti agli agenti antigelo. Superfici di calcestruzzo esposte direttamente a spruzzi contenente agenti antigelo e zone esposte alle onde di strutture marine esposte al gelo.
6 Attacco chimico		
Nel caso in cui il calcestruzzo sia esposto all'attacco chimico che si verifica nel terreno naturale e nell'acqua del terreno, l'esposizione deve essere classificata come segue:		
XA1	Ambiente chimico debolmente aggressivo	Calcestruzzo esposto al terreno naturale e all'acqua del terreno secondo il prospetto 2.
XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo	Calcestruzzo esposto al terreno naturale e all'acqua del terreno secondo il prospetto 2.
XA3	Ambiente chimico fortemente aggressivo	Calcestruzzo esposto al terreno naturale e all'acqua del terreno secondo il prospetto 2.

Sulla base di tali tabelle, sono state definite le classi di esposizione per l'opera in esame.

In particolare:

- pali di fondazione XC2;
- fondazioni XC2;
- strutture di elevazione delle spalle XC4/XS1;
- strutture di elevazione delle pile XC4/XS1;
- soletta impalcato XC3/XS1;
- cordoli impalcato XD3/XF4.

Nel seguito si riporta la determinazione delle resistenze minime da prevedere in progetto in base sia alla Normativa UNI EN che alla Normativa Italiana **NTC-2018**.

3.1.1 Approccio UNI EN

Nel prospetto di seguito riportato sono indicati i valori limite raccomandati per la composizione del calcestruzzo in funzione della classe di esposizione.

prospetto F.1 Valori limite raccomandati per la composizione e le proprietà del calcestruzzo

	Classi di esposizione																	
	Nessun rischio di corrosione o attacco	Corrosione indotta da carbonatazione				Corrosione indotta da cloruri						Attacco da gelo/disgelo				Ambienti chimici aggressivi		
		Acqua di mare		Cloruri diversi dall'acqua di mare		XF 1		XF 2		XF 3		XF 4		XA 1	XA 2	XA 3		
X0	XC 1	XC 2	XC 3	XC 4	XS 1	XS 2	XS 3	XD 1	XD 2	XD 3	XF 1	XF 2	XF 3	XF 4	XA 1	XA 2	XA 3	
Massimo w/c ^{a)}	-	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
Classe di resistenza minima	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
Contenuto minimo di cemento ^{b)} (kg/m ³)	-	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
Contenuto minimo di aria (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0 ^{b)}	4,0 ^{b)}	4,0 ^{b)}	-	-	-
Altri requisiti	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Aggregati in conformità alla EN 12620 con sufficiente resistenza al gelo/disgelo				-	Cemento resistente ai solfati ^{b)}	

a) Quando il calcestruzzo non contiene aria inglobata, si dovrebbe sottoporre a prova la prestazione del calcestruzzo secondo un metodo di prova appropriato rispetto a un calcestruzzo di cui è stata dimostrata la resistenza al gelo/disgelo per la classe di esposizione pertinente.
b) Quando i solfati nell'ambiente comportano classi di esposizione XA2 e XA3, è essenziale utilizzare cemento resistente ai solfati conforme alla EN 197-1 o alle norme nazionali complementari.
c) Quando si applica il concetto del valore k il rapporto massimo w/c e il contenuto minimo di cemento si modificano in conformità al punto 5.2.5.2.

In base alla classe di esposizione definita nel precedente paragrafo, sono state definite le classi di resistenza minime per le varie parti d'opera.

In particolare:

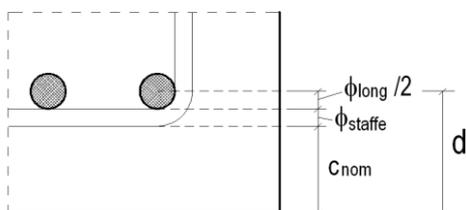
- pali di fondazione (XC2) C25/30;
- fondazioni (XC2) C25/30;
- strutture di elevazione delle spalle (XC4/XS1) C30/37;
- strutture di elevazione delle pile (XC4/XS1) C30/37;
- soletta impalcato (XC3/XS1) C30/37;
- cordoli impalcato (XD3/XF4) C35/45-C30/37.

Ai fini della durabilità degli acciai che realizzano le armature ordinarie, si riporta di seguito il calcolo del copriferro nominale “ c_{nom} ”, inteso come la distanza minima fra la superficie più esterna dell’armatura e la superficie stessa del calcestruzzo, ossia il ricoprimento minimo della armatura più esterna. In particolare:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c = \max (c_{min,b}; c_{min,dur}) + \Delta c$$

dove:

- $c_{min,b}$ = copriferro minimo dovuto al requisito di aderenza come riportato al §4.4.1.2(3) EC2-UNI EN 1992-1-1;
- $c_{min,dur}$ = copriferro minimo dovuto alle condizioni ambientali come riportato al §4.4.1.2(5) EC2-UNI EN 1992-1-1, funzione delle classi di esposizione ambientale e della classe strutturale;
- Δc = tolleranza di posizionamento delle armature = 10 mm.



prospetto 4.2 Copriferro minimo, $c_{min,b}$, richiesto con riferimento all'aderenza

Requisito relativo all'aderenza	
Disposizione delle armature	Copriferro minimo $c_{min,b}$ ^{*)}
Isolate	Diametro della barra
Raggruppate	Diametro equivalente (ϕ_e) (vedere punto 8.9.1)
*) Se la dimensione nominale massima dell'aggregato è maggiore di 32 mm, si raccomanda di aumentare $c_{min,b}$ di 5 mm.	

I diametri delle armature risultano:

- per i pali di fondazione al più pari a 30 mm, per cui si assume $c_{min,b} = 30$ mm;
- per le restanti opere al più pari a 26 mm, per cui si assume $c_{min,b} = 26$ mm.

L'EC2-UNI EN 1992-1-1 al §4.4.1.2(5), per una vita utile di progetto di 50 anni, raccomanda una Classe Strutturale pari a S4; inoltre, il prospetto 4.3N, di seguito riportato, stabilisce le modifiche raccomandate alle classi strutturali in funzione della vita utile, classe di resistenza, posizione delle armature e qualità del calcestruzzo.

prospetto 4.3N Classificazione strutturale raccomandata

Classe Strutturale							
Criterio	Classe di esposizione secondo il prospetto 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1	XD2 / XS1	XD3 / XS2 / XS3
Vita utile di progetto di 100 anni	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi
Classe di resistenza ^{1) 2)}	≥C30/37 ridurre di 1 classe	≥C30/37 ridurre di 1 classe	≥C35/45 ridurre di 1 classe	≥C40/50 ridurre di 1 classe	≥C40/50 ridurre di 1 classe	≥C40/50 ridurre di 1 classe	≥C45/55 ridurre di 1 classe
Elemento di forma simile ad una soletta (posizione delle armature non influenzata dal processo costruttivo)	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe
È assicurato un controllo di qualità speciale della produzione del calcestruzzo	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe

prospetto 4.4N Valori del copriferro minimo, $c_{min,dur}$, requisiti con riferimento alla durabilità per acciai da armatura ordinaria, in accordo alla EN 10080

Requisito ambientale per $c_{min,dur}$ (mm)							
Classe strutturale	Classe di esposizione secondo il prospetto 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Assumendo una classe strutturale S3 per le fondazioni, la soletta e i cordoli dell'impalcato ("elemento di forma simile ad una soletta") ed S4 nei restanti casi, per le classi di esposizione sopra riportate risulta:

- pali di fondazione (XC2) $c_{min,dur} = 25$ mm;
- fondazioni (XC2) $c_{min,dur} = 20$ mm;
- strutture di elevazione delle spalle (XC4/XS1) $c_{min,dur} = 30/35$ mm;
- strutture di elevazione delle pile (XC4/XS1) $c_{min,dur} = 30/35$ mm;
- soletta impalcato (XC3/XS1) $c_{min,dur} = 20/30$ mm;
- cordoli impalcato (XD3/XF4) $c_{min,dur} = 40/40$ mm.

Ne consegue che il copriferro nominale, considerando anche le tolleranze di posizionamento pari a 10 mm, risulta pari a:

- pali di fondazione (XC2) $c_{nom} = 40$ mm;

- fondazioni (XC2) $c_{nom} = 36$ mm;
- strutture di elevazione delle spalle (XC4/XS1) $c_{nom} = 40/45$ mm;
- strutture di elevazione delle pile (XC4/XS1) $c_{nom} = 40/45$ mm;
- soletta impalcato (XC3/XS1) $c_{nom} = 36/40$ mm;
- cordoli impalcato (XD3/XF4) $c_{nom} = 50/50$ mm.

3.1.2 Approccio NTC-2018

Di seguito si riporta quanto espresso nella Circolare n.7 al § C4.1.6.1.3:

“Con riferimento al §4.1.6.1.3 delle NTC, al fine della protezione delle armature dalla corrosione il valore minimo dello strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve rispettare quanto indicato in Tabella C4.1.IV, nella quale sono distinte le tre condizioni ambientali di Tabella 4.1.III delle NTC. [...] A tali valori di tabella vanno aggiunte le tolleranze di posa, pari a 10 mm o minore, secondo indicazioni di norme di comprovata validità [...] Per produzioni di elementi sottoposte a controllo di qualità che preveda anche la verifica dei copriferri, i valori della tabella possono essere ridotti di 5mm”.

Di seguito si riporta la Tabella C4.1.IV della Circolare n.7, in cui per ogni condizione ambientale di esposizione, definita sulla base della classe di esposizione e a quanto riportato nella Tab. 4.1.III delle NTC-18, si riporta il copriferro minimo da utilizzare.

C_{min}	C_o	ambiente	Barre da c.a. per elementi a piastra		Barre da c.a. per altri elementi		Cavi da c.a.p. elementi a piastra		Cavi da c.a.p. altri elementi	
			$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Nella fattispecie, nel caso di “Barre da c.a. per altri elementi”, si ha:

- pali di fondazione (XC2) “ordinario” $C_{min} = C25/30$, $c_{min} = 25$ mm;
- fondazioni (XC2) “ordinario” $C_{min} = C25/30$, $c_{min} = 25$ mm;
- strutture di elevazione delle spalle (XC4/XS1) “aggressivo” $C_{min} = C30/37$, $c_{min} = 35$ mm;
- strutture di elevazione delle pile (XC4/XS1) “aggressivo” $C_{min} = C30/37$, $c_{min} = 35$ mm;
- soletta impalcato (XC3) “ordinario” $C_{min} = C25/30$, $c_{min} = 25$ mm
(XS1) “aggressivo” $C_{min} = C30/37$, $c_{min} = 35$ mm;
- cordoli impalcato (XD3/XF4) “molto aggressivo” $C_{min} = C35/45$, $c_{min} = 45$ mm.

Aggiungendo ai precedenti la tolleranza di posa (10 mm) e sottraendo i 5 mm previsti dalla Circolare 617 per tenere conto della verifica dei copriferri nel controllo di qualità come precedentemente prescritto, risulta che il valore minimo del ricoprimento di calcestruzzo è pari a:

- pali di fondazione (XC2) $c_{nom} = 30$ mm;
- fondazioni (XC2) $c_{nom} = 30$ mm;
- strutture di elevazione delle spalle (XC4/XS1) $c_{nom} = 40$ mm;
- strutture di elevazione delle pile (XC4/XS1) $c_{nom} = 40$ mm;
- soletta impalcato (XC3/XS1) $c_{nom} = 30$ mm / $c_{nom} = 40$ mm;
- cordoli impalcato (XD3/XF4) $c_{nom} = 50$ mm.

3.1.3 Resistenze minime e resistenze assunte

Sulla base delle due procedure sopra riportate, si riportano di seguito, per ogni elemento, la classe di resistenza minima, la classe di esposizione, la consistenza del calcestruzzo, il diametro massimo dell'inerte e il valore del copriferro minimo.

Elemento	Classe di resistenza minima	Classe di esposizione	Classe di consistenza	Massimo rapporto acqua/cemento	Dmax [mm]	Copriferro min [mm]
Pali di fondazione	C25/30	XC2	S4	0.60	30	40
Fondazioni	C25/30	XC2	S4	0.60	27	36
Strutture di elevazione spalle	C30/37	XC4/XS1	S4	0.50	33	45
Strutture di elevazione pile	C30/37	XC4/XS1	S4	0.50	33	45
Soletta impalcato	C30/37	XC3/XS1	S4	0.50	20	40
Cordoli impalcato	C35/45	XD3/XF4	S4	0.50	20	50

Di seguito si riporta una tabella con la sintesi delle proprietà dei materiali assunte in progetto.

<i>Elemento</i>	<i>Classe di resistenza</i>	<i>Classe di esposizione</i>	<i>Classe di consistenza</i>	<i>Massimo rapporto acqua/cemento</i>	<i>Dmax [mm]</i>	<i>Copriferro [mm]</i>
Pali di fondazione	C25/30	XC2	S4	0.60	30	75
Fondazioni	C25/30	XC2	S4	0.60	27	40
Strutture di elevazione spalle	C30/37	XC4/XS1	S4	0.50	33	45
Strutture di elevazione pile	C30/37	XC4/XS1	S4	0.50	33	45
Soletta impalcato	C35/45	XC3/XS1	S4	0.50	20	40
Cordoli impalcato	C35/45	XD3/XF4	S4	0.50	20	50

3.1.4 Resistenze di progetto cls

Pali, Fondazioni: Classe 25/30

$$R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 24.90 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Resistenza di calcolo a compressione: } f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 24.90 \cdot 0.85 / 1.5 = 14.11 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Resistenza di calcolo a trazione: } f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 2.56 \text{ N/mm}^2$$

Elevazioni di spalle e pile: Classe 30/37

$$R_{ck} = 37 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 30.71 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Resistenza di calcolo a compressione: } f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 30.71 \cdot 0.85 / 1.5 = 17.40 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Resistenza di calcolo a trazione: } f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 2.94 \text{ N/mm}^2$$

Soletta e Cordoli Impalcato: Classe 35/45

$$R_{ck} = 45 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 37.35 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Resistenza di calcolo a compressione: } f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 37.35 \cdot 0.85 / 1.5 = 21.17 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Resistenza di calcolo a trazione: } f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 3.35 \text{ N/mm}^2$$

3.2 Acciaio

3.2.1 Acciaio per cemento armato

Si utilizzano barre ad aderenza migliorata in acciaio con le seguenti caratteristiche meccaniche:

acciaio	B450C
tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$;
tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$;
resistenza di calcolo a trazione	$f_{yd} = 391.30 \text{ N/mm}^2$;
modulo elastico	$E_s = 206000 \text{ N/mm}^2$.

3.2.2 Acciaio per carpenteria metallica

Acciaio	S355
Tensione di snervamento	$f_{yk} \geq 355 \text{ N/mm}^2$;
Tensione di rottura	$f_{tk} \geq 510 \text{ N/mm}^2$;
Modulo elastico	$E = 210000 \text{ N/mm}^2$;
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0.3$;
Modulo di elasticità trasversale	$G = E / [2 (1 + \nu)] = 80769.23 \text{ N/m}^2$;
Coefficiente di espansione termica lineare	$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ (per T fino a } 100 \text{ } ^\circ\text{C)}$;
Densità	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$.