

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE
OBIETTIVO N. 443/01
LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA
Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza
PROGETTO ESECUTIVO
PRESIDI ANTI-RUMORE/VIBRAZIONI
BARRIERE ANTIRUMORE DA PK 0+125 A PK 0+3+912 LATO A.V. E L.S.
GENERALE
Relazione di calcolo cordoli e pali di fondazione**

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA -
IL PROGETTISTA INTEGRATORE	Consorzio Iricav Due ing. Guido Fratini Data: Marzo 2021			

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	FOGLIO
I N 1 7	1 0	E	I 2	CL	BA00001	1 0 1	A	- - - P - - -

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
		Marzo 2021

Progettazione:								
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	
A	EMISSIONE	Bellini	31.03.21	Guilarte	31.03.21	Aiello	31.03.21	
								Data: 31.03.2021

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E9100000009	File: IN1710EI2CLBA0001101A.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 2 di 47

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
3	CRITERI DI CALCOLO E VERIFICA.....	6
3.1	Verifiche SLU.....	6
3.2	Verifiche SLE.....	7
4	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	8
4.1	Calcestruzzo per magrone.....	8
4.2	Calcestruzzo.....	8
4.3	Acciaio per cemento armato.....	9
4.4	Durabilità e prescrizioni sui materiali.....	9
4.5	Copriferro minimo e copriferro nominale.....	9
5	PARAMETRI SISMICI.....	10
6	PARAMETRI GEOTECNICI.....	11
7	PALI DI FONDAZIONE.....	12
7.1	Analisi dei carichi.....	12
7.2	Barriera tipo 1 – h = 2.75 m.....	14
7.3	Barriera tipo 2 – h = 6.75 m.....	23
8	TRAVE DI CORONAMENTO.....	32
8.1	Geometria della struttura.....	32
8.2	Azioni agenti.....	32
8.3	Calcolo delle sollecitazioni.....	36
8.4	Combinazioni di carico.....	36
8.5	Sollecitazioni totali.....	37
8.6	Verifiche di resistenza ultima e di esercizio.....	37
8.7	Geometrie e armature travi di coronamento.....	38
8.8	Barriera tipo 1 - h=2.75m.....	39
8.9	Barriera tipo 2 - h=6.75m.....	44

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO		Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 3 di 47

1 PREMESSA

La presente relazione è relativa al calcolo delle opere di fondazione delle barriere anti-rumore/vibrazione prevista nell'ambito dei lavori inerenti la linea AV/AC Torino-Venezia tratta Verona-Vicenza ed ubicate nella tratta dalla pk 0+125 alla pk 3+912 della linea AV/AC.

Di seguito si riportano le principali caratteristiche geometriche dei tratti di barriera.

pk inizio	pk fine	Lato	Barriera	Fondazione	h RILEVATO [m]	h BA [m]
125	305	BP AV	BA01	Cordolo su pali D800	0 (trincea)	6.75
305	780	BP AV	BA02	Cordolo su pali D600	0 (trincea)	2.75
780	1116	BP AV	BA02	MURI RI04-05	-	2.75
1116	1315	BP AV	BA04	MURI RI04-05	-	2.75
1315	1336	BP AV	BA06	VI19	-	2.75
1336	1507	BP AV	BA08A	MURI RI06	-	2.75
1507	1876	BP AV	BA08B	MURI RI06	-	5.75
1876	1947	BP AV	BA08B	Cordolo su pali D800	6,00	5.75
1947	2000	BP AV	BA09	Cordolo su pali D800	6,0-1,0	6.75
2000	2500	BP AV	BA09	Cordolo su pali D800	0,0-3,50	6.75
2500	3163	BP AV	BA11	MURI MITIGAZIONE		2+5.5
3163	3913	BP AV	BA13	Cordolo su pali D800	0,0-3,5	6.75
975	1303	BD AV	BA03	Cordolo su pali D800	0 (zona interclusa AV-LS)	6.75
1303	1348	BD AV	BA05	VIADOTTO VI19	-	4.75
1348	1975	BD AV	BA07	Cordolo su pali D800	0 (zona interclusa AV-LS)	6.75
153+615	154+204	BD LS	BA10	MURI CIR-MITIGAZIONE	-	2+5.5
154+204	154+684	BD LS	BA12	MURI CIR-MITIGAZIONE	-	2+5.5

La presente relazione è relativa alle sole fondazioni dei tratti di barriera in rilevato, costituite da cordoli in c.a. di dimensioni 1.0x1.0m fondate su pali trivellati in c.a. Per i tratti di fondazione su opere d'arte si rimanda alle specifiche relazioni di calcolo.

Le analisi vengono effettuate con riferimento alle seguenti tipologia rappresentative:

Barriera Tipo 1 – h BA = 2.75 m in trincea – Lpali = 8 m – Dpali = 600 mm interasse 3m

Barriera Tipo 2 – h BA = 6.75 m in rilevato (hril max = 6 m) – Lpali = 8 m – Dpali = 800 mm interasse 3m

Le azioni considerate nel calcolo sono quelle tipiche di un'opera di sostegno interrata, con applicazione della Normativa D. M. Min. Il. TT. del 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 10</p>	<p>Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101</p>	<p>Rev. A</p>	<p>Foglio 4 di 47</p>

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 5 di 47

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- UNI EN 197-1 giugno 2001 – “Cemento: composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni”;
- UNI EN 11104 luglio 2016 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”, Istruzioni complementari per l’applicazione delle EN 206-1;
- UNI EN 206-1 ottobre 2006 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- UNI EN 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”;
- UNI EN 1992-1-1 (Eurocodice 2) – Novembre 2005: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1: Regole generali e regole per edifici”;
- D. M. Min. Il. TT. del 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni;
- CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n.617 Istruzione per l’applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008;
- Linee guida sul calcestruzzo strutturale - Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale;
- RFI DTC SI MA IFS 001 A - Manuale di Progettazione delle Opere Civili;
- RFI DTC SI SP IFS 001 A Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili.

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 6 di 47	

3 CRITERI DI CALCOLO E VERIFICA

In ottemperanza al D.M. del 14.01.2008 (Norme tecniche per le costruzioni), i calcoli sono condotti con il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

3.1 Verifiche SLU

Gli stati limite ultimi delle opere interrato si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso, determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno, e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono l'opera.

Le verifiche agli stati limite ultimi devono essere eseguiti in riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO) e di equilibrio di corpo rigido (EQU), collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
- SLU di tipo strutturale (STR), raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

Le verifiche vengono condotte secondo l'approccio progettuale "Approccio 1" e le relative combinazioni previste:

combinazione 1 → (A1+M1+R1) → STR

combinazione 2 → (A2+M2+R2) → GEO

Le combinazioni di carico di tipo A1 STR e A2 GEO vengono effettuate adottando i gruppi di azioni indicati in tabella 5.1.IV delle N.T.C. con i coefficienti parziali di sicurezza stradali indicati in tabella 5.1.V delle N.T.C. e i coefficienti di combinazione dei carichi stradali della tabella 5.1.VI delle N.T.C. presenti al capitolo 5.1.3.12 della norma.

Per quanto riguarda i coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (γ_M), si fa riferimento alla tabella 6.2.II delle N.T.C., mentre per quanto riguarda i coefficienti parziali per le verifiche agli stati limiti ultimi (γ_R) si fa riferimento alla tabella 6.5.I delle N.T.C..

Ai fini delle verifiche degli stati limiti ultimi si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni:

- Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limiti ultimi SLU:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki} \Rightarrow (\Phi_d' = \Phi_k')$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limiti ultimi connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \Rightarrow (\Phi_d' = \Phi_k')$$

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limiti ultimi connessi alla piena dell'Adige:

$$G_1 + G_2 + Ad + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \Rightarrow (\Phi_d' = \Phi_k')$$

Le verifiche sono condotte confrontando le azioni resistenti R_d con le azioni sollecitanti E_d nel rispetto della seguente disuguaglianza $E_d \leq R_d$.

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 7 di 47	

3.2 Verifiche SLE

Le combinazioni di carico allo SLE vengono effettuate adottando i gruppi di azioni indicati in tabella 5.1.IV delle N.T.C. con i coefficienti di combinazione dei carichi stradali della tabella 5.1.VI delle N.T.C. presenti al capitolo 5.1.3.12 della norma.

Ai fini delle verifiche degli stati limiti di esercizio si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni:

$$\text{Quasi permanente} \quad \Rightarrow \quad G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad \Rightarrow \quad (\Phi_d' = \Phi_k')$$

$$\text{Frequente} \quad \Rightarrow \quad G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{1i} \cdot Q_{ki} \quad \Rightarrow \quad (\Phi_d' = \Phi_k')$$

$$\text{Rara} \quad \Rightarrow \quad G_1 + G_2 + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki} \quad \Rightarrow \quad (\Phi_d' = \Phi_k')$$

Le verifiche a fessurazione sono state condotte considerando:

Verifica di formazione delle fessure: la verifica si esegue per la sezione interamente reagente determinando il momento di prima fessurazione e confrontandolo con quello sollecitante; se risulta $M_{cr} < M_{Ed}$ la verifica si considera soddisfatta, altrimenti si procede alla verifica di apertura delle fessure.

Verifica di apertura delle fessure: l'apertura convenzionale delle fessure è calcolata con le modalità indicate nell'Eurocodice 2-1, come indicato dal D. M. Min. II. TT. del 14 gennaio 2008, e valutata con le sollecitazioni relative alla Combinazioni Rara della normativa vigente sui ponti ferroviari. Le massime aperture ammissibili sono:

- condizioni ambientali aggressive e molto aggressive: $w_k \leq w_3 = 0.20 \text{ mm}$
- condizioni ambientali ordinarie: $w_k \leq w_3 = 0.30 \text{ mm}$

In ottemperanza a quanto prescritto dal Manuale di progettazione - Parte II/sezione II, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture si applica come limite di apertura delle fessure $w_k \leq w_3 = 0.20 \text{ mm}$.

Verifica delle tensioni di esercizio: si verifica che le tensioni di lavoro presenti nel calcestruzzo siano inferiori ai seguenti limiti:

- combinazione QP $\sigma_c < 0.40 f_{ck}$;
- combinazione Rara $\sigma_c < 0.55 f_{ck}$,

e che le tensioni di lavoro presenti nell'acciaio siano $\sigma_s < 0.75 f_{yk}$.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 8 di 47

4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per la realizzazione dell'opera è previsto l'impiego dei sottoelencati materiali:

4.1 Calcestruzzo per magrone

Per il magrone di sottofondazione si prevede l'utilizzo di calcestruzzo di classe Rck 15.

4.2 Calcestruzzo

Per la realizzazione dei pali si prevede l'utilizzo di calcestruzzo avente classe di resistenza C25/30 (Rck ≥ 30 N/mm²) che presenta le seguenti caratteristiche:

Resistenza caratteristica a compressione (cilindrica)	$\rightarrow f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$
Resistenza media a compressione	$\rightarrow f_{cm} = f_{ck} + 8 = 33 \text{ N/mm}^2$
Modulo elastico	$\rightarrow E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 31475 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a compressione	$\rightarrow f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \times f_{ck} / 1.5 = 14.16 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione media	$\rightarrow f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} = 2.56 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione	$\rightarrow f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} = 1.79 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione di calcolo	$\rightarrow f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.19 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a compressione (comb. Rara)	$\rightarrow \sigma_c = 0.55 \times f_{ck} = 13.75 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a compressione (comb. Quasi permanente)	$\rightarrow \sigma_c = 0.40 \times f_{ck} = 10.00 \text{ N/mm}^2$

Per la realizzazione delle travi di coronamento, si prevede l'utilizzo di calcestruzzo avente classe di resistenza C28/35 (Rck ≥ 35 N/mm²) che presenta le seguenti caratteristiche:

Resistenza caratteristica a compressione (cilindrica)	$\rightarrow f_{ck} = 28 \text{ N/mm}^2$
Resistenza media a compressione	$\rightarrow f_{cm} = f_{ck} + 8 = 36 \text{ N/mm}^2$
Modulo elastico	$\rightarrow E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 32308 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a compressione	$\rightarrow f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \times f_{ck} / 1.5 = 15.86 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione media	$\rightarrow f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} = 2.76 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione	$\rightarrow f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} = 1.93 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione di calcolo	$\rightarrow f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.29 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a compressione (comb. Rara)	$\rightarrow \sigma_c = 0.55 \times f_{ck} = 15.40 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a compressione (comb. Quasi permanente)	$\rightarrow \sigma_c = 0.40 \times f_{ck} = 11.20 \text{ N/mm}^2$

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 9 di 47

4.3 Acciaio per cemento armato

Per le armature metalliche si adottano tondini in acciaio del tipo B450C saldabile, controllato in stabilimento e che presentano le seguenti caratteristiche:

Proprietà	Requisito
Limite di snervamento f_y	≥ 450 MPa
Limite di rottura f_t	≥ 540 MPa
Allungamento totale al carico massimo A_{gt}	$\geq 7.5\%$
Rapporto f_t/f_y	$1,15 \leq R_m/R_e \leq 1,35$
Rapporto $f_{y \text{ misurato}}/f_{y \text{ nom}}$	$\leq 1,25$

Tensione di snervamento caratteristica	$\rightarrow f_{yk} \geq 450$ N/mm ²
Tensione caratteristica a rottura	$\rightarrow f_{tk} \geq 540$ N/mm ²
Tensione in condizione di esercizio (comb. Rara)	$\rightarrow \sigma_s = 0.75 \cdot f_{yk} = 337.50$ N/mm ²
Fattore di sicurezza acciaio	$\rightarrow \gamma_s = 1.15$
Resistenza a trazione di calcolo	$\rightarrow f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391.30$ N/mm ²

4.4 Durabilità e prescrizioni sui materiali

Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario, esposte all'azione dell'ambiente, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico e derivante dalla corrosione delle armature e dai cicli di gelo e disgelo.

Al fine di ottenere la prestazione richiesta in funzione delle condizioni ambientali, nonché per la definizione della relativa classe, si fa riferimento alle indicazioni contenute nelle Linee Guida sul calcestruzzo strutturale edite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ovvero alle norme UNI EN 206-1:2006 ed UNI 11104:2004.

Per le opere della presente relazione si adotta quanto segue:

<u>Pali</u>	CLASSE DI ESPOSIZIONE	XC2
<u>Travi di coronamento</u>	CLASSE DI ESPOSIZIONE	XC2

4.5 Copriferro minimo e copriferro nominale

Al fine di preservare le armature dai fenomeni di aggressione ambientale, dovrà essere previsto un idoneo copriferro; il suo valore, misurato tra la parete interna del cassero e la generatrice dell'armatura metallica più vicina, individua il cosiddetto "copriferro nominale".

Il copriferro nominale c_{nom} è somma di due contributi, il copriferro minimo c_{min} e la tolleranza di posizionamento h . Vale pertanto: $c_{nom} = c_{min} + h$.

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 10 di 47	

Considerate le condizioni ambientali dell'opera e le classi di resistenza del calcestruzzo, si adotta un copriferro nominale pari a $c_{nom} = 60$ mm per i pali e pari a $c_{nom} = 50$ mm e per le travi di coronamento.

5 PARAMETRI SISMICI

Le opere sono ubicate nel comune di Verona.

I corrispondenti valori delle caratteristiche sismiche per lo SLV ($TR=1424$ anni) sono i seguenti:

$$a_g = 0.233g$$

$$F_0 = 2.434;$$

$$T^*_c = 0.284 \text{ s};$$

Per quanto riguarda il sottosuolo su cui insiste l'opera, si assume che ricada in categoria sismica "C" e categoria topografica "T1". Il coefficiente di amplificazione stratigrafica e topografica risultano quindi:

$$S_S = 1.360$$

$$S_T = 1.0$$

L'accelerazione massima orizzontale viene valutata pari a:

$$a_{max} (SLV) = S a_g = 1.360 \times 1.00 \times 0.233 g = 0.317 g$$

In base al valore dell'accelerazione ed alla categoria sismica del sottosuolo, il valore del parametro β_m è pari a 0.31, da cui si ottiene:

$$k_h = 0.09827$$

$$k_v = 0.049135$$

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 11 di 47

6 PARAMETRI GEOTECNICI

I parametri geotecnici caratteristici impiegati per caratterizzare i materiali da rilevato, sono:

$$\phi'_k = 38^\circ$$

$$\gamma_m = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$$

Per quanto riguarda il terreno di fondazione, in base alle caratteristiche geotecniche riportate nella Relazione Geotecnica Generale con riferimento alla tratta in esame, si assumono i seguenti parametri:

Stratigrafia di progetto

da	a	Descrizione strato
Piano fondazione	2 m	Argille/limi
2 m	10 m	Ghiaie
10 m	28 m	Sabbie
28 m	>28 m	Ghiaie

Parametri geotecnici caratteristici di progetto del terreno di fondazione

Strato	γ_{saturo} [kN/m ³]	ϕ [°]	c' [kPa]	c_u [kPa]	E [MPa]
Argille/limi	19	28	0	-	8
Ghiaie	19	37	0	-	50-80
Sabbie	19	37	0	-	120
Ghiaie	19	37	0	-	>200

Livello di falda

Piano campagna locale (assunzione conservativa).

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 12 di 47

7 PALI DI FONDAZIONE

7.1 Analisi dei carichi

Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari assunti per le verifiche.

Le condizioni elementari di carico di seguito determinate saranno opportunamente combinate secondo quanto previsto dalla normativa vigente.

Per i materiali si assumono i seguenti pesi specifici:

calcestruzzo armato: $\gamma_{c.a.} = 25 \text{ kN/m}^3$

rilevato: $\gamma_t = 20 \text{ kN/m}^3$

7.1.1 Peso proprio strutture

parete $S_s \times \gamma_{c.a.}$

soletta $S_s \times \gamma_{c.a.}$

7.1.2 Spinta del terreno in rilevato

In presenza di cordolo in alzato rispetto al p.c. si considera la spinta del rilevato su di esso.

La spinta delle terre è calcolata con la teoria di Coulomb.

La spinta statica dovuta alla presenza del terrapieno è data da:

$$S_{st} = \frac{1}{2} \times \gamma_t \times H^2 \times K_a$$

in cui:

γ_t = peso volumico del terreno;

H = altezza del terrapieno;

K_a = coefficiente di spinta attiva valutato = $\tan^2 (45-\phi/2)$

Tale spinta è applicata a $1/3$ H.

7.1.3 Azioni trasmesse dalla barriera antirumore

Azioni verticali

Il peso proprio è costituito dal peso dei pannelli fonoassorbenti in acciaio inox e di quelli fonoisolanti in vetro stratificato, oltre che dai montanti.

Di seguito si riportano i pesi impiegati nel calcolo delle sollecitazioni:

pannello fonoassorbenti e fonoisolanti 0.50 kPa

pannello cls 3.60 kPa

montanti in acciaio 1.90 kPa

TOT. 6.00 kPa

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 13 di 47	

Azioni orizzontali

In accordo con quanto previsto dalle NTC 2008 par. 5.2.2.1.1, per quanto riguarda i ponti ferroviari è necessario prevedere le azioni associate all'introduzione di barriere antirumore.

Si prevede l'installazione di una barriera antirumore di altezza 2.75 m da testa muro.

Su tali elementi agiscono sia gli effetti aerodinamici associati al passaggio dei convogli ferroviari, definiti al punto 5.2.2.7, sia l'azione del vento, definita al punto 5.2.2.5.1.

Per quanto riguarda le azioni aerodinamiche, in riferimento al caso di superfici verticali parallele al binario, per una distanza $a_g = 4.30$ m ed una velocità di progetto $v = 300$ km/h, si ottiene un valore caratteristico dell'azione pari a:

$$q_k = 0.65 \text{ kPa}$$

A favore di sicurezza, non vengono applicati i coefficienti riduttivi dipendenti dalla sagoma del treno.

Per quanto riguarda l'azione del vento, in riferimento al paragrafo 3.3 delle NTC, per una Zona 1, categoria di esposizione del sito IV e coefficiente di rugosità B, si ottiene:

$$v_b = v_{b,0} = 25 \text{ m/s} \quad (a_s = 116.40\text{m} < a_0 = 1000 \text{ m per la Zona 1})$$

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2 = 0.5 \times 1.25 \text{ kg/m}^3 \times 25^2 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 390.62 \text{ N/m}^2$$

$$C_e (Z_{\min} = 8\text{m}) = 1.634 \quad (k_r = 0.22; C_t = 1; z = 6.75\text{m} < Z_{\min} = 8\text{m})$$

$$C_p = 0.8$$

$$C_d = 1.0$$

$$p_{\text{vento}} = 390.62 \times 1.634 \times 0.80 \times 1.00 = 510.62 \text{ N/m}^2 = 0.51 \text{ kPa}$$

La somma dei valori ricavati è quindi inferiore al valore minimo, pari a 2.50 kPa per linee con velocità superiore a 200km/h, prescritto nelle "Prescrizioni tecniche integrative e provvisorie per la progettazione delle Barriere Antirumore". Pertanto, si assumerà il valore di progetto:

$$p_{\text{tot}} = p_{\text{vento}} + q_k = 2.50 \text{ kPa}$$

Per quanto riguarda gli SLU, le azioni vengono combinate come indicato al punto 5.2.3.3.1, mentre per quanto riguarda gli SLE le azioni vengono combinate come indicato al punto 5.2.3.3.2 delle NTC.

I due carichi sono considerati come carichi secondari con applicazione dei coefficienti ψ_0 pari a 0.6 per l'azione del vento e 0.8 per la sovraspinta aerodinamica.

7.1.4 Azioni sismiche

Considerando le masse degli elementi strutturali e delle pannellature presenti, l'azione sismica genera sollecitazioni nettamente inferiori rispetto a quelle di vento+sovrappressione dei treni, con le quali non andrebbe comunque combinata.

Considerando infatti $a_{\max} = 0.317g$, ed un peso dei pannelli di 6 kPa, risulterebbe:

$$(p_{\text{sisma}} = 0.317 \times 6.0 = 1.90 \text{ kPa}) < (p_{\text{vento}} = 2.50 \text{ kPa})$$

Anche in termini di spinta del terreno, l'incremento di spinta per azione sismica è inferiore all'incremento mediante i coefficienti parziali sulle azioni allo SLU:

$$(k_{ae} = 0.429) / (k_a = 0.361) = 1.19 < 1.3$$

Pertanto si trascurano gli effetti sulle strutture dovuti alle azioni sismiche in quanto non dimensionanti.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 14 di 47

7.2 Barriera tipo 1 – h = 2.75 m

7.2.1 Azioni di taglio e flessione a testa palo

Di seguito si riportano le azioni a testa palo.

Azioni a testa palo BA 2.75 m

Interasse pali

$$i_p := 3\text{m}$$

Azione del vento

$$p_w := 2.5\text{kPa}$$

$$H_{BA} := 2.75\text{m}$$

$$H_w := p_w \cdot H_{BA} \cdot i_p = 20.625\text{ kN}$$

$$M_w := \frac{p_w \cdot H_{BA}^2}{2} \cdot i_p = 28.359\text{ kN}\cdot\text{m}$$

Azioni di progetto a testa palo

SLU

$$H_{Ed.SLU} := 1.5H_w = 30.938\text{ kN}$$

$$M_{Ed.SLU} := 1.5M_w = 42.539\text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$s := \frac{M_{Ed.SLU}}{H_{Ed.SLU}} = 1.375\text{ m}$$

SLE

$$H_{Ed.SLE} := H_w = 20.625\text{ kN}$$

$$M_{Ed.SLE} := M_w = 28.359\text{ kN}\cdot\text{m}$$

7.2.2 Verifiche strutturali

Le sollecitazioni nei pali di fondazione vengono calcolate secondo lo schema statico di trave su suolo elastico alla Winkler con rotazione libera in testa, di lunghezza complessiva pari alla lunghezza effettiva dei pali ed aventi la medesima inerzia del palo, larghezza pari al diametro del palo.

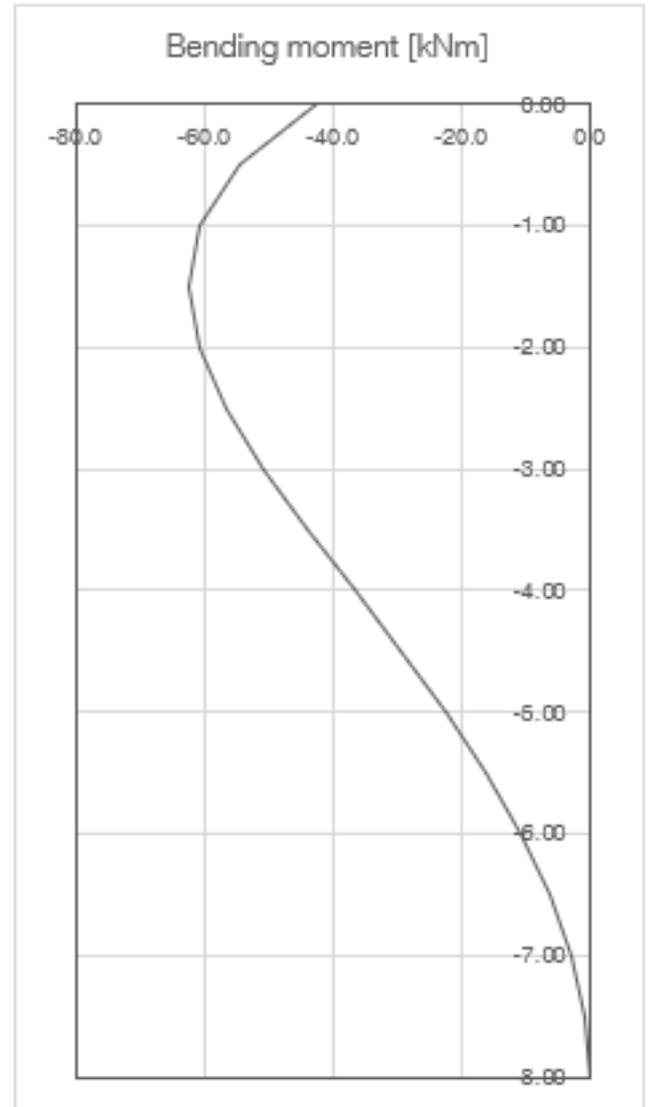
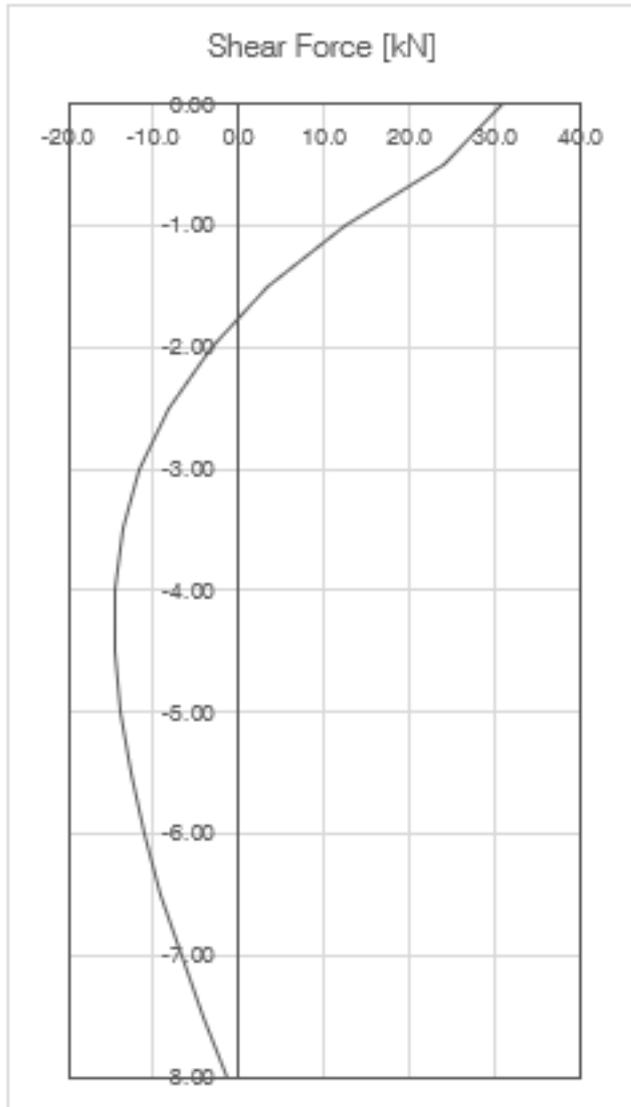
Per quanto riguarda il comportamento dei pali alle azioni orizzontali, si fa riferimento ad un modulo di reazione orizzontale del terreno uniforme con la profondità, assunto pari a $k=E/d = 8000\text{ kPa} / 0.6\text{ m} \sim 13000\text{ kN/m}^3$.

Si considera la testa del palo coincidente con l'intradosso della trave di coronamento dei pali.

RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 15 di 47
----------------------	------------------	-------------	--	-----------	--------------------

Verifiche SLU

Calcolo delle sollecitazioni

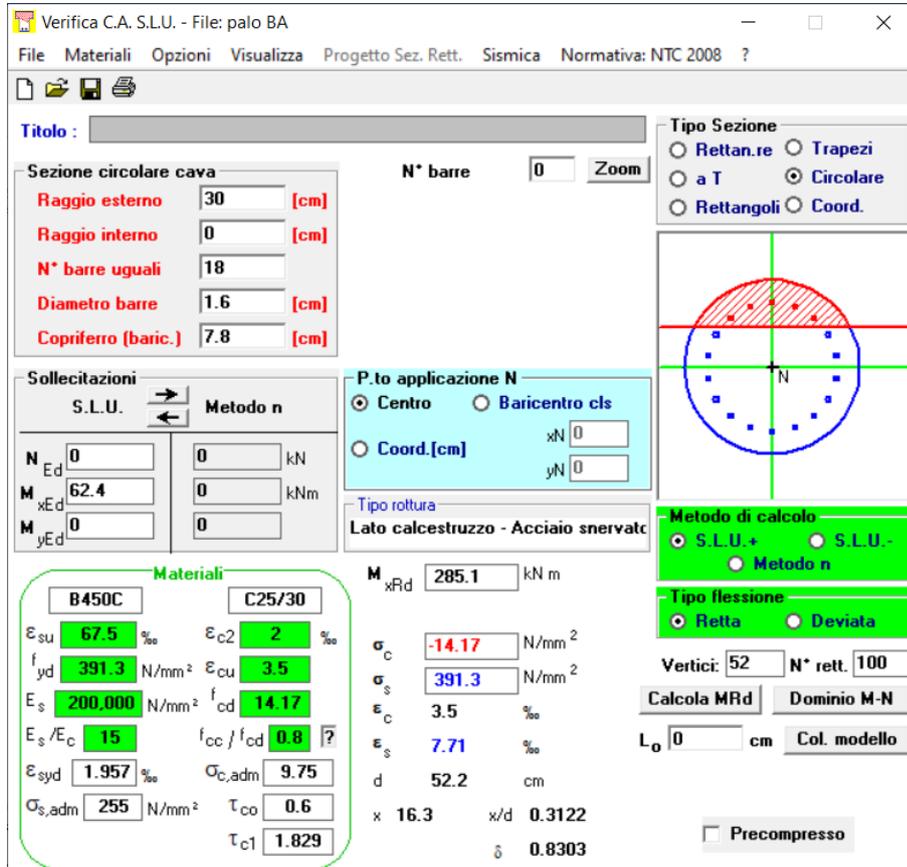


Sollecitazioni SLU

$V_{Ed} = 30.9$ kN a testa palo

$M_{Ed} = 62.4$ kNm a 1.5 m da testa palo

Verifica a flessione



Sezione circolare cava

Raggio esterno: 30 [cm]
 Raggio interno: 0 [cm]
 N° barre uguali: 18
 Diametro barre: 1.6 [cm]
 Copriferro (baric.): 7.8 [cm]

N° barre: 0 Zoom

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 kN
 M_{xEd}: 62.4 kNm
 M_{yEd}: 0 kNm

P.to applicazione N: Centro (selected), Baricentro cls, Coord.[cm]

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C, C25/30

ε_{su}: 67.5 ‰, ε_{c2}: 2 ‰, f_{yd}: 391.3 N/mm², E_{cu}: 3.5 ‰, E_s: 200.000 N/mm², f_{cd}: 14.17, E_s/E_c: 15, f_{cc}/f_{cd}: 0.8, ε_{syd}: 1.957 ‰, σ_{c,adm}: 9.75, σ_{s,adm}: 255 N/mm², τ_{co}: 0.6, τ_{c1}: 1.829

M_{xRd}: 285.1 kNm

σ_c: -14.17 N/mm²
 σ_s: 391.3 N/mm²
 ε_c: 3.5 ‰
 ε_s: 7.71 ‰

Vertici: 52 N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀: 0 cm Col. modello

Precompresso

$$M_{Ed} < M_{Rd}$$

Verifica soddisfatta

Verifica a taglio

La verifica è condotta trascurando l'armatura a taglio; in accordo alla relazione di Kowalsky & Priestly (2000) si considera una sezione resistente pari all'80% di quella nominale.

$$V_{Ed} = 30.9 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = v_{min} \cdot A_v = 79 \text{ kN}$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{1.5} \cdot f_{ck}^{0.5} = 0.35 \text{ MPa}$$

$$k = 1 + (200/522)^{0.5} = 1.61$$

$$f_{ck} = 25$$

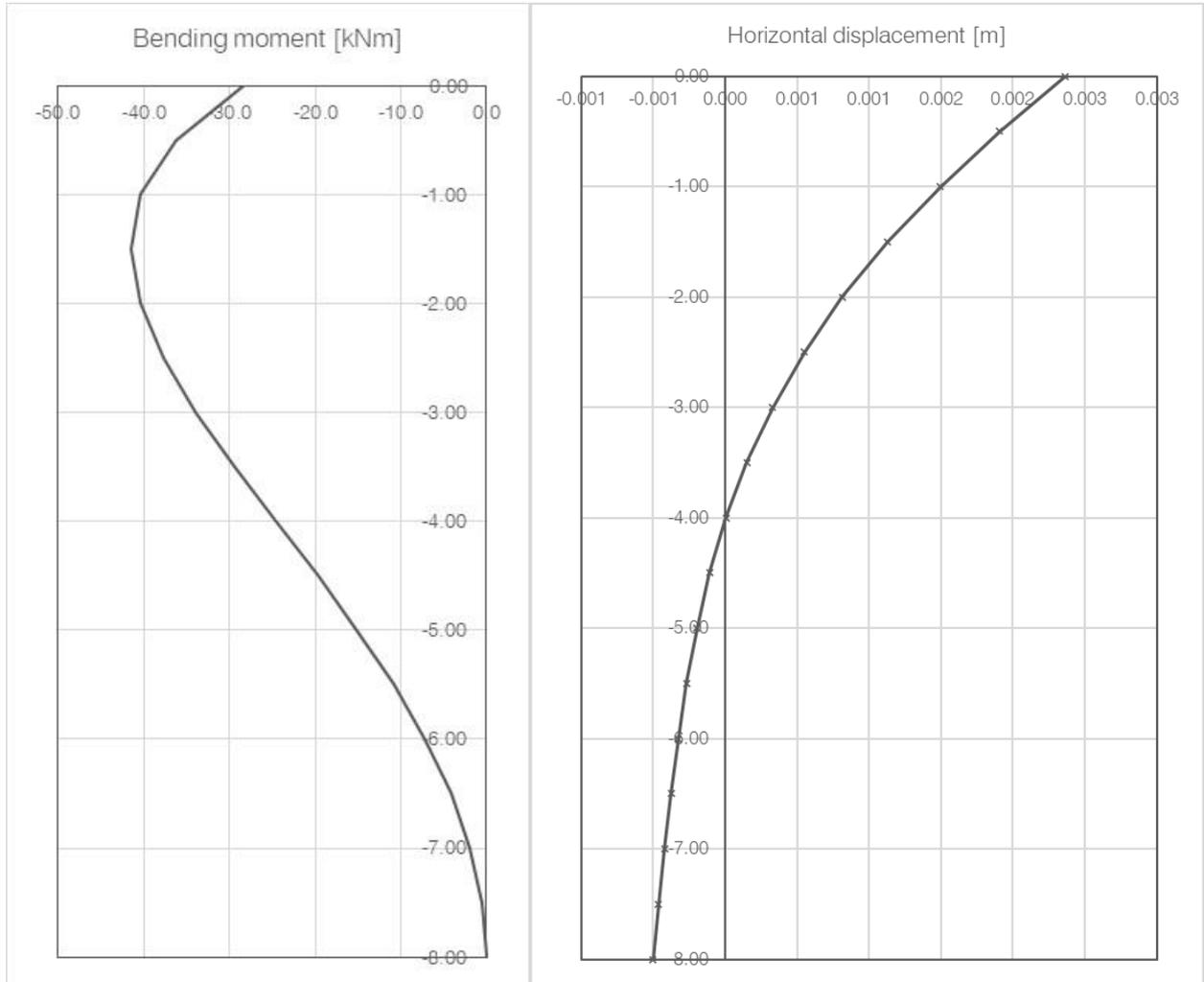
$$A_v = 226080 \text{ mm}^2$$

$$V_{Ed} < V_{Rd}$$

Verifica soddisfatta

Verifiche SLE

Calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti



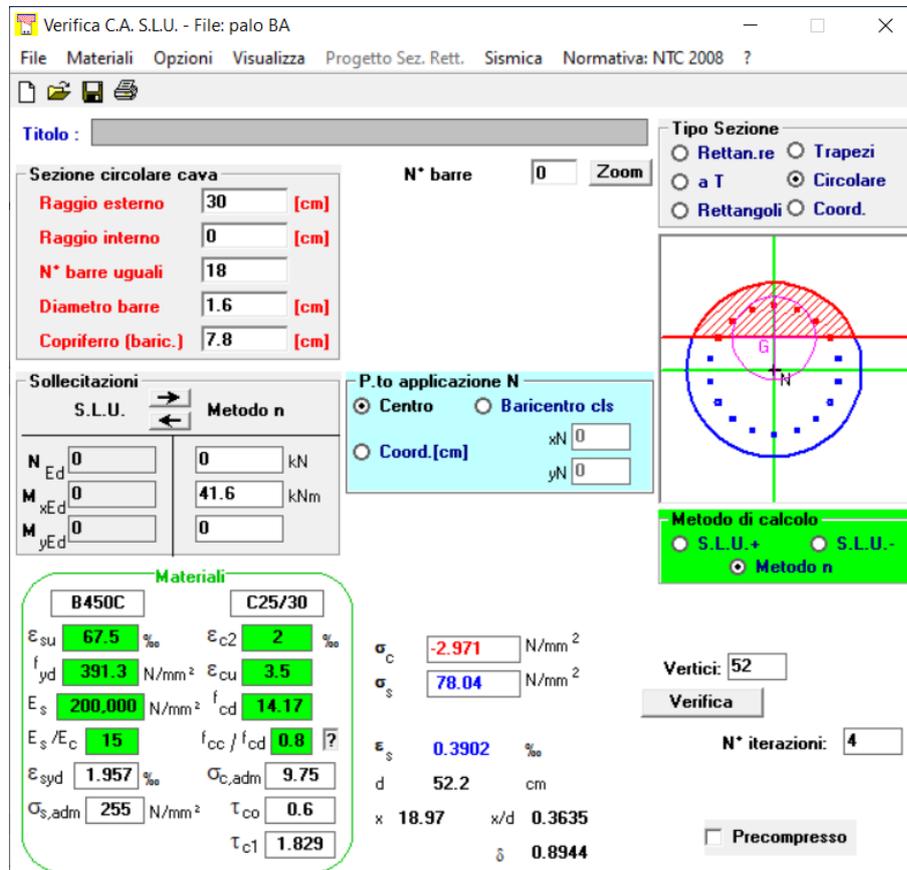
Sollecitazioni e spostamenti SLE

$M_{Ed} = 41.6 \text{ kNm}$ a 1.5 m da testa palo

Il massimo spostamento orizzontale è pari a 2.8 mm e pertanto da ritenersi accettabile

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO		Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 18 di 47

Verifica delle tensioni in esercizio



Verifica C.A. S.L.U. - File: palo BA

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 30 [cm]
 Raggio interno: 0 [cm]
 N* barre uguali: 18
 Diametro barre: 1.6 [cm]
 Copriferro (baric.): 7.8 [cm]

N* barre: 0 Zoom

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 0 kN
 M_{xEd}: 0 41.6 kNm
 M_{yEd}: 0 0

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali

B450C C25/30

ϵ_{su} : 67.5 ‰ ϵ_{c2} : 2 ‰
 f_{yd} : 391.3 N/mm² ϵ_{cu} : 3.5 ‰
 E_s : 200.000 N/mm² f_{cd} : 14.17
 E_s/E_c : 15 f_{cc}/f_{cd} : 0.8
 ϵ_{syd} : 1.957 ‰ $\sigma_{c,adm}$: 9.75
 $\sigma_{s,adm}$: 255 N/mm² τ_{co} : 0.6
 τ_{c1} : 1.829

σ_c : -2.971 N/mm²
 σ_s : 78.04 N/mm²

ϵ_s : 0.3902 ‰
 d: 52.2 cm
 x: 18.97 x/d: 0.3635
 δ : 0.8944

Vertici: 52
 Verifica
 N* iterazioni: 4
 Precompresso

$$\sigma_c < 0.40 f_{ck} = 10 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s < 0.75 f_{yk} = 337 \text{ MPa}$$

Verifica soddisfatta

Verifica a fessurazione

La verifica è condotta per via indiretta in accordo al punto §4.1.2.2.4.5 di NTC2008 ed al punto §7.3.3 limitando la tensione nell'acciaio a 160 MPa.

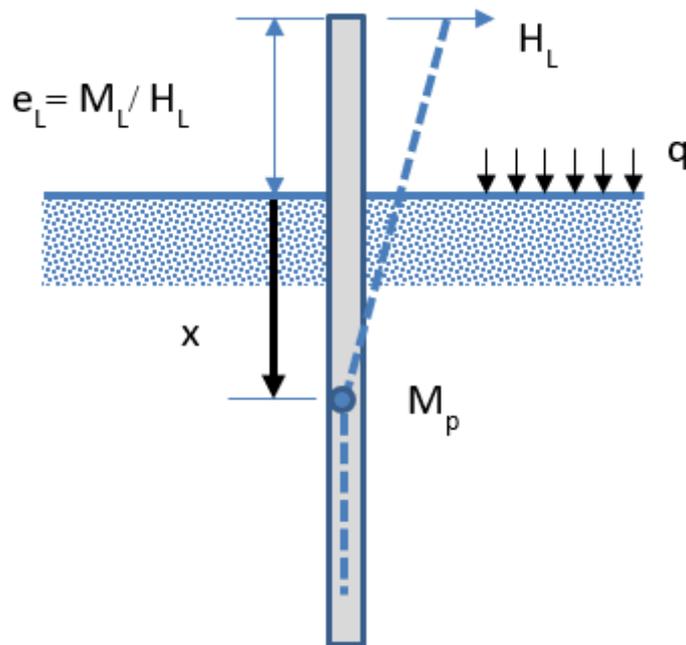
Poiché la tensione in esercizio è pari a 78.04 MPa (comb. SLE RARA) la verifica è soddisfatta.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 19 di 47

7.2.3 Verifiche geotecniche

Portata trasversale

La verifica è condotta con riferimento alla teoria di Broms, valutando il carico limite per una striscia di larghezza unitaria, con il seguente schema.



Schema di calcolo

Si assume la formazione di una cerniera plastica ad una profondità x , associata ad un momento resistente M_p . A tale profondità, il momento nel diaframma è massimo, pertanto il taglio è nullo. Quindi l'azione orizzontale è equilibrata dalla sola reazione offerta dal terreno nella porzione compresa tra piano campagna e la sezione in cui si è formata la cerniera plastica.

$$H = \frac{1}{2}\gamma \cdot d \cdot 3 \cdot (K_p - K_A) \cdot x^2 + q \cdot (K_p - K_A) \cdot x$$

Ponendo $K_p - K_A = K_p^*$

$$H = d \cdot 3 \cdot K_p^* \cdot \left(\frac{1}{2}\gamma \cdot x^2 + q \cdot x \right)$$

L'equilibrio alla rotazione impone che

$$H \cdot (x + e) - d \cdot 3 \cdot K_p^* \cdot \left(\gamma \cdot \frac{x^3}{6} + q \cdot \frac{x^2}{2} \right) - M_p = 0$$

ovvero

$$d \cdot 3 \cdot K_p^* \cdot \left(\frac{1}{2}\gamma \cdot x^2 + q \cdot x \right) \cdot (x + e) - d \cdot 3 \cdot K_p^* \cdot \left(\gamma \cdot \frac{x^3}{6} + q \cdot \frac{x^2}{2} \right) - M_p = 0$$

Questa equazione, nella sola incognita x , non è lineare ma può essere facilmente risolta o per tentativi o, ad esempio con il metodo di Newton-Raphson: si pone:

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 10</p>	<p>Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101</p>	<p>Rev. A</p>	<p>Foglio 20 di 47</p>

$$R(x) = d \cdot 3 \cdot K_p^* \cdot \left(\frac{1}{2} \gamma \cdot x^2 + q \cdot x \right) \cdot (x + e) - d \cdot 3 \cdot K_p^* \cdot \left(\gamma \cdot \frac{x^3}{6} + q \cdot \frac{x^2}{2} \right) - M_p = 0$$

Supponendo nota la soluzione \bar{x} , la funzione $R(x)$ può essere sviluppata in serie di Taylor nell'intorno della presunta soluzione:

$$R(x) \cong R(\bar{x}) + (x - \bar{x}) \cdot \frac{dR(\bar{x})}{dx} = 0$$

Cioè:

$$(x - \bar{x}) = -R(\bar{x}) \cdot \left(\frac{dR(\bar{x})}{dx} \right)^{-1}$$

Si parte da una soluzione \bar{x}_0 di primo tentativo e si calcola

$$\bar{x}_1 = \bar{x}_0 - R(\bar{x}_0) \cdot \left(\frac{dR(\bar{x}_0)}{dx} \right)^{-1}$$

Si itera, calcolando la soluzione i-esima

$$\bar{x}_i = \bar{x}_{i-1} - R(\bar{x}_{i-1}) \cdot \left(\frac{dR(\bar{x}_{i-1})}{dx} \right)^{-1}$$

fin tanto che $R(\bar{x}_{i-1})$ è maggiore della tolleranza voluta.

Ai fini della programmazione in un foglio di calcolo, valgono le seguenti espressioni

$$R(x) = d \cdot 3 \cdot K_p^* \cdot \left[\gamma \cdot \left(\frac{x^2 \cdot e}{2} + \frac{x^3}{3} \right) + q \cdot \left(x \cdot e + \frac{x^2}{2} \right) \right] - M_p;$$

$$\frac{dR(x)}{dx} = d \cdot 3 \cdot K_p^* \cdot [\gamma \cdot (x \cdot e + x^2) + q \cdot (e + x)]$$

Raggiunta la soluzione in termini di profondità \bar{x} della cerniera plastica, la resistenza laterale è

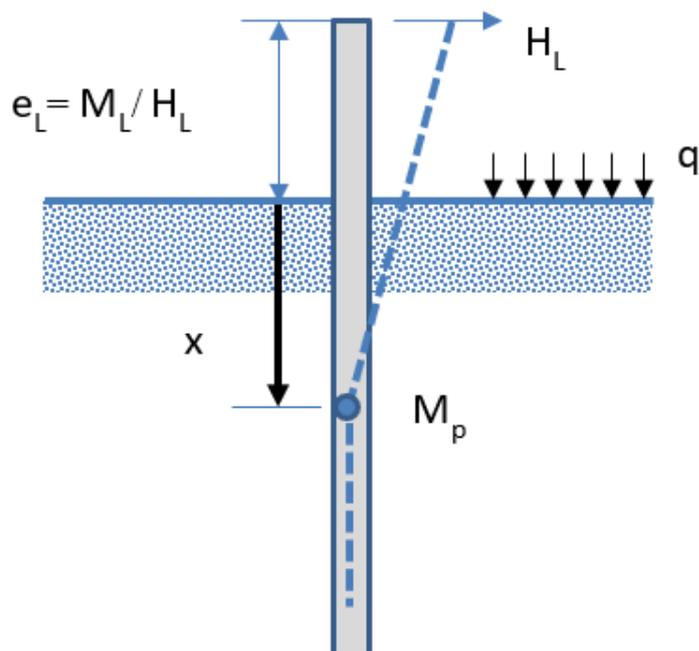
$$H = d \cdot 3 \cdot K_p^* \cdot \left(\frac{1}{2} \gamma \cdot \bar{x}^2 + q \cdot \bar{x} \right)$$

Nel quadro normativo $R_d = H / (\xi_3 \times \gamma_R)$.

Di seguito la verifica.

Resistenza laterale palo BA

Broms (1969)



$$K_p := 2.77 \quad K_a := 0.361 \quad \gamma := 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad d := 0.6\text{m} \quad M_p := 285.1\text{kN}\cdot\text{m} \quad q := 0\text{kPa} \quad e := 1.375\text{m}$$

$$\xi_3 := 1.7 \quad \gamma_T := 1.3 \quad H_{Ed} := 30.938\text{kN}$$

$$R(x) := d \cdot 3(K_p - K_a) \cdot \left[\gamma \cdot \left(\frac{x^2 \cdot e}{2} + \frac{x^3}{3} \right) + q \cdot \left(x \cdot e + \frac{x^2}{2} \right) \right] - M_p$$

$$x_s := \begin{cases} b \leftarrow 0.1\text{m} & = 2.253\text{-m} \\ \text{while } |R(b)| > 1\text{-kN}\cdot\text{m} \\ \quad \left| \begin{array}{l} db \leftarrow \frac{-R(b)}{\frac{d}{db} R(b)} \\ b \leftarrow b + db \end{array} \right. \\ b \end{cases}$$

$$H_{lim} := d \cdot 3(K_p - K_a) \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot x_s^2 + q \cdot x_s \right) = 99.087\text{-kN}$$

$$H_{Rd} := \frac{H_{lim}}{\gamma_T \cdot \xi_3} = 44.836\text{-kN}$$

Ed < Rd

Verifica soddisfatta

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 22 di 47

Portata verticale

L'azione verticale sollecitante il palo è pari a:

peso barriera: $1.5 \times 6 \text{ kPa} \times 2.75 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 74.3 \text{ kN}$

peso proprio cordolo: $1.3 \times 25 \text{ kN/m}^3 \times 1 \text{ m}^2 \times 3 \text{ m} = 97.5 \text{ kN}$

peso proprio palo: $1.3 \times 25 \text{ kN/m}^3 \times 0.2826 \text{ m}^2 \times 8 \text{ m} = 73.5 \text{ kN}$

TOT. 245.3 kN

Portata verticale pali BA

Raccomandazioni AGI 1984

$D := 600 \text{ mm}$

$$\gamma_t := 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \gamma_w := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\phi_1 := 28 \quad \phi_2 := 37$$

$$N_q(z) := \begin{cases} 0.24 \cdot e^{0.122 \cdot \phi_1} & \text{if } z \leq 2 \text{ m} \\ 0.24 \cdot e^{0.122 \cdot \phi_2} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{Berezantzev 1965})$$

$z_w := 0 \text{ m}$

$$\sigma_{pv}(z) := \begin{cases} \gamma_t \cdot z & \text{if } z < z_w \\ \gamma_t \cdot z_w + (\gamma_t - \gamma_w) \cdot (z - z_w) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$k := 0.7 \quad \delta_1 := 28^\circ \quad \delta_2 := 28^\circ$$

$$\tau(z) := \begin{cases} \sigma_{pv}(z) \cdot k \cdot \tan(\delta_1) & \text{if } z \leq 2 \text{ m} \\ \sigma_{pv}(z) \cdot k \cdot \tan(\delta_2) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Q_L(z) := \pi \cdot D \cdot \int_{0 \text{ m}}^z \tau(z) \, dz$$

$$Q_p(z) := \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot N_q(z) \cdot \sigma_{pv}(z)$$

$$R_d(z) := \frac{Q_L(z)}{1.7 \cdot 1.5} + \frac{Q_p(z)}{1.7 \cdot 1.35}$$

$$R_d(8 \text{ m}) = 352.812 \cdot \text{kN}$$

$E_d < R_d$

Verifica soddisfatta

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 23 di 47

7.3 Barriera tipo 2 – h = 6.75 m

7.3.1 Azioni di taglio e flessione a testa palo

Di seguito si riportano le azioni a testa palo.

Azioni a testa palo BA 6.75 m

Interasse pali

$$i_p := 3\text{m}$$

Azione del vento

$$p_w := 2.5\text{kPa}$$

$$H_{BA} := 6.75\text{m}$$

$$H_w := p_w \cdot H_{BA} \cdot i_p = 50.625\text{ kN}$$

$$M_w := \frac{p_w \cdot H_{BA}^2}{2} \cdot i_p = 170.859\text{ kN}\cdot\text{m}$$

Spinta della terra sulla trave di coronamento

$$\gamma_1 := 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \phi_1 := 38^\circ \quad H_t := 1\text{m}$$

$$k_{a1} := \left(\tan \left(45^\circ - \frac{\phi_1}{2} \right) \right)^2 = 0.238$$

$$S_{at} := \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot H_t^2 \cdot k_{a1} \cdot i_p = 7.136\text{ kN}$$

$$M_{at} := \frac{1}{6} \cdot \gamma_1 \cdot H_t^3 \cdot k_{a1} \cdot i_p = 2.379\text{ kN}\cdot\text{m}$$

Azioni di progetto a testa palo

SLU

$$H_{Ed.SLU} := 1.5H_w + 1.3S_{at} = 85.215\text{ kN}$$

$$M_{Ed.SLU} := 1.5M_w + 1.3M_{at} = 259.382\text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$s := \frac{M_{Ed.SLU}}{H_{Ed.SLU}} = 3.044\text{ m}$$

SLE

$$H_{Ed.SLE} := H_w + S_{at} = 57.761\text{ kN}$$

$$M_{Ed.SLE} := M_w + M_{at} = 173.238\text{ kN}\cdot\text{m}$$

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 24 di 47

7.3.2 Verifiche strutturali

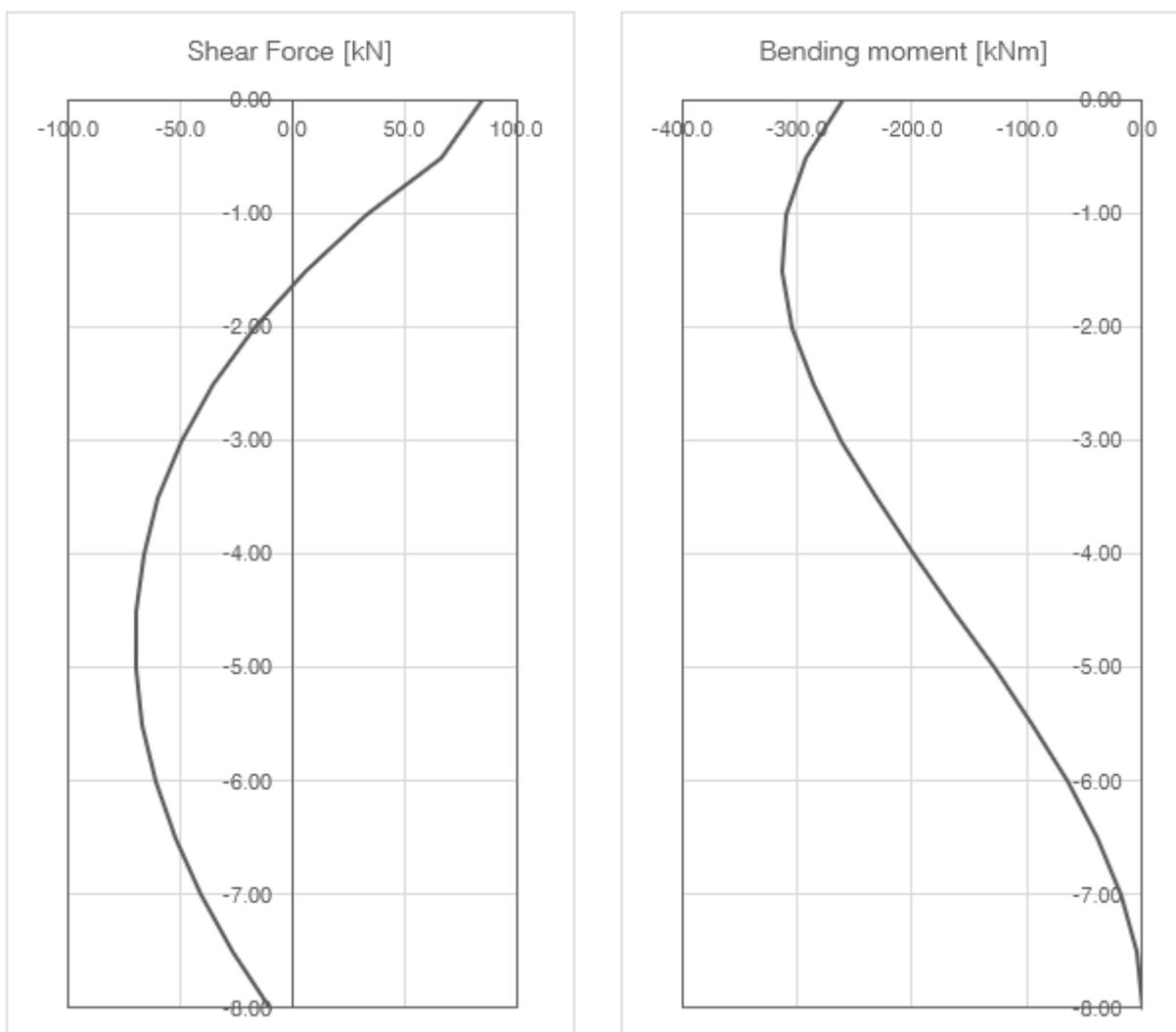
Le sollecitazioni nei pali di fondazione vengono calcolate secondo lo schema statico di trave su suolo elastico alla Winkler con rotazione libera in testa, di lunghezza complessiva pari alla lunghezza effettiva dei pali ed aventi la medesima inerzia del palo, larghezza pari al diametro del palo.

Per quanto riguarda il comportamento dei pali alle azioni orizzontali, si fa riferimento ad un modulo di reazione orizzontale del terreno uniforme con la profondità, assunto pari a $k=E/d = 8000 \text{ kPa} / 0.8 \text{ m} \sim 10000 \text{ kN/m}^3$.

Si considera la testa del palo coincidente con l'intradosso della trave di coronamento dei pali.

Verifiche SLU

Calcolo delle sollecitazioni



Sollecitazioni SLU

$V_{Ed} = 85.2 \text{ kN}$ a testa palo

$M_{Ed} = 312.1 \text{ kNm}$ a 1.5 m da testa palo

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 10</p>	<p>Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101</p>	<p>Rev. A</p>	<p>Foglio 25 di 47</p>

Verifica a flessione

Verifica C.A. S.L.U. - File: palo BA

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 40 [cm]
Raggio interno: 0 [cm]
N° barre uguali: 20
Diametro barre: 2.6 [cm]
Copriferro (baric.): 8.3 [cm]

N° barre: 0 Zoom

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 kN
M_{xEd}: 312.1 kNm
M_{yEd}: 0 kNm

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

B450C C25/30

ε_{su}: 67.5 ‰ ε_{c2}: 2 ‰
f_{yd}: 391.3 N/mm² ε_{cu}: 3.5 ‰
E_s: 200.000 N/mm² f_{cd}: 14.17
E_s/E_c: 15 f_{cc}/f_{cd}: 0.8
ε_{syd}: 1.957 ‰ σ_{c,adm}: 9.75
σ_{s,adm}: 255 N/mm² τ_{co}: 0.6
τ_{c1}: 1.829

M_{xRd}: 1.081 kN m
σ_c: -14.17 N/mm²
σ_s: 391.3 N/mm²
ε_c: 3.5 ‰
ε_s: 6.614 ‰
d: 71.7 cm
x: 24.81 x/d: 0.3461
δ: 0.8726

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀: 0 cm Col. modello
 Precompresso

$$M_{Ed} < M_{Rd}$$

Verifica soddisfatta

Verifica a taglio

La verifica è condotta trascurando l'armatura a taglio; in accordo alla relazione di Kowalsky & Priestly (2000) si considera una sezione resistente pari all'80% di quella nominale.

$$V_{Ed} = 85.2 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = v_{min} \cdot A_v = 132 \text{ kN}$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{1.5} \cdot f_{ck}^{0.5} = 0.35 \text{ MPa}$$

$$k = 1 + (200/717)^{0.5} = 1.52$$

$$f_{ck} = 25$$

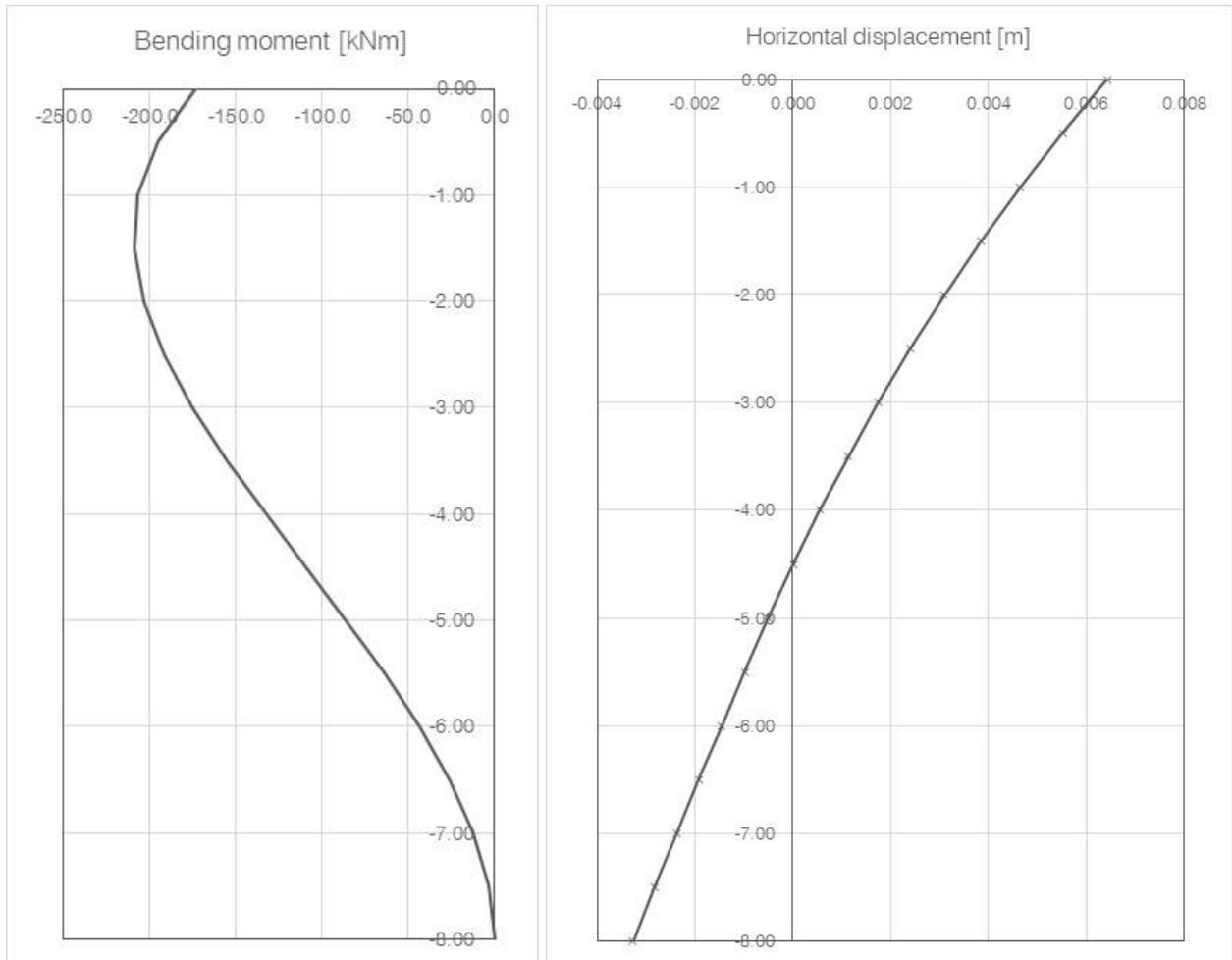
$$A_v = 401920 \text{ mm}^2$$

$$V_{Ed} < V_{Rd}$$

Verifica soddisfatta

Verifiche SLE

Calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti



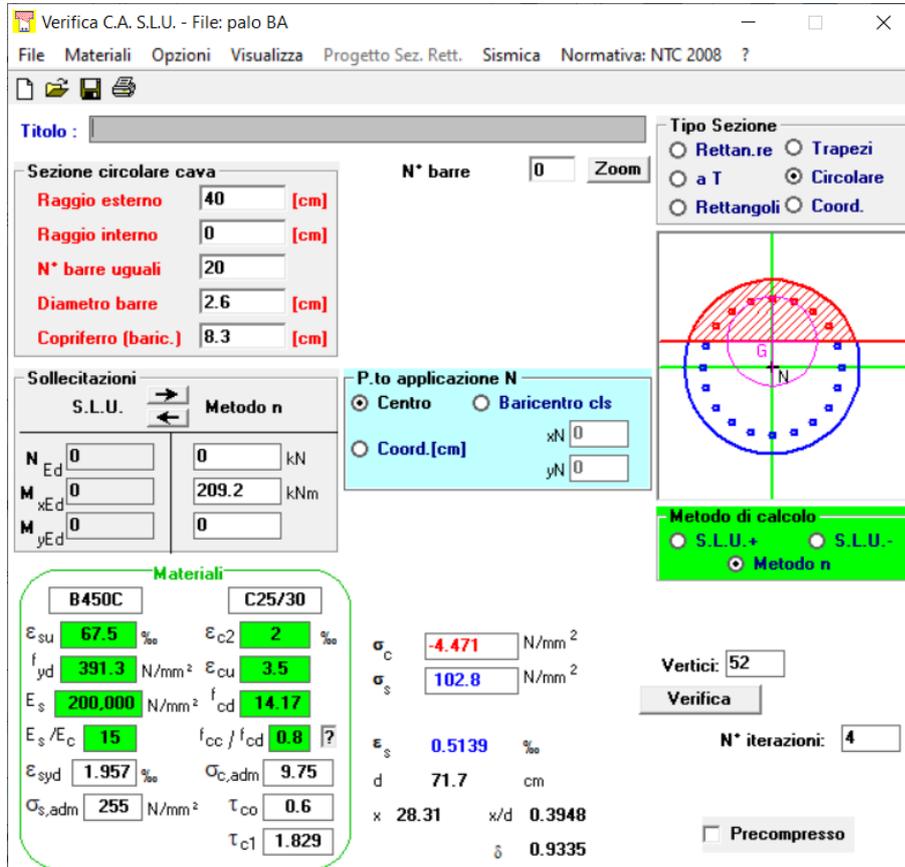
Sollecitazioni e spostamenti SLE

$M_{Ed} = 209.2 \text{ kNm}$ a 1.5 m da testa palo

Il massimo spostamento orizzontale è pari a 6.5 mm e pertanto da ritenersi accettabile

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO		Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 27 di 47

Verifica delle tensioni in esercizio



Verifica C.A. S.L.U. - File: palo BA

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

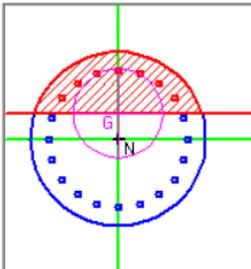
Sezione circolare cava

Raggio esterno: 40 [cm]
 Raggio interno: 0 [cm]
 N* barre uguali: 20
 Diametro barre: 2.6 [cm]
 Copriferro (baric.): 8.3 [cm]

N* barre: 0 Zoom

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Diagramma: 

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 kN
 M_{xEd}: 0 kNm
 M_{yEd}: 0 kNm

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali

B450C C25/30

ε_{su}: 67.5 ‰ ε_{c2}: 2 ‰
 f_{yd}: 391.3 N/mm² ε_{cu}: 3.5 ‰
 E_s: 200.000 N/mm² f_{cd}: 14.17
 E_s/E_c: 15 f_{cc}/f_{cd}: 0.8
 ε_{syd}: 1.957 ‰ σ_{c,adm}: 9.75
 σ_{s,adm}: 255 N/mm² τ_{co}: 0.6
 τ_{c1}: 1.829

σ_c: -4.471 N/mm²
 σ_s: 102.8 N/mm²
 ε_s: 0.5139 ‰
 d: 71.7 cm
 x: 28.31 x/d: 0.3948
 δ: 0.9335

Vertici: 52
 Verifica
 N* iterazioni: 4
 Precompresso

$$\sigma_c < 0.40 f_{ck} = 10 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s < 0.75 f_{yk} = 337 \text{ MPa}$$

Verifica soddisfatta

Verifica a fessurazione

La verifica è condotta per via indiretta in accordo al punto §4.1.2.2.4.5 di NTC2008 ed al punto §7.3.3 limitando la tensione nell'acciaio a 160 MPa.

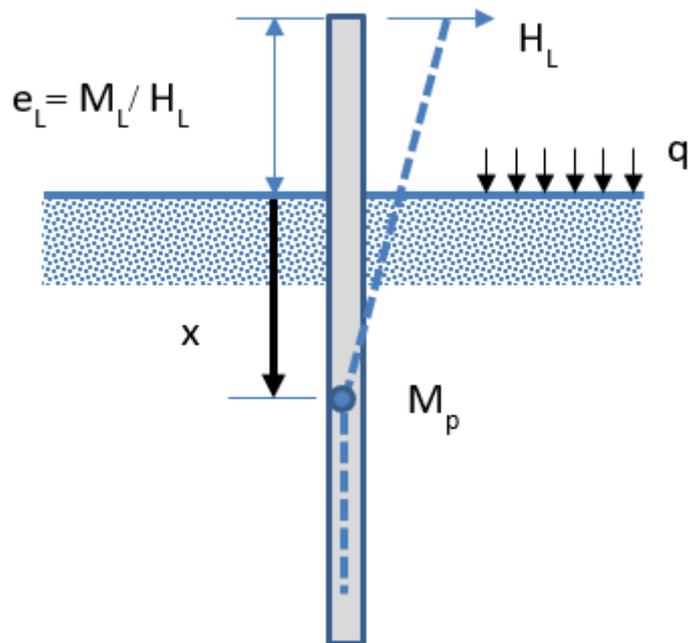
Poiché la tensione in esercizio è pari a 102.8 MPa (comb. SLE RARA) la verifica è soddisfatta.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 28 di 47

7.3.3 Verifiche geotecniche

Portata trasversale

La verifica è condotta con riferimento alla teoria di Broms, valutando il carico limite per una striscia di larghezza unitaria, con il seguente schema.



Schema di calcolo

Si assume la formazione di una cerniera plastica ad una profondità x , associata ad un momento resistente M_p . A tale profondità, il momento nel diaframma è massimo, pertanto il taglio è nullo. Quindi l'azione orizzontale è equilibrata dalla sola reazione offerta dal terreno nella porzione compresa tra piano campagna e la sezione in cui si è formata la cerniera plastica.

$$H = \frac{1}{2}\gamma \cdot d \cdot 3 \cdot (K_p - K_A) \cdot x^2 + q \cdot (K_p - K_A) \cdot x$$

Ponendo $K_p - K_A = K_p^*$

$$H = d \cdot 3 \cdot K_p^* \cdot \left(\frac{1}{2}\gamma \cdot x^2 + q \cdot x \right)$$

L'equilibrio alla rotazione impone che

$$H \cdot (x + e) - d \cdot 3 \cdot K_p^* \cdot \left(\gamma \cdot \frac{x^3}{6} + q \cdot \frac{x^2}{2} \right) - M_p = 0$$

ovvero

$$d \cdot 3 \cdot K_p^* \cdot \left(\frac{1}{2}\gamma \cdot x^2 + q \cdot x \right) \cdot (x + e) - d \cdot 3 \cdot K_p^* \cdot \left(\gamma \cdot \frac{x^3}{6} + q \cdot \frac{x^2}{2} \right) - M_p = 0$$

Questa equazione, nella sola incognita x , non è lineare ma può essere facilmente risolta o per tentativi o, ad esempio con il metodo di Newton-Raphson: si pone:

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 29 di 47

$$R(x) = d \cdot 3 \cdot K_p^* \cdot \left(\frac{1}{2} \gamma \cdot x^2 + q \cdot x \right) \cdot (x + e) - d \cdot 3 \cdot K_p^* \cdot \left(\gamma \cdot \frac{x^3}{6} + q \cdot \frac{x^2}{2} \right) - M_p = 0$$

Supponendo nota la soluzione \bar{x} , la funzione $R(x)$ può essere sviluppata in serie di Taylor nell'intorno della presunta soluzione:

$$R(x) \cong R(\bar{x}) + (x - \bar{x}) \cdot \frac{dR(\bar{x})}{dx} = 0$$

Cioè:

$$(x - \bar{x}) = -R(\bar{x}) \cdot \left(\frac{dR(\bar{x})}{dx} \right)^{-1}$$

Si parte da una soluzione \bar{x}_0 di primo tentativo e si calcola

$$\bar{x}_1 = \bar{x}_0 - R(\bar{x}_0) \cdot \left(\frac{dR(\bar{x}_0)}{dx} \right)^{-1}$$

Si itera, calcolando la soluzione i-esima

$$\bar{x}_i = \bar{x}_{i-1} - R(\bar{x}_{i-1}) \cdot \left(\frac{dR(\bar{x}_{i-1})}{dx} \right)^{-1}$$

fin tanto che $R(\bar{x}_{i-1})$ è maggiore della tolleranza voluta.

Ai fini della programmazione in un foglio di calcolo, valgono le seguenti espressioni

$$R(x) = d \cdot 3 \cdot K_p^* \cdot \left[\gamma \cdot \left(\frac{x^2 \cdot e}{2} + \frac{x^3}{3} \right) + q \cdot \left(x \cdot e + \frac{x^2}{2} \right) \right] - M_p;$$

$$\frac{dR(x)}{dx} = d \cdot 3 \cdot K_p^* \cdot [\gamma \cdot (x \cdot e + x^2) + q \cdot (e + x)]$$

Raggiunta la soluzione in termini di profondità \bar{x} della cerniera plastica, la resistenza laterale è

$$H = d \cdot 3 \cdot K_p^* \cdot \left(\frac{1}{2} \gamma \cdot \bar{x}^2 + q \cdot \bar{x} \right)$$

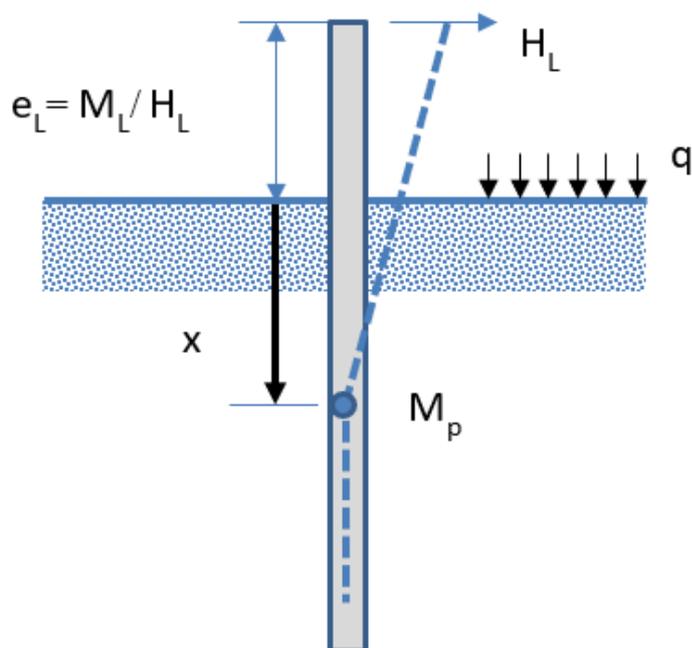
Nel quadro normativo $R_d = H / (\xi_3 \times \gamma_R)$.

In presenza di rilevato si assume un valore ridotto di K_p pari a 1.

Di seguito la verifica.

Resistenza laterale palo BA

Broms (1969)



$$K_p := 1 \quad K_a := 0.361 \quad \gamma := 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad d := 0.8\text{m} \quad M_p := 1081\text{kN}\cdot\text{m} \quad q := 0\text{kPa} \quad e := 3.044\text{m}$$

$$\xi_3 := 1.7 \quad \gamma_T := 1.3 \quad H_{Ed} := 85.215\text{kN}$$

$$R(x) := d \cdot 3 \cdot (K_p - K_a) \cdot \left[\gamma \cdot \left(\frac{x^2 \cdot e}{2} + \frac{x^3}{3} \right) + q \cdot \left(x \cdot e + \frac{x^2}{2} \right) \right] - M_p$$

$$x_s := \begin{cases} b \leftarrow 0.1\text{m} & = 3.675\text{m} \\ \text{while } |R(b)| > 1\text{ kN}\cdot\text{m} \\ \quad \left| \begin{array}{l} db \leftarrow \frac{-R(b)}{\frac{d}{db} R(b)} \\ b \leftarrow b + db \end{array} \right. \\ b \end{cases}$$

$$H_{lim} := d \cdot 3 \cdot (K_p - K_a) \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot x_s^2 + q \cdot x_s \right) = 196.761\text{ kN}$$

$$H_{Rd} := \frac{H_{lim}}{\gamma_T \cdot \xi_3} = 89.032\text{ kN}$$

Ed < Rd

Verifica soddisfatta

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 31 di 47

Portata verticale

L'azione verticale sollecitante il palo è pari a:

peso barriera: $1.5 \times 6 \text{ kPa} \times 2.75 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 74.3 \text{ kN}$

peso proprio cordolo: $1.3 \times 25 \text{ kN/m}^3 \times 1 \text{ m}^2 \times 3 \text{ m} = 97.5 \text{ kN}$

peso proprio palo: $1.3 \times 25 \text{ kN/m}^3 \times 0.5024 \text{ m}^2 \times 8 \text{ m} = 130.624 \text{ kN}$

TOT. 302.4 kN

Portata verticale pali BA

Raccomandazioni AGI 1984

$D := 800 \text{ mm}$

$$\gamma_t := 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \gamma_w := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$\phi := 28$

$$N_q := 0.24 \cdot e^{0.122 \cdot \phi} = 7.307 \quad (\text{Berezantzev 1965})$$

$z_w := 6 \text{ m}$

$$\sigma_{pv}(z) := \begin{cases} \gamma_t \cdot z & \text{if } z < z_w \\ \gamma_t \cdot z_w + (\gamma_t - \gamma_w) \cdot (z - z_w) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$k := 0.4 \quad \delta := 28^\circ$

$$\tau(z) := \sigma_{pv}(z) \cdot k \cdot \tan(\delta)$$

$$Q_L(z) := \pi \cdot D \cdot \int_{0 \text{ m}}^z \tau(z) \, dz$$

$$Q_p(z) := \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot N_q \cdot \sigma_{pv}(z)$$

$$R_d(z) := \frac{Q_L(z)}{1.7 \cdot 1.5} + \frac{Q_p(z)}{1.7 \cdot 1.35}$$

$$R_d(8 \text{ m}) = 432.622 \cdot \text{kN}$$

$E_d < R_d$

Verifica soddisfatta

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 32 di 47

8 TRAVE DI CORONAMENTO

8.1 Geometria della struttura

Nella tabella di seguito allegata si riportano le caratteristiche geometriche delle travi di coronamento al variare delle altezze delle barriere antirumore:

	B [m]	H [m]
Barriera H=6.75m	1.0	1.0
Barriera H=5.75m	1.0	1.0
Barriera H=4.75m	1.0	1.0
Barriera H=3.75m	1.0	1.0
Barriera H=2.75m	1.0	1.0

8.2 Azioni agenti

Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari da assumere per le verifiche di resistenza in esercizio delle travi di coronamento pali, ovvero:

- peso proprio cordolo;
- azioni trasmesse dai montanti delle barriere antirumore;
- azioni dovute alla spinta del terreno;
- azioni dovute al ritiro.

Vengono prese in considerazione le condizioni elementari di carico di seguito determinate.

Tali Combinazioni Elementari saranno opportunamente combinate secondo quanto previsto dalla normativa vigente.

Per i materiali si assumono i seguenti pesi specifici:

- calcestruzzo armato: $\gamma_{c.a.} = 25 \text{ kN/m}^3$
- rilevato: $\gamma_{ril} = 20 \text{ kN/m}^3$

8.2.1 Peso proprio cordolo

Considerando uno schema di trave semi-incastrata, con luce i =interasse pali, si ha che le azioni dovute al peso proprio sono:

$$T_{pp} = B \cdot H \cdot \gamma_{cls} \cdot (i/2)$$

$$M_{pp} = (B \cdot H \cdot \gamma_{cls}) \cdot i^2/12$$

con i = interasse pali = 3.0m si ottiene:

PESO PROPRIO CORDOLO	N_{pp}	kN	-	-	-	-	-
	M_{pp}	kNm	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75
	T_{pp}	kN	37,50	37,50	37,50	37,50	37,50

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 33 di 47

8.2.2 Azioni trasmesse dai montanti delle barriere antirumore

Poiché i montanti delle barriere non sono in asse-palo ma sono eccentrici con $e=0.75\text{m}$ (vedi figura), definite:

N_B = azione verticale trasmessa da un montante delle barriere antirumore alla base del montante,

M_B = azione torcente trasmessa da un montante delle barriere antirumore alla base del montante,

T_B = azione di taglio (orizzontale) trasmessa da un montante delle barriere antirumore alla base del montante,

M_{BO} = azione flessionale agente nel piano orizzontale trasmessa dalle barriere.

M_{BV} = azione flessionale agente nel piano verticale trasmessa dalle barriere

e

N_{BAT} = N_B azione verticale trasmessa da un montante delle barriere antirumore portata in asse trave,

M_{BAT} = $M_B + T_B \cdot (H/2+s)$ azione torcente trasmessa da un montante delle barriere antirumore portata in asse trave,

(con H =altezza trave e s = spessore della piastra),

T_{BAT} = T_B azione di taglio trasmessa da un montante delle barriere antirumore portata in asse trave,

M_{BOAT} = M_{BO} azione flessionale agente nel piano orizzontale trasmessa dalle barriere portata in asse trave

M_{BVAT} = M_{BV} azione flessionale agente nel piano verticale trasmessa dalle barriere portata in asse trave

si ha che in corrispondenza dell'attacco trave-palo, le azioni massime agenti in asse trave, trasmesse dai montanti delle barriere e calcolate col metodo delle aree di influenza (definita la quantità $((i-e)/i = \rho = 0.75)$), valgono:

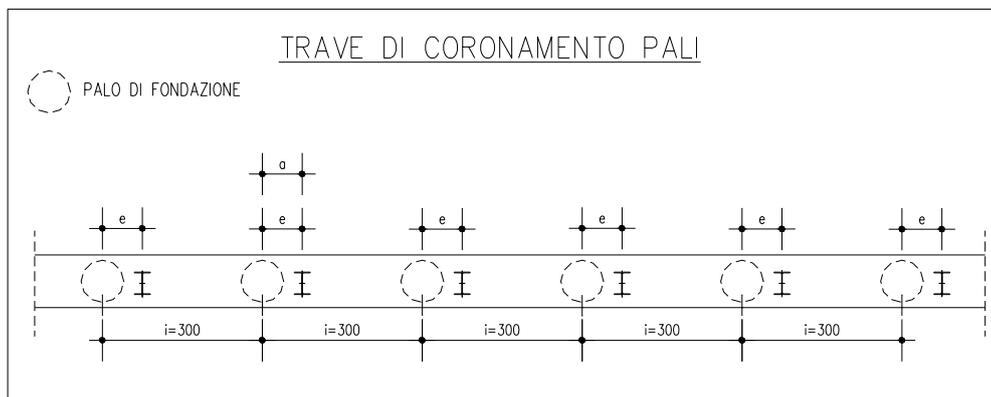
$V_{BATP} = N_{BAT} \cdot 0.75$ (taglio max verticale in prossimità del palo)

$M_{BATP} = M_{BAT} \cdot 0.75$ (momento torcente max in prossimità del palo)

$T_{BPP} = T_{BAT} \cdot 0.75$ (taglio max orizzontale in prossimità del palo)

$M_{BOATP} = M_{BOAT} \cdot 1.00$ (momento max orizzontale in prossimità del palo)

$M_{BVATP} = N_B \cdot (i-e) \cdot e/i$ (momento flettente verticale max in prossimità del palo)



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17 Lotto 10 Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101 Rev. A Foglio 34 di 47

Nella tabella sotto riportata sono riassunte le azioni agenti nella trave trasmesse dai montanti delle barriere:

AZIONI BASE MONTANTE	N,k	kN	51,90	49,11	46,56	44,46	32,10
	M,k	kNm	170,86	123,98	84,61	52,73	28,36
	V,k	kN	50,63	43,13	35,63	28,13	20,63
AZIONI TRASMESSE DA UN MONTANTE IN ASSE TRAVE	N _{BAT}	kN	51,90	49,11	46,56	44,46	32,10
	M _{BAT}	kNm	198,70	147,70	104,20	68,20	39,70
	M _{BOAT}	kNm	12,66	10,78	8,91	7,03	5,16
	T _{BAT}	kN	50,63	43,13	35,63	28,13	20,63
	M _{BVAT}	kNm	29,19	27,62	26,19	25,01	18,06
SOLLECITAZIONI MASSIME IN ASSE TRAVE (IN CORRISPONDENZA DEI PALI)	V _{BATP}	kN	38,93	36,83	34,92	33,35	24,08
	M _{BATP}	kNm	149,03	110,78	78,15	51,15	29,78
	M _{BOATP}	kNm	12,66	10,78	8,91	7,03	5,16
	T _{BPP}	kN	37,97	32,34	26,72	21,09	15,47
	M _{BVATP}	kNm	29,19	27,62	26,19	25,01	18,06

8.2.3 Azioni dovute alla spinta del terreno

Si considera un terreno caratterizzato dai seguenti parametri:

$$\gamma_t = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi'_k = 38^\circ$$

$$k_{a,k} = 0.238$$

SPINTA ATTIVA RILEVATO	T _{SAC}	kN	3,57
	M _{SAC}	kNm	1,78

con:

T_{SAC} = Taglio dovuto alla spinta del terreno

M_{SAC} = Momento dovuto alla spinta del terreno

8.2.4 Azioni termiche e ritiro

Gli effetti indotti dal ritiro del getto del cordolo e dalla diminuzione di temperatura vengono di seguito determinati per i cordoli di dimensione 100x100cm ma risultano significativi anche per quelli di dimensione 90x100cm.

Il ritiro del calcestruzzo si può esprimere come:

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca}$$

dove:

ϵ_{cs} è la deformazione per ritiro;

ϵ_{cd} è la deformazione per ritiro da essiccamento;

ϵ_{ca} è la deformazione per ritiro autogeno.

Il valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro da essiccamento si può esprimere come:

$$\epsilon_{cd,\infty} = k_h * \epsilon_{c0}$$

può essere valutato mediante i valori riportati nelle Tab. 11.2. Va-b (DM 14 Gennaio 2008) in funzione della resistenza caratteristica a compressione, dell'umidità relativa e del paramento h_0 .

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 35 di 47	

Considerando una umidità relativa del 70% e una resistenza $f_{ck} = 28 \text{ N/mm}^2$ si ottiene:

$$\varepsilon_{c0} = \varepsilon_{c0}(f_{ck}, u_{r\%}) = \varepsilon_{c0}(28, 70\%) = -0.36\% = -36 \cdot 10^{-5}$$

$$k_h = k_h(h_0) = k_h(1000) = 0.70$$

dove h_0 è la dimensione fittizia (in mm) pari al rapporto $h_0 = 2 \cdot A_c / u = 2 \cdot 1000 \cdot 1000 / 2000 = 1000 \text{ mm}$

$$\varepsilon_{cd} = -0.70 \cdot 36 \cdot 10^{-5} = -25.2 \cdot 10^{-5}$$

Il valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro autogeno $\varepsilon_{ca,\infty}$ si può esprimere come:

$$\varepsilon_{ca,\infty} = -2.5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = -2.5 \cdot (32 - 10) \cdot 10^{-6} = -4.50 \cdot 10^{-5}$$

Poiché il ritiro per essiccamento è un fenomeno “lento”, mentre quello autogeno è “veloce”, si adotta un valore efficace del ritiro pari a:

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + 3 \cdot \varepsilon_{ca,\infty} = -25.2 \cdot 10^{-5} - 3 \cdot 4.50 \cdot 10^{-5} = -38.70 \cdot 10^{-5}$$

Dalle seguenti uguaglianze:

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta t$$

$$\Delta l = \varepsilon_{rit} \cdot l_0$$

è possibile esprimere il ritiro in funzione di una variazione termica equivalente, si ha:

$$\alpha_{\Delta t} \cdot \Delta t = \varepsilon_{rit}$$

sostituendo i valori numerici:

$$\Delta t_{rit} = \varepsilon_{rit} / \alpha_{\Delta t} = (0.3870 \cdot 10^{-3}) / (1.0 \cdot 10^{-5}) = 38.7^\circ\text{C}$$

Si assume inoltre una diminuzione di temperatura pari a $\Delta t_i = 15^\circ\text{C}$.

Poiché la coazione da ritiro è un fenomeno “lento”, mentre quella da variazione di temperatura è “veloce”, si adotta un modulo elastico del calcestruzzo “non abbattuto” ($E_c = 32588 \text{ N/mm}^2$) ed un valore efficace di temperatura pari a: $\Delta T = \Delta t_{rit} / 3 + \Delta t_i = 41.00 / 3 + 15 = 27.9^\circ\text{C}$

Tale variazione termica viene messa in conto imponendo alla sommità del palo maggiormente sollecitato (ossia quello più distante dal centro di simmetria del cordolo) uno spostamento impresso pari a:

$$\Delta l = \alpha \cdot L / 2 \cdot \Delta T = 1.0 \cdot 10^{-5} \cdot 3000 / 2 \cdot 27.9^\circ\text{C} = 0.419 \text{ cm (si assume } 0.42 \text{ cm).}$$

In una determinata sezione del cordolo, il ritiro e le azioni termiche producono uno sforzo normale di trazione pari alla somma dei tagli in testa ai pali che precedono (o seguono) la sezione stessa, e che si opporrebbero all'accorciamento del cordolo.

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO		Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 36 di 47

Il taglio in sommità palo prodotto da tale spostamento impresso è anche lo sforzo assiale di trazione $N_{rit. \text{ singolo palo}}$ trasmesso al cordolo dal palo piu' lontano rispetto al centro di simmetria del cordolo. I contributi degli altri pali variano in maniera lineare in funzione della loro distanza dal centro cordolo, pertanto si ha che a centro cordolo (sezione dove è massima l'azione da ritiro), lo sforzo assiale N_{RIT} da ritiro risulta pari a:

$$N_{RIT} = (1/5 + 2/5 + 3/5 + 4/5 + 5/5) * N_{rit. \text{ singolo palo}} = 3 * N_{rit. \text{ singolo palo}}$$

AZIONI DOVUTE AL RITIRO E ALLA VARIAZIONE DI TEMPERATURA	$N_{RIT} (SLE)$	kN	180,78	180,78	180,78	180,78	96,69
	$N_{RIT} (SLU)$	kN	271,17	271,17	271,17	271,17	145,04

8.3 Calcolo delle sollecitazioni

Gli effetti dei carichi verticali e orizzontali vanno sempre combinati, adottando i coefficienti indicati in Tab. 5.2.IV (NTC).

Per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali in Tab. 5.2.V e i coefficienti di combinazione Ψ in Tab. 5.2.VI (NTC).

Per le verifiche agli stati limite d'esercizio si adottano i valori dei coefficienti parziali in Tab. 5.2.VI (NTC).

8.4 Combinazioni di carico

I carichi caratteristici sopra elencati, al fine di ottenere le sollecitazioni di progetto per effettuare le successive verifiche, sono opportunamente combinati fra loro.

I valori numerici riportati nelle colonne delle seguenti tabelle di combinazione indicano il coefficiente moltiplicativo con il quale la condizione elementare è considerata. Tali valori sono il risultato dei prodotti tra coefficienti parziali operanti sulle azioni.

COMBINAZIONI DI CARICO		P.P. Cordolo	Peso Montante	Pressioni aerodinamiche	Vento	Spinta attiva terre	Ritiro e azione termica
		1	2	3	4	5	6
1	SLU	1,35	1,35	1,5	1,50	1,35	1,50
2	SLE CAR	1,00	1,00	1,0	1,00	1,00	1,00

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 37 di 47

8.5 Sollecitazioni totali

Combinando i contributi delle varie condizioni di carico elementari si ottiene:

SOLLECITAZIONI TOTALI TRAVE DI CORONAMENTO COMBINAZIONE SLE RARA	N _{TC}	kN	180,78	180,78	180,78	180,78	96,69
	M _V	kNm	47,94	46,37	44,94	43,76	36,81
	M _O	kNm	14,44	12,57	10,69	8,82	6,94
	M _{TOT}	kNm	50,07	48,05	46,19	44,64	37,45
	T _{TCV}	kN	76,43	74,33	72,42	70,85	61,58
	T _{TCO}	kN	41,54	35,91	30,29	24,66	19,04
	T _{TOT}	kN	86,98	82,55	78,50	75,01	64,45
	M _{TORSIONE}	kNm	149,03	110,78	78,15	51,15	29,78
SOLLECITAZIONI TOTALI TRAVE DI CORONAMENTO COMBINAZIONE SLU	N _{TC}	kN	271,17	271,17	271,17	271,17	145,04
	M _V	kNm	69,10	66,75	64,60	62,83	52,40
	M _O	kNm	21,39	18,58	15,77	12,96	10,14
	M _{TOT}	kNm	72,34	69,29	66,49	64,15	53,37
	T _{TCV}	kN	109,01	105,87	103,01	100,64	86,74
	T _{TCO}	kN	61,77	53,33	44,90	36,46	28,02
	T _{TOT}	kN	125,30	118,55	112,36	107,04	91,15
	M _{TORSIONE}	kNm	223,54	166,17	117,23	76,73	44,67

8.6 Verifiche di resistenza ultima e di esercizio

Di seguito si riportano le verifiche delle sezioni più significative e per le Combinazioni di carico risultate più critiche.

Si svolgono le seguenti verifiche

- verifiche a flessione in regime di tenso-flessione deviata (SLU)
- verifiche a taglio (SLU)
- verifiche a torsione (SLU)
- verifiche a fessurazione (SLE)

Poiché in accordo al paragrafo 4.1.2.4 del D.M. 2008 le armature calcolate per la resistenza nei riguardi della sollecitazione torcente devono essere aggiunte a quelle calcolate nei riguardi delle verifiche per flessione e per le verifiche a taglio, si considera:

50% Armature longitudinali presenti efficaci per la verifica a tensoflessione,

50% Armature longitudinali presenti efficaci per la verifica a torsione,

50% Staffe efficaci per verifiche a taglio,

50% Staffe efficaci per verifiche a torsione (solo braccia esterne).

Spesso nelle verifiche che seguono, per comodità di input nei programmi, tale aliquota di area viene messa in conto ipotizzando l'impiego di barre fittizie di diametro equivalente ϕ_e tale che $A_{\phi_e} = 50\%A_{\phi}$, ossia $\phi_e = (\sqrt{2}/2) * \phi = 0.707 * \phi$.

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 38 di 47

I calcoli di verifica sono effettuati con il metodo degli Stati Limite, applicando il combinato D. M.14.01.2008 con l'UNI EN 1992 (Eurocodice 2).

Le verifiche a taglio sono svolte considerando il puntone in calcestruzzo inclinato e staffe verticali.

Verifica di formazione delle fessure: la verifica si esegue per la sezione interamente reagente determinando il momento di prima fessurazione e confrontandolo con quello sollecitante; se risulta $M_{cr} < M_{Ed}$ la verifica si considera soddisfatta, altrimenti si procede alla verifica di apertura delle fessure.

Verifica di apertura delle fessure: l'apertura convenzionale delle fessure è calcolata con le modalità indicate nell'Eurocodice 2-1, come indicato dal D. M. Min. II. TT. del 14 gennaio 2008, e valutata con le sollecitazioni relative alla Combinazioni Rara della normativa vigente sui ponti ferroviari. Le massime aperture ammissibili sono:

- condizioni ambientali aggressive e molto aggressive: $w_k \leq w_3 = 0.20\text{mm}$
- condizioni ambientali ordinarie: $w_k \leq w_3 = 0.30\text{mm}$

Verifica delle tensioni di esercizio: si verifica che le tensioni di lavoro presenti nel calcestruzzo siano inferiori ai seguenti limiti:

- combinazione QP $\sigma_c < 0.40 f_{ck}$;
 - combinazione Rara $\sigma_c < 0.55 f_{ck}$,
- e che le tensioni di lavoro presenti nell'acciaio siano $\sigma_s < 0.75 f_{yk}$.

8.7 Geometrie e armature travi di coronamento

Si riportano di seguito le verifiche per le barriere di altezza $H=6.75\text{m}$ e $H=2.75\text{m}$.

8.7.1 Trave di coronamento per barriere antirumore $H=6.75\text{m}$

Caratteristiche geometriche trave:

H trave = 100cm

B trave = 100cm

$c = c' = 5 + 1.4 + 1.8/2 = 7.3$ cm

$A_{tot Long.} = (6+6+5+5) \Phi 18 = 22 \Phi 18 = 22 * 2.54 = 55.88$ cm²

$St_{tipiche} = 1 + 1\Phi 14/25'' = 12.35$ cm²/m

$St_{corrisp. montante} = 1\Phi 14/15'' = 10.27$ cm²/m

Armatura per Verifica a tensoflessione SLU:

50% $A_{tot} = 0.5 * 22 * \phi 18 = 22 * 2.54/2 = 22 * 1.27 = 27.94$ cm²

corrispondente a 22 $\phi 12.7$

Armatura per Verifica a torsione:

50% $A_{tot} = 0.5 * 22 * \phi 18 = 22 * 2.54/2 = 22 * 1.27 = 27.94$ cm²

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 		<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 10</p>	<p>Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101</p>	<p>Rev. A</p>	<p>Foglio 39 di 47</p>	

corrispondente a $22 \phi 12.7$

Staffe per Verifica a taglio:

$$50\% St_{\text{corrisp. montante}} = 0.5 * \phi 14 / 15'' = \phi 9.9 / 15'' \text{ (essendo } 9.9 = 0.707 * 14)$$

Staffe per Verifica a torsione:

$$50\% St_{\text{corrisp. montante}} = 0.5 * \phi 14 / 15'' = \phi 9.9 / 15'' \text{ (essendo } 9.9 = 0.707 * 14)$$

8.7.2 Trave di coronamento per barriere antirumore H=2.75m

Caratteristiche geometriche trave:

$$H \text{ trave} = 100 \text{ cm}$$

$$B \text{ trave} = 100 \text{ cm}$$

$$c = c' = 5 + 1.2 + 1.6 / 2 = 7.0 \text{ cm}$$

$$A_{\text{tot Long.}} = (5 + 5 + 4 + 4) \phi 16 = 18 \phi 16 = 18 * 2.01 = 36.19 \text{ cm}^2$$

$$St_{\text{tipiche}} = 1 + 1 \phi 12 / 25'' = 12.35 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$St_{\text{corrisp. montante}} = 1 \phi 12 / 15'' = 10.27 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Armatura per Verifica a tensoflessione SLU:

$$50\% A_{\text{tot}} = 0.5 * 18 * \phi 16 = 18 * 2.01 / 2 = 18 * 1.00 = 18.1 \text{ cm}^2$$

Si ottiene quindi che l'area che viene considerata per la verifica SLU di tenso-flessione è pari a $18 \phi 11.3$

Armatura per Verifica a torsione:

$$50\% A_{\text{tot}} = 0.5 * 18 * \phi 16 = 18 * 2.01 / 2 = 18 * 1.00 = 18.1 \text{ cm}^2$$

Si ottiene quindi che l'area che viene considerata per la verifica SLU di tenso-flessione è pari a $18 \phi 11.3$

Staffe per Verifica a taglio:

$$50\% St_{\text{corrisp. montante}} = 0.5 * \phi 12 / 15'' = \phi 8.5 / 15'' \text{ (essendo } 8.5 = 0.707 * 12)$$

Staffe per Verifica a torsione:

$$50\% St_{\text{corrisp. montante}} = 0.5 * \phi 12 / 15'' = \phi 8.5 / 15'' \text{ (essendo } 8.5 = 0.707 * 12)$$

8.8 Barriera tipo 1 - h=2.75m

8.8.1 Verifica allo stato limite ultimo per tenso-flessione

Caratteristiche geometriche trave:

$$H \text{ trave} = 100 \text{ cm}$$

$$B \text{ trave} = 100 \text{ cm}$$

$$c = c' = 5 + 1.2 + 1.6 / 2 = 7.0 \text{ cm}$$

$$A_{\text{Long, per flessione}} = (5 + 5 + 4 + 4) \phi 11.3 = 18 \phi 11.3 = 18 * 1.00 = 18.09 \text{ cm}^2$$

Sollecitazioni:

Momento verticale: $M_x = 52.40$ kNm

Momento orizzontale: $M_y = 10.14$ kNm

$N = 145.04$ kN (trazione)

TITOLO : _____

N° Vertici Zoom N° barre Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	100	0
3	100	100
4	0	100

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	1	7	7
2	1	28,5	7
3	1	50	7
4	1	71,5	7
5	1	93	7
6	1	7	24,2

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
M_{xEd} kNm
M_{yEd}

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Tipo Sezione
 Rettang.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio Mx-My

angolo asse neutro θ°

Precompresso

Materiali

E_{su} ‰ E_{c2} ‰
f_{yd} N/mm² E_{cu} ‰
E_s N/mm² f_{cd} ‰
E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
E_{syd} ‰ $\sigma_{c,adm}$
 $\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co}
 τ_{c1}

M_{xRd} kNm
M_{yRd} kNm
 σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c ‰
 ϵ_s ‰
d cm
x x/d
 δ

Diagramma
- NEd = -145,04 kN
Mx [kNm] vs My [kNm]
Legend: Mx-MyRd (red line), Mx-MyEd (blue dot), Vettore (magenta line)

M_{xEd} kNm M_{yEd} kNm ρ_M
M_{xRd} kNm M_{yRd} kNm

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
	RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A

8.8.2 Verifica allo stato limite ultimo per taglio

CALCESTRUZZO		
Calsse calcestruzzo		C28/35
Resistenza cubica caratteristica	R_{ck}	35,00 Mpa
Resistenza cilindrica caratteristica	f_{ck}	29,05 Mpa

ACCIAIO	
Tipologia	B450C
Reisitenza caratteristica allo snervamento	450 Mpa

COEFFICIENTI MATERIALE		
Coefficiente di sicurezza per il calcestruzzo	γ_c	1,50
Coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata	α_{cc}	0,85
Coefficiente di sicurezza per l'acciaio	γ_s	1,15

GEOMETRIA SEZIONE C.A.				
Base	b		1000 mm	
Altezza	h		1000 mm	
<i>Barre tese</i>		<i>numero barre</i>	<i>diametro barre [mm]</i>	<i>copriferro in asse barra [mm]</i>
strato1		5	11	7,0
strato2		0	0	0
strato3		0	0	0
strato4		0	0	0
strato5		0	0	0
Area barre tese	A_s		501 mm ²	
Posizione della barra equivalente	c^*		7 mm	

SOLLECITAZIONI		
Load Case		
Frame		
Azione assiale (+ di compressione)	N_{Ed}	0 kN
Taglio	V_{Ed}	91,15 kN

VERIFICA RESISTENZA SEZIONE SENZA ARMATURA A TAGLIO		
Altezza utile della sezione	d	993 mm
Coefficiente	k	1,45
Rapporto di armatura longitudinale	ρ_l	0,05%
Tensione assiale media	σ_{cp}	0,00 N/mm ²
	$0.2 \times f_{cd}$	3,29 N/mm ²
	V_{min}	0,33 N/mm ²
Resistenza al taglio minima	$V_{rd,min}$	326,66 kN
Resistenza al taglio senza armatura	V_{rd}	326,66 kN
Verifica		0,28 Verifica soddisfatta

ARMATURA A TAGLIO		
Diametro staffe	ϕ	9,9 mm
Numero braccia	n	2
Passo staffe	s	150 mm
Inclinazione staffe (rispetto all'orizzontale)	α	90 °
Inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ	35 °
Valore minimo di inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ_{min}	21,80 °

VERIFICA RESISTENZA SEZIONE CON ARMATURA A TAGLIO		
Coefficiente di riduzione per fessurazione	v_1	0,5
Resistenza cilindrica di progetto	f_{cd}	16,46166667 N/mm ²
Area armatura a taglio	A_{st}	153,95 mm ²
	σ_{cp}/f_{cd}	0
Coefficiente di interazione	α_{cw}	1
Resistenza a taglio per rottura delle armature	V_{rds}	512,60 kN
Resistenza a taglio per rottura del puntone in calcestruzzo	V_{rcd}	3456,14 kN
Resistenza al taglio	V_{rd}	512,60 kN
Verifica		0,18 Verifica soddisfatta

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
	RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A

8.8.3 Verifica allo stato limite ultimo per torsione

CALCESTRUZZO			
Classe:	C28/35		
Rck=	35	N/mm ²	
fck=	29,05	N/mm ²	
alpha_cc=	0,85		
gamma_c=	1,5		
fcd=	16,46	N/mm ²	
fctm=	2,83	N/mm ²	
fctk,005=	1,98		
fbd=	1,32	N/mm ²	(calcolo secondo EC2)
	1,26	N/mm ²	(calcolo secondo Ballio-Mazzolani)
ACCIAIO			
Tipo:	B450C		
fyd=	391,30	N/mm ²	
GEOMETRIA			
b	100	cm	
h	100	cm	
cf	7	cm	(copriferro in asse barra)
Ac	10000	cm ²	(area calcestruzzo)
ø_sl	16	mm	(diametro ferri longitudinali)
n°	18		(numero ferri longitudinali)
Asl	3619,11	mm ²	(area armatura longitudinale)
Asl,rid	1809,56	mm ²	(area armatura longitudinale ridotta)
ø_sl,rid	11,31	mm	(diametro ferri longitudinali ridotta)
ø_st	12	mm	(diametro ferri longitudinali)
p	150	mm	(passo staffe)
Ast	753,98	mm ²	(area staffe)
Ast,rid	376,99	mm ²	(area staffe ridotta)
ø_st,rid	8,49	mm	(diametro staffe ridotta)
Ast,br	56,55		(armatura di un braccio di una staffa)
t	250	mm	(Ac/u con u perimetro della sezione)
um	3000	mm	(perimetro medio del nucleo resistente)
A	562500	mm ²	
θ	35	°	1,428148 rad
SOLLECITAZIONI			
T _{Ed}	44,67	kNm	
V _{Ed}	91,15	kN	
VERIFICA A TORSIONE			
T _{Rcd}	1087,66	kNm	(resistenza a torsione del calcestruzzo)
T _{Rsd}	237,01	kNm	(resistenza a torsione delle staffe trasversali)
T _{Rld}	185,93	kNm	(resistenza a torsione dell'armatura longitudinale)
T _{Rd}	185,93	kNm	(resistenza a torsione della trave)
VERIFICA A TAGLIO E TORSIONE			
N	0,0	kN	(sforzo normale sulla sezione, negativo di compressione)
σ _{cp}	0,0	N/mm ²	(tensione media di compressione nella sezione)
α _t	1,0		(coefficiente che tiene conto della compressione)
V _{Rcd}	3456,14	kN	(resistenza a taglio lato ds della trave)
T _{Ed} /T _{Rcd} + V _{Ed} /V _{Rcd}	0,07		

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17 Lotto 10 Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101 Rev. A Foglio 43 di 47

8.8.4 Verifica allo stato limite di esercizio per fessurazione

PARAMETRI VERIFICA FESSURAZIONE									
kt=	0,40	(0,6 = azioni di breve durata; 0,4 = azioni di lunga durata)							
k ₁ =	0,80	(0,8 = barre ad aderenza migliorata; 1,6 = barre lisce e trefoli)							
k ₃ =	3,40	(valore raccomandato)							
k ₄ =	0,425	(valore raccomandato)							
CRITERI DI VERIFICA									
<u>Fessurazione</u>									
Condiz. Ambientali:	2	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive							
	Aggressive								
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili							
	Poco sensibile								
<u>Tensioni in esercizio</u>									
	Limite	Limite	σ_{c,max}	σ_{s,max}					
Combinazione	σ_c / fck	σ_s / fyk	[N/mm²]	[N/mm²]					
Quasi Permanente	0,40	0,75	11,62	337,50					
Caratteristica	0,55	0,75	15,98	337,50					
SOLLECITAZIONI SLE (N+ di compressione)									
<u>Fessurazione</u>									
Combinazione	n. combinazione	frame	N	M	w_d	w_{lim}	M0 - Mf		
			[kN]	[kNm]	[mm]	[mm]	[kNm]		
Caratteristica			-96,7	67,2	Msd<Mf	0,200	403,41	-	
<u>Tensioni in esercizio</u>									
Combinazione	n. combinazione	frame	N	M	σ_{c,min}	σ_{s,max}	σ_{s,min}		
			[kN]	[kNm]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]		
Caratteristica			-96,7	67,2	-0,73	124,42	-0,79	Sezione parzializzata	

8.9 Barriera tipo 2 - h=6.75m

8.9.1 Verifica allo stato limite ultimo per tenso-flessione

Caratteristiche geometriche trave:

H trave = 100cm

B trave = 100cm

$c = c' = 5 + 1.4 + 1.8/2 = 7.3$ cm

$A_{Long,per\ flessione} = (6+6+5+5) \Phi 12.7 = 22 \Phi 12.7 = 22 * 1.27 = 27.94$ cm²

Sollecitazioni:

Momento verticale: $M_x = 69.10$ kNm

Momento orizzontale: $M_y = 21.39$ kNm

$N = 271.17$ kN (trazione)

Titolo: _____

N° Vertici: 4 Zoom N° barre: 22 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	100	0
3	100	100
4	0	100

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	1.27	7.3	7.3
2	1.27	24.38	7.3
3	1.27	41.46	7.3
4	1.27	58.54	7.3
5	1.27	75.62	7.3
6	1.27	92.7	7.3

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: -271.17 0 kN
M_{xEd}: 69.1 0 kNm
M_{yEd}: 21.39 0 kNm

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

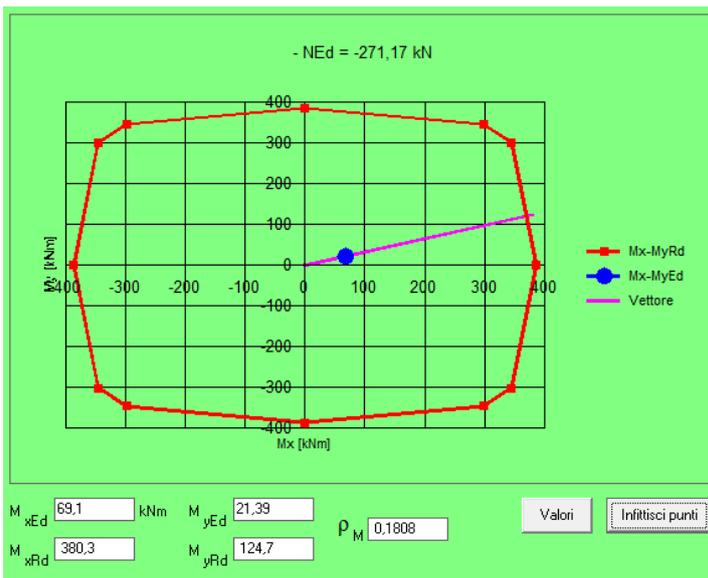
Materiali
B450C C28/35
ε_{su}: 67.5 ‰ ε_{c2}: 2 ‰
f_{yd}: 391.3 N/mm² ε_{cu}: 3.5 ‰
E_s: 200 000 N/mm² f_{cd}: 15.87
E_s/E_c: 15 f_{cc}/f_{cd}: 0.8
ε_{syd}: 1.957 ‰ σ_{c,adm}: 11
σ_{s,adm}: 255 N/mm² τ_{co}: 0.6667
τ_{c1}: 1.971

M_{xRd}: 378.3 kNm
M_{yRd}: 148.7 kNm
σ_c: -15.87 N/mm²
σ_s: 391.3 N/mm²
ε_c: 3.5 ‰
ε_s: 31.76 ‰
d: 100.4 cm
x: 9.969 x/d: 0.09927
δ: 0.7

Metodo di calcolo
 S.L.U. + S.L.U. -
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviate

N° rett.: 100
Calcola MRd Dominio Mx-My
angolo asse neutro θ°: 355
 Precompresso



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
	RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A

8.9.2 Verifica allo stato limite ultimo per taglio

CALCESTRUZZO		
Calsse calcestruzzo		C28/35
Resistenza cubica caratteristica	R_{ck}	35,00 Mpa
Resistenza cilindrica caratteristica	f_{ck}	29,05 Mpa

ACCIAIO	
Tipologia	B450C
Resistenza caratteristica allo snervamento	450 Mpa

COEFFICIENTI MATERIALE		
Coefficiente di sicurezza per il calcestruzzo	γ_c	1,50
Coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata	α_{cc}	0,85
Coefficiente di sicurezza per l'acciaio	γ_s	1,15

GEOMETRIA SEZIONE C.A.				
Base	b		1000 mm	
Altezza	h		1000 mm	
<i>Barre tese</i>		<i>numero barre</i>	<i>diametro barre [mm]</i>	<i>copriferro in asse barra [mm]</i>
strato1		6	13	7,3
strato2		0	0	0
strato3		0	0	0
strato4		0	0	0
strato5		0	0	0
Area barre tese	A_s		760 mm ²	
Posizione della barra equivalente	c^*		7,3 mm	

SOLLECITAZIONI		
Load Case		
Frame		
Azione assiale (+ di compressione)	N_{Ed}	0 kN
Taglio	V_{Ed}	125,3 kN

VERIFICA RESISTENZA SEZIONE SENZA ARMATURA A TAGLIO		
Altezza utile della sezione	d	992,7 mm
Coefficiente	k	1,45
Rapporto di armatura longitudinale	ρ_l	0,08%
Tensione assiale media	σ_{cp}	0,00 N/mm ²
	$0.2 \times f_{cd}$	3,29 N/mm ²
	V_{min}	0,33 N/mm ²
Resistenza al taglio minima	$V_{rd,min}$	326,59 kN
Resistenza al taglio senza armatura	V_{rd}	326,59 kN
Verifica		0,38 Verifica soddisfatta

ARMATURA A TAGLIO		
Diametro staffe	ϕ	9,9 mm
Numero braccia	n	2
Passo staffe	s	150 mm
Inclinazione staffe (rispetto all'orizzontale)	α	90 °
Inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ	35 °
Valore minimo di inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ_{min}	21,80 °

VERIFICA RESISTENZA SEZIONE CON ARMATURA A TAGLIO		
Coefficiente di riduzione per fessurazione	v_1	0,5
Resistenza cilindrica di progetto	f_{cd}	16,46166667 N/mm ²
Area armatura a taglio	A_{st}	153,95 mm ²
	σ_{cp}/f_{cd}	0
Coefficiente di interazione	α_{cw}	1
Resistenza a taglio per rottura delle armature	V_{rds}	512,45 kN
Resistenza a taglio per rottura del puntone in calcestruzzo	V_{rcd}	3455,10 kN
Resistenza al taglio	V_{rd}	512,45 kN
Verifica		0,24 Verifica soddisfatta

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A	Foglio 46 di 47	

8.9.3 Verifica allo stato limite ultimo per torsione

CALCESTRUZZO			
Classe:	C28/35		
Rck=	35	N/mm ²	
fck=	29,05	N/mm ²	
alpha_cc=	0,85		
gamma_c=	1,5		
fcd=	16,46	N/mm ²	
fctm=	2,83	N/mm ²	
fctk,005=	1,98		
fbd=	1,32	N/mm ²	(calcolo secondo EC2)
	1,26	N/mm ²	(calcolo secondo Ballio-Mazzolani)
ACCIAIO			
Tipo:	B450C		
fyd=	391,30	N/mm ²	
GEOMETRIA			
b	100	cm	
h	100	cm	
cf	7,3	cm	(copri ferro in asse barra)
Ac	10000	cm ²	(area calcestruzzo)
ø_sl	18	mm	(diametro ferri longitudinali)
n°	22		(numero ferri longitudinali)
Asl	5598,32	mm ²	(area armatura longitudinale)
Asl,rid	2799,16	mm ²	(area armatura longitudinale ridotta)
ø_sl,rid	12,73	mm	(diametro ferri longitudinali ridotta)
ø_st	14	mm	(diametro ferri longitudinali)
p	150	mm	(passo staffe)
Ast	1026,25	mm ²	(area staffe)
Ast,rid	513,13	mm ²	(area staffe ridotta)
ø_st,rid	9,90	mm	(diametro staffe ridotta)
Ast,br	76,97		(armatura di un braccio di una staffa)
t	250	mm	(Ac/u con u perimetro della sezione)
um	3000	mm	(perimetro medio del nucleo resistente)
A	562500	mm ²	
θ	35	°	1,428148 rad
SOLLECITAZIONI			
T _{Ed}	223,54	kNm	
V _{Ed}	125,30	kN	
VERIFICA A TORSIONE			
T _{Rcd}	1087,66	kNm	(resistenza a torsione del calcestruzzo)
T _{Rs d}	322,60	kNm	(resistenza a torsione delle staffe trasversali)
T _{Rld}	287,61	kNm	(resistenza a torsione dell'armatura longitudinale)
T _{Rd}	287,61	kNm	(resistenza a torsione della trave)
VERIFICA A TAGLIO E TORSIONE			
N	0,0	kN	(sforzo normale sulla sezione, negativo di compressione)
σ _{cp}	0,0	N/mm ²	(tensione media di compressione nella sezione)
α _t	1,0		(coefficiente che tiene conto della compressione)
V _{Rcd}	3455,1	kN	(resistenza a taglio lato ds della trave)
T _{Ed} /T _{Rcd} + V _{Ed} /V _{Rcd}	0,24		

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
	RELAZIONE DI CALCOLO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 CL BA 00 0 1 101	Rev. A

8.9.4 Verifica allo stato limite di esercizio per fessurazione

PARAMETRI VERIFICA FESSURAZIONE									
kt=	0,40	(0,6 = azioni di breve durata; 0,4 = azioni di lunga durata)							
k ₁ =	0,80	(0,8=barre ad aderenza migliorata; 1,6= barre lisce e trefoli)							
k ₃ =	3,40	(valore raccomandato)							
k ₄ =	0,425	(valore raccomandato)							
CRITERI DI VERIFICA									
<u>Fessurazione</u>									
Condiz. Ambientali:	2	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive							
	Aggressive								
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili							
	Poco sensibile								
<u>Tensioni in esercizio</u>									
	Limite	Limite	σ_{c,max}	σ_{s,max}					
Combinazione	σ_c / fck	σ_s / fyk	[N/mm²]	[N/mm²]					
Quasi Permanente	0,40	0,75	11,62	337,50					
Caratteristica	0,55	0,75	15,98	337,50					
SOLLECITAZIONI SLE (N+ di compressione)									
<u>Fessurazione</u>									
Combinazione	n. combinazione	frame	N	M	w_d	w_{lim}	M0 - Mf		
			[kN]	[kNm]	[mm]	[mm]	[kNm]		
Caratteristica			-180,8	199,1	Msd<Mf	0,200	401,51	-	
<u>Tensioni in esercizio</u>									
Combinazione	n. combinazione	frame	N	M	σ_{c,min}	σ_{s,max}	σ_{s,min}		
			[kN]	[kNm]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]		
Caratteristica			-180,8	199,1	-2,03	208,80	-11,67	Sezione parzializzata	