

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

LINEA A.V. /A.C. TORINO – VENEZIA Tratta MILANO – VERONA
Lotto funzionale Brescia-Verona

PROGETTO ESECUTIVO

SLZ3 – SOTTOPASSO PODERALE PK 110+046.622

RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA AV/AC

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE LAVORI
Consorzio Cepav due Data: _____	 Data: _____

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA/DISCIPLINA	PROGR	REV
I N O R	1 2	E	E 2	C L	S L Z 3 A 0	0 0 1	A

PROGETTAZIONE								
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	
A	Emissione	GUIPARTE	11/10/19	AIELLO	11/10/19	LIANI	11/10/19	
B								
C								

CIG. 751447334A File: INOR12EE2CLSLZ3A0001A_10.docx



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

CUP: F81H91000000008

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
12

Codifica Documento
E E2 CL SLZ3 A0 001

Rev.
A

Foglio
2 di 63

INDICE

1.	INTRODUZIONE	5
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
3.	CRITERI DI CALCOLO.....	7
3.1.	CRITERI E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA	7
3.2.	COMBINAZIONE DI CARICO	8
3.2.1.	<i>Combinazioni per la verifica allo SLU</i>	8
3.2.2.	<i>Combinazioni per la verifica allo SLE</i>	9
4.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	10
4.1.	CALCESTRUZZO PER MAGRONE.....	10
4.2.	CALCESTRUZZO	10
4.3.	ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO	11
4.4.	DURABILITÀ E PRESCRIZIONI SUI MATERIALI	11
4.5.	COPRIFERRO MINIMO E COPRIFERRO NOMINALE	11
5.	PARAMETRI SISMICI.....	12
6.	PARAMETRI GEOTECNICI	13
7.	GEOMETRIA DELLA STRUTTURA	14
8.	MODELLAZIONE STRUTTURALE.....	15
8.1.	CODICE DI CALCOLO – RISPETTO DEL CAPITOLO 10.2 DELLE NTC08	15
8.1.1.	<i>Tipo di analisi svolta</i>	15
8.1.2.	<i>Origine e caratteristiche dei codici di calcolo</i>	15
8.1.3.	<i>Affidabilità dei codici utilizzati</i>	15
8.1.4.	<i>Informazioni generali sull'elaborazione</i>	15
8.1.5.	<i>Giudizio motivato di accettabilità dei risultati</i>	15
8.2.	MODELLAZIONE ADOTTATA.....	16
8.3.	MODELLAZIONE SCATOLARE	17
9.	ANALISI DEI CARICHI	18
9.1.	PESO PROPRIO STRUTTURE (LOAD1)	18

Doc. N.	Progetto INOR	Lotto 12	Codifica Documento E E2 CL SLZ3 A0 001	Rev. A	Foglio 3 di 63
9.2.	CARICHI PERMANENTI PORTATI (LOAD2 E LOAD3).....				18
9.3.	SPINTA DEL TERRENO (LOAD4 E LOAD5).....				18
9.4.	AZIONI TERMICHE E RITIRO (LOAD 6 ÷ 9).....				19
9.5.	CARICHI MOBILI VERTICALI SULLA SOLETTA SUPERIORE (LOAD 10 E LOAD 11).....				20
9.6.	SPINTA DEL SOVRACCARICO SUL RILEVATO (LOAD 12 E LOAD 13).....				22
9.7.	FRENATURA E AVVIAMENTO (LOAD 14 E LOAD 15).....				23
9.8.	SOVRACCARICHI ACCIDENTALI SULLA SOLETTA DI FONDAZIONE.....				23
9.9.	SERPEGGIO.....				23
9.10.	FORZA CENTRIFUGA.....				23
9.11.	AZIONE SISMICA (LOAD 16÷21).....				23
9.12.	RIEPILOGO DEI CARICHI SOLLECITANTI.....				26
10.	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI				27
10.1.	CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO ADOTTATE				27
10.1.1.	<i>Combinazioni SLU di tipo STR</i>				28
10.1.2.	<i>Combinazioni SLU di tipo GEO</i>				31
10.1.3.	<i>Combinazioni SLV</i>				32
10.1.4.	<i>Combinazioni SLE – Quasi Permanente –Caratteristica</i>				33
10.2.	DIAGRAMMI DI INVILUPPO – SCATOLARE SOTTO LINEA AV/AC				35
10.2.1.	<i>Inviluppo momento flettente SLU/SLV – STR</i>				35
10.2.2.	<i>Inviluppo taglio SLU/SLV – STR</i>				35
10.2.3.	<i>Inviluppo momento flettente SLE – Quasi Permanente</i>				36
10.2.4.	<i>Inviluppo momento flettente SLE – Caratteristico</i>				36
11.	VERIFICHE DI RESISTENZA ULTIMA E DI ESERCIZIO				37
11.1.	SOLETTA INFERIORE.....				38
11.1.1.	<i>Soletta inferiore – sezione di incastro</i>				39
11.1.1.1.	<i>Verifiche allo stato limite ultimo per flessione</i>				39
11.1.1.2.	<i>Verifiche allo stato limite ultimo per taglio</i>				40
11.1.1.3.	<i>Verifiche allo stato limite di esercizio</i>				41
11.1.2.	<i>Soletta inferiore – sezione di mezzeria</i>				42
11.1.2.1.	<i>Verifiche allo stato limite ultimo per flessione</i>				42

Doc. N.	Progetto INOR	Lotto 12	Codifica Documento E E2 CL SLZ3 A0 001	Rev. A	Foglio 4 di 63
---------	------------------	-------------	---	-----------	-------------------

11.1.2.2.	Verifiche allo stato limite di esercizio.....	43
11.2.	PIEDRITTO.....	44
11.2.1.	Piedritto – sezione di incastro inferiore	44
11.2.1.1.	Verifiche allo stato limite ultimo per flessione.....	45
11.2.1.2.	Verifiche allo stato limite ultimo per taglio	46
11.2.1.3.	Verifiche allo stato limite di esercizio.....	47
11.2.2.	Piedritto – sezione di mezzeria	48
11.2.2.1.	Verifiche allo stato limite ultimo per flessione.....	49
11.2.2.2.	Verifiche allo stato limite di esercizio.....	50
11.2.3.	Piedritto – sezione di incastro superiore.....	51
11.2.3.1.	Verifiche allo stato limite ultimo per flessione.....	52
11.2.3.2.	Verifiche allo stato limite di esercizio.....	53
11.3.	SOLETTA SUPERIORE.....	54
11.3.1.	Soletta superiore – sezione di incastro	55
11.3.1.1.	Verifiche allo stato limite ultimo per flessione.....	55
11.3.1.2.	Verifiche allo stato limite ultimo per taglio	56
11.3.1.3.	Verifiche allo stato limite di esercizio.....	57
11.3.2.	Soletta superiore – sezione di mezzeria	58
11.3.2.1.	Verifiche allo stato limite ultimo per flessione.....	58
11.3.2.2.	Verifiche allo stato limite di esercizio.....	59
11.4.	VERIFICA EFFETTI LONGITUDINALI DA RITIRO	60
11.4.1.	Coazioni interne dovute ai fenomeni di ritiro.....	60
11.4.2.	Calcolo delle sollecitazioni longitudinali dovute ai fenomeni di ritiro.....	61
12.	VERIFICHE DI DEFORMAZIONE E VIBRAZIONE	62
12.1.	INFLESSIONE NEL PIANO VERTICALE DELL’IMPALCATO	62
12.2.	STATO LIMITE DI COMFORT DEI PASSEGGERI.....	62
13.	RIFERIMENTI.....	63
13.1.	DOCUMENTI REFERENZIATI.....	63
13.2.	DOCUMENTI CORRELATI.....	63
13.3.	DOCUMENTI SUPERATI.....	63

1. INTRODUZIONE

La presente relazione è relativa al calcolo dello scatolare ferroviario facente parte dell'opera denominata "SLZ3 – Sottopasso poderale pk 110+046.622", prevista nell'ambito dei lavori inerenti la linea A.V./A.C. TORINO – VENEZIA, tratta MILANO – VERONA, lotto funzionale Brescia – Verona, ubicata al km 110+046.622 della linea ferroviaria.

La struttura scatolare, realizzata in c.a. mediante getto in opera, ha dimensioni interne trasversali pari a 5.90×5.00m, una dimensione longitudinale pari a 19.90m e presenta un ricoprimento, ovvero la distanza tra la quota del piano del ferro e l'estradosso della soletta superiore, pari a 1.20m.

L'analisi strutturale viene effettuata su un modello piano che descrive una striscia larga 1.00m, secondo i criteri di calcolo descritti nei paragrafi seguenti. L'analisi viene svolta con un programma agli elementi finiti schematizzando i vari setti con elementi "beam" mutuamente incastrati e facendo riferimento ad una larghezza unitaria di struttura che viene pertanto risolta come struttura piana.

Le azioni considerate nel calcolo sono quelle tipiche di una struttura interrata con le aggiunte delle azioni di tipo ferroviario, con applicazione della Normativa sui ponti ferroviari D. M. Min. II. TT. del 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni.

L'opera, ubicata nel Comune di Calcinato (BS), ricade in zona sismica: verranno pertanto considerate anche le azioni derivanti dall'analisi sismica, secondo quanto previsto dal D.M. 14/01/08.

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. II. 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.

3. CRITERI DI CALCOLO

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. Criteri e definizione dell'azione sismica

L'effetto dell'azione sismica di progetto sull'opera nel suo complesso, includendo il volume significativo di terreno, la struttura di fondazione, gli elementi strutturali e non strutturali, nonché gli impianti, deve rispettare gli stati limite ultimi e di esercizio definiti al § 3.2.1, i cui requisiti di sicurezza sono indicati nel § 7.1 della norma.

Per Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) si intende che l'opera a seguito del terremoto subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali e impiantistici e significativi danni di componenti strutturali, cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali (creazione di cerniere plastiche secondo il criterio della gerarchia delle resistenze), mantenendo ancora un margine di sicurezza (resistenza e rigidezza) nei confronti delle azioni verticali.

In merito alle opere scatolari di cui trattasi, nel rispetto del punto § 7.9.2., assimilando l'opera scatolare alla categoria delle spalle da ponte, rientrando tra le opere che si muovono con il terreno (§ 7.9.2.1), si può ritenere che la struttura debba mantenere sotto l'azione sismica un comportamento elastico; queste categorie di opere che si muovono con il terreno non subiscono le amplificazioni dell'accelerazione del suolo.

Per la definizione dell'azione sismica occorre definire il periodo di riferimento P_{VR} in funzione dello stato limite considerato.

La vita nominale (V_N) dell'opera è stata assunta pari a 100 anni.

La classe d'uso assunta è la III.

Il periodo di riferimento (V_R) per l'azione sismica, data la vita nominale e la classe d'uso, vale:

$$V_R = V_N \cdot C_u = 150 \text{ anni}$$

Il valore di probabilità di superamento del periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente, è:

$$P_{VR}(SLV) = 10\%$$

Il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R espresso in anni vale:

$$T_R(SLV) = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = 1424 \text{ anni}$$

Dato il valore del periodo di ritorno suddetto, tramite le tabelle riportate nell'Allegato B della norma o tramite la mappatura messa a disposizione in rete dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), è possibile definire i valori di a_g , F_0 , T^*_c .

- $a_g \rightarrow$ accelerazione orizzontale massima del terreno su suolo di categoria A, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;
- $F_0 \rightarrow$ valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

- T^*_c → periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;
- S → coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e dell'amplificazione topografica (S_t).

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico (N.T. par. 7.11.6). In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Le spinte delle terre, considerando lo scatolare una struttura rigida e priva di spostamenti (NT par. 7.11.6.2.1 e EC8-5 par.7.3.2.1), sono calcolate in regime di spinta a riposo, condizione che comporta il calcolo delle spinte in condizione sismica con l'incremento dinamico di spinta del terreno calcolato secondo la formula di Wood:

$$\Delta P_d = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot h_{tot}^2$$

La spinta si considera come un carico uniformemente distribuito su h_{tot} .

L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali e verticali, date dal prodotto delle forze di gravità per le accelerazioni sismiche massime attese al suolo, considerando la componente verticale agente verso l'alto o verso il basso, in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli.

3.2. Combinazione di carico

Le combinazioni di carico, considerate ai fini delle verifiche, sono stabilite in modo da garantire la sicurezza in conformità a quanto prescritto al cap. 2 delle NTC.

3.2.1. Combinazioni per la verifica allo 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 strutturali agli stati limite ultimi sono 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 5.2.IV delle N.T.C. con i coefficienti parziali di sicurezza ferroviari indicati in tabella 5.2.V e i coefficienti di combinazione dei carichi ferroviari della tabella 5.2.VI, presenti al capitolo 5.2.3.3.1 delle N.T.C.; per quanto riguarda i coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno, si fa riferimento alla tabella 6.2.II 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.

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

L'azione sismica è calcolata come combinazione delle componenti orizzontali con quella verticale come $E = 1.0 \times E_x + 0.3 \times E_y + 0.3 \times E_z$ con rotazione dei coefficienti moltiplicativi.

I valori del coefficiente ψ_{2i} sono quelli riportati nella tabella 5.2.VI della norma; la stessa propone nel caso di ponti, e più in generale per opere ferroviarie, di assumere per i carichi dovuti al transito dei mezzi $\psi_{2i} = 0.2$ (condizione cautelativa).

3.2.2. Combinazioni per la verifica allo SLE

Le combinazioni di carico allo SLE vengono effettuate adottando i gruppi di azioni indicati in tabella 5.2.IV delle N.T.C. con i coefficienti di combinazione dei carichi ferroviari della tabella 5.2.VI delle N.T.C. presenti al capitolo 5.2.3.3.2 della norma.

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (fessurazione/stato tensionale) si definiscono le seguenti combinazioni:

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

Frequente $\Rightarrow G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \Rightarrow (\Phi_d' = \Phi_k')$

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

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 piedritti e della soletta di copertura dello scatolare, si prevede l'utilizzo di calcestruzzo avente classe di resistenza C30/37 ($R_{ck} \geq 37 \text{ N/mm}^2$) che presenta le seguenti caratteristiche:

- Resistenza caratteristica a compressione (cilindrica) $\rightarrow f_{ck} = 0.83 \times R_{ck} = 30.71 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza media a compressione $\rightarrow f_{cm} = f_{ck} + 8 = 38.71 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico $\rightarrow E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 33019 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione $\rightarrow f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 0.85 * f_{ck} / 1.5 = 17.40 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a trazione media $\rightarrow f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} = 2.94 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a trazione $\rightarrow f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} = 2.059 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a trazione di calcolo $\rightarrow f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.373 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a compressione (comb. Rara) $\rightarrow \sigma_c = 0.55 \times f_{ck} = 16.89 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a compressione (comb. Quasi permanente) $\rightarrow \sigma_c = 0.40 \times f_{ck} = 12.28 \text{ N/mm}^2$

Per la realizzazione della soletta inferiore dello scatolare, si prevede l'utilizzo di calcestruzzo avente classe di resistenza C25/30 ($R_{ck} \geq 30 \text{ N/mm}^2$) che presenta le seguenti caratteristiche:

- Resistenza caratteristica a compressione (cilindrica) $\rightarrow f_{ck} = 0.83 \times R_{ck} = 24.90 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza media a compressione $\rightarrow f_{cm} = f_{ck} + 8 = 32.90 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico $\rightarrow E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 31447 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione $\rightarrow f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 0.85 * f_{ck} / 1.5 = 14.11 \text{ N/mm}^2$
- 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) $\rightarrow \sigma_c = 0.55 \times f_{ck} = 13.69 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a compressione (comb. Quasi permanente) $\rightarrow \sigma_c = 0.40 \times f_{ck} = 9.96 \text{ N/mm}^2$

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/mm²
- Tensione caratteristica a rottura $\rightarrow f_{tk} \geq 540$ N/mm²
- Tensione in condizione di esercizio (comb. Rara) $\rightarrow \sigma_s = 0.75 * f_{yk} = 337.50$ N/mm²
- Fattore di sicurezza acciaio $\rightarrow \gamma_s = 1.15$
- Resistenza a trazione di calcolo $\rightarrow f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391.30$ N/mm²

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:

Fondazione/ Elevazione CLASSE DI ESPOSIZIONE XC4 + XF1

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: $c_{nom} = c_{min} + h$. Considerate le condizioni ambientali dell'opera e le classi di resistenza del calcestruzzo, si adotta un copriferro nominale pari a $c_{nom} = 40$ mm.

5. PARAMETRI SISMICI

Le azioni sismiche impiegate sono rappresentative del territorio Comunale dove è ubica l'opera e risultano maggiori rispetto ai valori calcolati considerando le coordinate geografiche.

Ai fini della caratterizzazione sismica, essendo l'opera ubicata nel comune di Calcinato in provincia di Brescia, i parametri sismici per lo SLV (TR=1424 anni) sono i seguenti:

$$a_g = 0.230g$$

$$a_{gv} = 0.149g;$$

$$F_0 = 2.477;$$

$$T^*_c = 0.282 s;$$

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

$$S_s = 1.172$$

$$S_T = 1.0$$

L'accelerazione massima orizzontale viene valutata pari a:

$$a_{\max} (SLV) = S a_g = 1.172 \times 1.00 \times 0.230 g = 0.270 g$$

6. PARAMETRI GEOTECNICI

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

Materiali da rinterro a tergo dello scatolare:

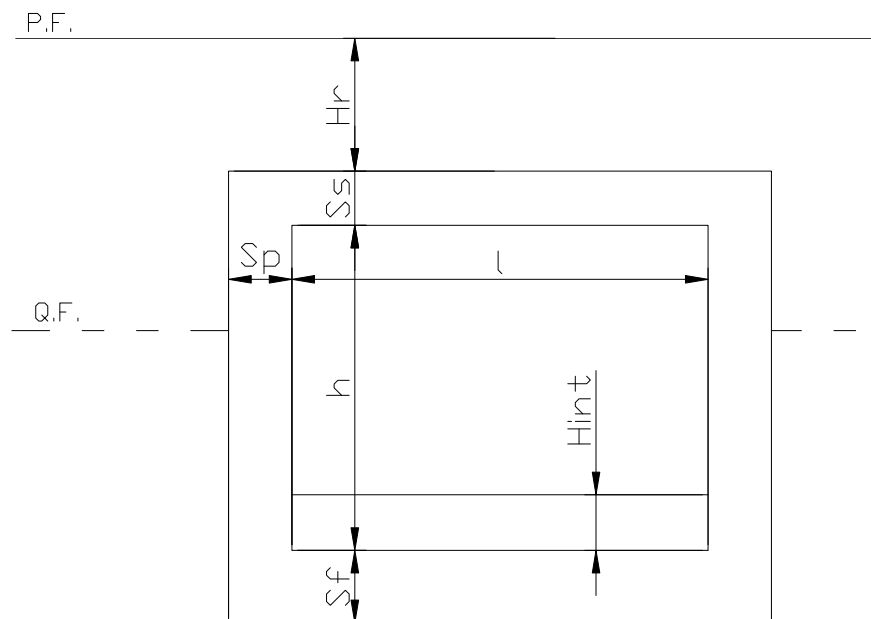
- $\Phi'_k = 35^\circ$
- $\gamma_m = 20 \text{ kN/m}^3$
- $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$
- $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$

Il coefficiente di spinta a riposo corrispondente è pari a $k_0 = 0.426$.

Per quanto riguarda le caratteristiche geotecniche del terreno in situ, si rimanda allo specifico documento Rif. [1].

7. GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

Si riportano di seguito le dimensioni geometriche della struttura:



Dimensioni geometriche (sezione in retto):

- $l = 5.00$ m
- $h = 5.90$ m
- $Ss = 0.60$ m
- $Sf = 0.70$ m
- $Sp = 0.60$ m
- $Hr = 1.20$ m
- P.F. = quota Piano Ferro
- Q.F. = quota Falda

La falda risulta posizionata al di sotto del piano di fondazione dello scatolare e pertanto non influenza il dimensionamento dell'opera.

L'asse del sottopasso è posizionato in retto rispetto all'asse ferroviario.

8. MODELLAZIONE STRUTTURALE

8.1. Codice di calcolo – rispetto del capitolo 10.2 delle NTC08

L'analisi della struttura scatolare è stata condotta con un programma agli elementi finiti schematizzando i vari setti con elementi mutuamente incastrati e facendo riferimento ad una larghezza unitaria di struttura che viene pertanto risolta come struttura piana.

8.1.1. Tipo di analisi svolta

Trattandosi di opera interrata di tipo rigido la determinazione delle sollecitazioni sia in campo statico che in campo sismico è stata svolta mediante analisi statica lineare secondo le teorie classiche della Scienza delle Costruzioni, trascurando le eventuali capacità dissipative della struttura ($q=1$) e sfruttando il principio di sovrapposizione degli effetti.

L'analisi strutturale è stata svolta mediante un codice di calcolo FEM attraverso la modellazione con elementi di tipo "beam" a 2 nodi con 6 g.d.l.. Il metodo FEM sfrutta l'analisi di calcolo matriciale mediante costruzione della matrice di rigidezza della struttura. Le sollecitazioni ottenute per ciascun caso di carico vengono combinate tra loro mediante gli opportuni coefficienti di combinazione previsti dalla normativa secondo il principio di sovrapposizione degli effetti.

La verifica delle sezioni è stata svolta mediante calcolo dei valori di sollecitazione resistente allo SLU e mediante determinazione delle tensioni sui materiali o dell'ampiezza delle fessure per le verifiche agli SLE. Le operazioni di calcolo dei valori resistenti sono sviluppate mediante metodo analitico con l'ausilio di fogli di calcolo autoprodotti per automatizzare la procedura.

Le combinazioni di carico considerate per ciascuno stato limite sono riportate in forma tabellare nei capitoli specifici.

8.1.2. Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Per la determinazione delle sollecitazioni è stato impiegato il software FEM denominato SAP2000, prodotto dalla Computer e Structure inc. e distribuito dalla CSI Italia srl.

8.1.3. Affidabilità dei codici utilizzati

Riguardo il codice FEM impiegato, la casa produttrice ha provveduto alla produzione di tutti i documenti di validazione del software che non sono allegati alla presente relazione di calcolo per ragioni di sintesi, ma che possono essere forniti in qualsiasi momento o richiesti direttamente alla casa produttrice.

8.1.4. Informazioni generali sull'elaborazione

Sono stati eseguiti i seguenti controlli relativi al calcolo svolto mediante software FEM:

- verifica analitica della risultante dei carichi applicati al modello;
- verifica a vista della rispondenza dei diagrammi di momento flettente e delle deformate con i carichi applicati;
- verifica analitica dei valori di sollecitazione mediante combinazione dei carichi elementari.

8.1.5. Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

Data la semplicità dello schema di calcolo e l'impiego di una modellazione FEM con 6 g.d.l., i risultati numerici svolti portano a risultati perfettamente rispondenti al medesimo calcolo svolto con linea elastica indipendentemente dalla geometria o dal numero di elementi impiegati per la modellazione. Si escludono pertanto errori di calcolo legati al metodo numerico.

Le verifiche svolte in corso di analisi, riassunte precedentemente, consentono l'individuazione di eventuali errori grossolani di modellazione geometrica o di modellazione, applicazione e combinazione dei carichi.

Le verifiche strutturali svolte in via analitica secondo la formulazione classiche della Scienza delle Costruzioni, escludono la possibilità di errori numerici di calcolo.

8.2. Modellazione adottata

La struttura viene schematizzata attraverso un modello analitico agli elementi finiti, assumendo uno schema statico di telaio chiuso.

L'analisi strutturale viene condotta con il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tenso-deformativo indotto da carichi statici.

Il suolo viene modellato facendo ricorso all'usuale artificio delle molle elastiche alla Winkler.

La caratteristica elastica della generica molla viene calcolata nel seguente modo:

- K_s = costante di sottofondo $[F/L^3]$
- b_t = interasse trasversale di competenza della generica molla
- b_l = interasse longitudinale di competenza della generica molla (= 1.00 m)
- $W_s = K_s / (b_t \times b_l)$ = caratteristica elastica della generica molla

La costante di sottofondo adottata per la modellazione, funzione del tipo di terreno presente in sito, è pari a:

$$K_s = 5000 \text{ kN/m}^3$$

Per le caratteristiche geometriche delle varie aste si è quindi assunto:

- una sezione rettangolare $b \times h = 100 \times S_s$ cm per la soletta superiore
- una sezione rettangolare $b \times h = 100 \times S_f$ cm per la soletta di fondazione
- una sezione rettangolare $b \times h = 100 \times S_p$ cm per i piedritti.

Per quanto riguarda la rigidezza delle aste del reticolo si è assunto:

- $E_c = 33019 \text{ N/mm}^2$ (Per cls Rck 37);
- $E_c = 31447 \text{ N/mm}^2$ (Per cls Rck 30).

Lo schema statico della struttura e la relativa numerazione dei nodi e delle aste sono riportati nelle seguenti figure.

Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
12

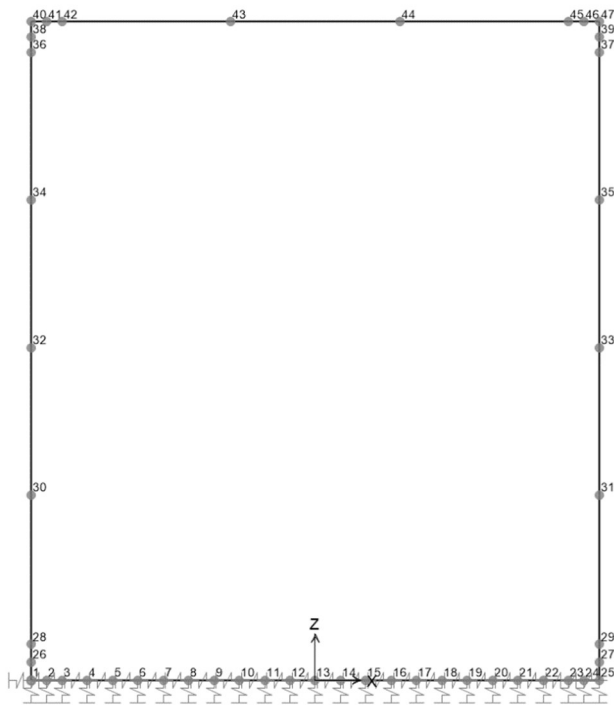
Codifica Documento
E E2 CL SLZ3 A0 001

Rev.
A

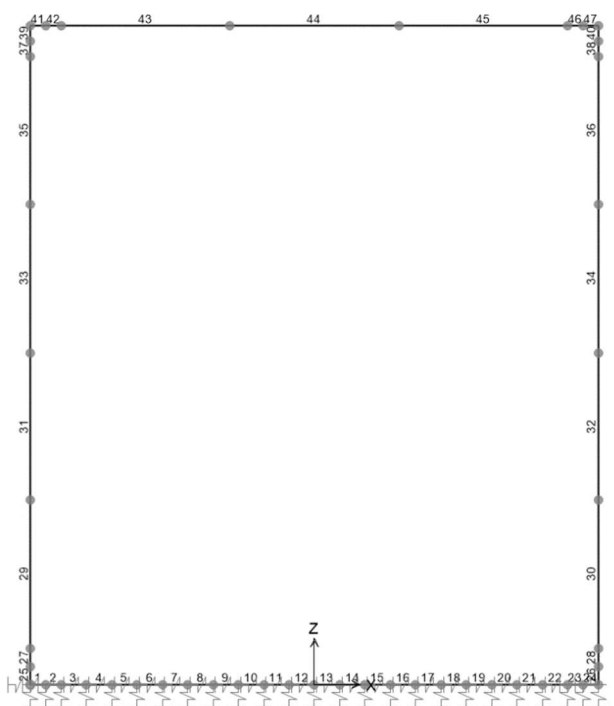
Foglio
17 di 63

8.3. Modellazione scatolare

Numerazione dei nodi:



Numerazione delle aste:



9. ANALISI DEI CARICHI

Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari da assumere per le verifiche di resistenza in esercizio ed in presenza dell'evento sismico.

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	kN/m ³
- rilevato:	γ_{ril}	= 20	kN/m ³
- sovrastruttura ferroviaria:	γ_{ric}	= 24	kN/m ³
- massicciata + armamento:	$\gamma_{ballast}$	= 18	kN/m ³

9.1. Peso proprio strutture (Load1)

- soletta superiore	$S_s \times \gamma_{c.a.} = 0.60 \times 25.00$	= 15.00 kN/m ²
- piedritti	$S_p \times \gamma_{c.a.} = 0.60 \times 25.00$	= 15.00 kN/m ²
- soletta inferiore	$S_i \times \gamma_{c.a.} = 0.70 \times 25.00$	= 17.50 kN/m ²

9.2. Carichi permanenti portati (Load2 e Load3)

Si considera che il ballast abbia uno spessore pari a 80 cm.

Load2 (sovraccarico ad esclusione del ballast ed armamento):

$$\text{peso sovrastruttura ferroviaria } (H_r - H_{ballast}) \times \gamma_{ric} = (1.20 - 0.80) \times 24.00 = 9.60 \text{ kN/m}^2$$

Load 3 (sovraccarico dovuto a ballast e armamento):

$$\text{peso ballast + armamento } H_{ballast} \times \gamma_{ballast} = 0.80 \times 18.00 = 14.40 \text{ kN/m}^2$$

9.3. Spinta del terreno (Load4 e Load5)

Il rinterro a ridosso dello scatolare verrà realizzato tramite materiale arido di buone caratteristiche meccaniche. Secondo quanto riportato in precedenza per il rinterro si assumono i seguenti parametri:

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

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

$$\phi'_k = 35^\circ$$

$$k_{0,k} = 0.4264$$

$$k_{0,M1} = 0.4264$$

$$k_{0,M2} = 0.5113$$

$$k_{a,k} = 0.2710$$

$$k_{a,M1} = 0.2710$$

$$k_{a,M2} = 0.3434$$

Si riporta di seguito il calcolo delle pressioni agenti sulla struttura, eseguito sia per la Combinazione 1 (A1+M1+R1) che per la Combinazione 2 (A2+M2+R2), ed indicando con Load 4 le spinte a riposo sul piedritto sinistro e con Load 5 quelle sul piedritto destro.

Approccio 1 – Combinazione 1

- Pressione in asse soletta superiore:

$$P_1 (h_1 = 1.20 + 0.60/2 = 1.50\text{m}) = k_{0,M1} \times [H_{\text{ballast}} \times \gamma_{\text{ballast}} + (h_1 - H_{\text{ballast}}) \times \gamma_t] =$$

$$= 0.4264 \times [(0.80 \times 18 + (1.50 - 0.80) \times 20)] = \mathbf{12.11 \text{ kN/m}^2}$$

- Pressione in asse soletta inferiore:

$$P_2 (h_2 = 1.20 + 0.60 + 5.90 + 0.70/2 = 8.05\text{m}) = P_1 + k_{0,M1} \times (h_2 - h_1) \times \gamma_t =$$

$$= 12.11 + 0.4264 \times (8.05 - 1.50) \times 20 = \mathbf{67.97 \text{ kN/m}^2}$$

Approccio 1 – Combinazione 2

- Pressione in asse soletta superiore:

$$P_1 (h_1 = 1.20 + 0.60/2 = 1.50\text{m}) = k_{0,M2} \times [H_{\text{ballast}} \times \gamma_{\text{ballast}} + (h_1 - H_{\text{ballast}}) \times \gamma_t] =$$

$$= 0.5113 \times [(0.80 \times 18 + (1.50 - 0.80) \times 20)] = \mathbf{14.52 \text{ kN/m}^2}$$

- Pressione in asse soletta inferiore:

$$P_2 (h_2 = 1.20 + 0.60 + 5.90 + 0.70/2 = 8.05\text{m}) = P_1 + k_{0,M2} \times (h_2 - h_1) \times \gamma_t =$$

$$= 14.52 + 0.5113 \times (8.05 - 1.50) \times 20 = \mathbf{81.50 \text{ kN/m}^2}$$

9.4. Azioni termiche e ritiro (Load 6 ÷ 9)

Sono stati considerati gli effetti dovuti alle variazioni termiche. In particolare, è stata considerata una variazione termica uniforme di $\pm 15^\circ \text{C}$ sulla soletta superiore (Load 6 e Load 7), ed un salto termico di 5°C (analizzando i due casi di intradosso più caldo dell'estradosso e viceversa), con andamento lineare nello spessore della soletta superiore (Load 8 e Load 9).

Il valore applicato della variazione termica uniforme viene ridotto di 1/3 per considerare gli effetti viscosi del calcestruzzo, ed è quindi pari a $\pm 5^\circ \text{C}$.

Per il coefficiente di dilatazione termica si assume:

$$\alpha = 10 \times 10^{-6} = 0.00001 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Ritiro

Gli effetti del ritiro vanno valutati a “lungo termine” attraverso il calcolo dei coefficienti di ritiro finale $\epsilon_{cs}(t, t_0)$ e di viscosità $\phi(t, t_0)$, come definiti nell'EC 2- UNI EN 1992-1-1 Novembre 2005 e D. M.14-01-2008.

L'analisi delle sollecitazioni viene svolta per una striscia di larghezza unitaria della sola soletta superiore, assumendo la dimensione convenzionale h_0 pari a $2 \times A/u = 2 \times H = 120 \text{ cm}$, ed un calcestruzzo C30/37 classe N.

Caratteristiche della sezione:

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

$$H = 60 \text{ cm}$$

Deformazione da ritiro:

$$U.R. = 75\%$$

$$\epsilon_{ca}(t = \infty) = 2.5 \times (f_{ck} - 10) \times 10^{-6} = 2.5 \times (0.83 \times 37 - 10) \times 10^{-6} = 0.052 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{cd}(t = \infty) = k_h \times \epsilon_{cd,0} = 0.7 \times 0.32 \text{ ‰} = 0.22 \text{ ‰ (per calcestruzzo C30/37 classe N, U.R.=75\%)}$$

$$\epsilon_r = \epsilon_{ca} + \epsilon_{cd} = 0.273 \text{ ‰}$$

Effetto viscosità:

Il modulo viscoso a tempo infinito, in considerazione del valore di h_0 , della resistenza del calcestruzzo e della U.R., può cautelativamente essere assunto pari a $\phi(t = \infty) = 2.5$.

Il ritiro viene considerato nel calcolo delle sollecitazioni come un'azione termica applicata alla soletta superiore di intensità pari a:

$$\alpha \times \Delta T \times E_c = -\epsilon_r \times E_c / (1 + \phi)$$

$$\Delta T = -\epsilon_r / [\alpha \times (1 + \phi)] = -0.273 \text{ ‰} / [10 \times 10^{-6} \times (1 + 2.5)] = -7.80 \cong -10 \text{ °C.}$$

L'azione termica viene combinata con le altre azioni solamente quando il suo contributo incrementa le sollecitazioni. Per semplicità di calcolo, essa si considera sommata all'azione termica uniforme negativa (**Load 7**), considerando quindi un'azione pari a:

$$\Delta T^{(c)} = -5 - 10 = -15 \text{ °C.}$$

9.5. Carichi mobili verticali sulla soletta superiore (Load 10 e Load 11)

Detta L_d la *larghezza di diffusione del carico trasversale* dalla rotaia alla quota del piano medio della soletta di copertura, assumendo che detta diffusione avvenga con rapporto 4/1 lungo il ballast ed il terrapieno e 1/1 lungo le strutture in c.a., si ottiene, considerando 2.60 m la larghezza della traversina:

$$L_d = 2.60 + 2 \times ((H_r - 0.40)/4 + S_g/2) = 2.60 + 2 \times ((1.20 - 0.40)/4 + 0.6/2) = 3.60 \text{ m} < 4.50 \text{ m (interasse binario)}$$

Incremento dinamico per linee con elevato standard manutentivo

Nel caso di scatolare con luce singola si considera la situazione di trave continua a tre luci.

L_ϕ = lunghezza caratteristica in metri, valutata come:

$$L_\phi = k \times L_m$$

$$L_m = 1/n (L_1 + L_2 + \dots + L_n)$$

$$n = 2 - 3 - 4 - \geq 5$$

$$k = 1.2 - 1.3 - 1.4 - 1.5$$

In questa situazione il coefficiente ϕ va ridotto con il coefficiente 0.9.

Ne deriva:

$$k = 1.3.$$

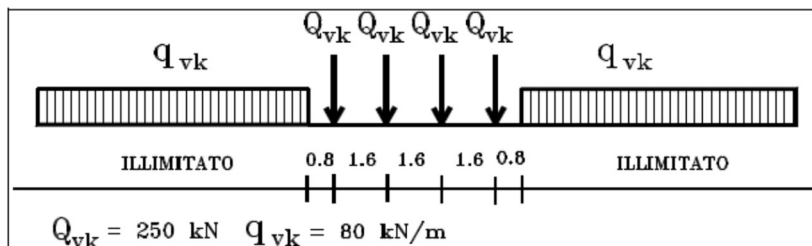
$$n = 3$$

$$L_\phi = 1.3 \times (1/3 \times (6.55 + 5.60 + 6.55)) = 8.10 \text{ m}$$

$$\phi_2 = 0.9 \times [1.44/(\sqrt{L_\phi} - 0.2) + 0.82] = 1.228.$$

Treno LM71 (Load 10)

Il treno LM71 è schematizzato da quattro assi da 250 kN su una lunghezza di 6.4m e da un carico distribuito di 80 kN/m in entrambe le direzioni per una lunghezza illimitata.



Treno di carico LM71

Si determina la larghezza di diffusione in direzione longitudinale del singolo asse, considerando una larghezza della traversina pari a 0.25m:

$$L_1 = 0.25 + 2 \times ((1.20 - 0.40)/4 + 0.60/2) = 1.25 \text{ m} < 1.60 \text{ m}.$$

La lunghezza di ripartizione longitudinale risulta minore all'interasse delle traverse, si considera un'unica impronta di carico di lunghezza pari a $L_1 = 1.25 + 3 \times 1.60 = 6.05 \text{ m}$.

Tutti i valori dei carichi suddetti dovranno essere moltiplicati per un coefficiente di adattamento "α", variabile in ragione della tipologia dell'infrastruttura (ferrovie ordinarie, ferrovie leggere, metropolitane, ecc.).

Modello di carico	Coefficiente "α"
LM71	1.1
SW/0	1.1
SW/2	1.0

Coefficiente di adattamento "α" in funzione del modello di carico

Il carico equivalente distribuito relativo ai quattro assi vale:

$$q_{\text{equi}} = 250 \times 4 / 6.05 = 165.29 \text{ kN/m}$$

- in corrispondenza dei quattro assi da 250 kN

$$q_1 = \alpha \times q_{\text{equi}} / L_{d1} \times \phi_2 = 1.10 \times 165.29 / 3.60 \times 1.228 = \mathbf{62.00 \text{ kN/m}^2}$$

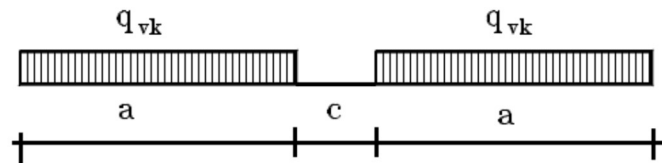
- in corrispondenza del carico $q = 80 \text{ kN/m}$

$$q_2 = \alpha \times q / L_{d1} \times \phi_2 = 1.10 \times 80 / 3.60 \times 1.228 = \mathbf{30.01 \text{ kN/m}^2}.$$

La lunghezza di diffusione del mezzo pesante è praticamente uguale alla larghezza lorda dello scatolare, si considererà pertanto un'unica condizione di carico con il mezzo pesante uniformemente distribuito su tutta la luce di calcolo (Load 10).

Treno SW/2 (Load 11)

Viene schematizzato da un carico uniformemente ripartito



Treno di carico SW

Tale carico schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante.

L'articolazione del carico è mostrata nella figura sopra riportata e, per tale modello di carico, sono considerate due distinte configurazioni denominate SW/0 ed SW/2 (l'SW/0 va considerato solo per travi continue qualora più sfavorevole dell'LM71).

Treno di Carico	q_{vk} [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	133	15.0	5.3
SW/2	150	25.0	7.0

Caratteristiche Treno di Carico SW

Per i manufatti scatolari in oggetto non si prende in considerazione il treno SW/0.

$$q_{vk} = 150 \text{ kN/m}$$

$$q = q_{vk} / L_d \times \phi_2 = 150 / 3.60 \times 1.228 = \mathbf{51.15 \text{ kN/m}^2}$$

Si considera il treno di carico SW/2 applicato su tutta la soletta superiore (Load 11).

9.6. Spinta del sovraccarico sul rilevato (Load 12 e Load 13)

Approccio 1 – Combinazione 1

Per quanto riguarda il carico del treno LM71, in considerazione della larghezza dello scatolare e della disposizione di carico assunta e precedentemente descritta, risulta agente a tergo dei piedritti il carico dovuta al mezzo pesante; si ha pertanto (Load 12):

$$p_1 = \alpha \times q / L_{d1} \times k_{0,M1} = 1.10 \times 165.29 / 3.60 \times 0.4264 = \mathbf{21.54 \text{ kN/m}^2}$$

Per il treno SW/2 si ottiene (Load 13):

$$p_2 = q_{vk} / L_{d1} \times k_{0,M1} = 150 / 3.60 \times 0.4264 = \mathbf{17.77 \text{ kN/m}^2}$$

Approccio 1 – Combinazione 2

Per quanto riguarda il carico del treno LM71, in considerazione della larghezza dello scatolare e della disposizione di carico assunta e precedentemente descritta, risulta agente a tergo dei piedritti il carico dovuta al mezzo pesante; si ha pertanto (Load 12):

$$p_1 = \alpha \times q / L_{d1} \times k_{0,M2} = 1.10 \times 165.29 / 3.60 \times 0.5113 = \mathbf{25.82 \text{ kN/m}^2}$$

Per il treno SW/2 si ottiene (Load 13):

$$p_2 = q_{vk} / L_{d1} \times k_{0,M2} = 150 / 3.60 \times 0.5113 = \mathbf{21.30 \text{ kN/m}^2}$$

Nel modello di calcolo si considera la spinta congruente al treno di carico verticale considerato. La spinta è applicata sul solo piedritto sinistro per massimizzare gli effetti di sbilanciamento della struttura.

9.7. Frenatura e avviamento (Load 14 e Load 15)

Le forze di frenatura e di avviamento agiscono sulla sommità del binario nella direzione longitudinale dello stesso.

I valori caratteristici da considerare sono i seguenti:

$$Q_{la,k} = 33 \text{ [kN/m]} \times L \text{ [m]} \leq 1000 \text{ kN} \quad \text{avviamento per modelli di carico LM71, SW/0 e SW/2}$$

$$Q_{lb,k} = 20 \text{ [kN/m]} \times L \text{ [m]} \leq 6000 \text{ kN} \quad \text{frenatura per modelli di carico LM71 e SW/0}$$

$$Q_{lb,k} = 35 \text{ [kN/m]} \times L \text{ [m]} \quad \text{frenatura per modello di carico SW/2}$$

Treno LM71 – avviamento (Load 14)

$$Q_{avv,LM71} = 33.0 / L_d = 33.0 / 3.60 = 9.17 \text{ kN/m}^2$$

Tale valore viene incrementato per tenere conto della riduzione di lunghezza della soletta nel modello di calcolo:

$$Q_{avv,LM71} = 9.17 \times (6.20/5.60) = \mathbf{10.15 \text{ kN/m}^2}$$

Treno SW/2 – frenatura (Load 15)

$$Q_{fren,SW/2} = 35.0 / L_d = 35.0 / 3.60 = 9.72 \text{ kN/m}$$

Tale valore viene incrementato per tenere conto della riduzione di lunghezza della soletta nel modello di calcolo:

$$Q_{fren,SW/2} = 9.72 \times (6.20/5.60) = \mathbf{10.76 \text{ kN/m}^2}$$

Nel modello di calcolo si considera l'azione congruente al treno di carico verticale considerato. La spinta è applicata da sinistra verso destra per massimizzare gli effetti di sbilanciamento della struttura.

9.8. Sovraccarichi accidentali sulla soletta di fondazione

A favore di sicurezza si trascurano i carichi presenti sulla soletta di fondazione.

9.9. Serpeggio

Poiché l'asse del sottopasso è posto in retto rispetto all'asse ferroviario e poiché la sezione di calcolo è ortogonale all'asse del sottopasso, la forza longitudinale relativa al serpeggio risulta ortogonale al piano del telaio di calcolo: essa non dà perciò effetti nel modello e non viene quindi quantificata.

9.10. Forza centrifuga

L'asse ferroviario in corrispondenza del sottopasso non è in curva e quindi sulla struttura non agisce una forza centrifuga.

9.11. Azione sismica (Load 16÷21)

La risultante delle forze inerziali orizzontali indotte dal sisma viene valutata con la seguente espressione:

$$F_h = P \times a_{gh};$$

$$F_v = P \times a_{gv};$$

P = peso proprio;

a_g = accelerazioni sismiche al suolo.

$a_{gh} = 0.270$ g, accelerazione orizzontale;

$a_{gv} = 0.149$ g, accelerazione verticale.

Per tener conto dell'incremento di spinta del terreno dovuta al sisma si fa riferimento all'EC8-5, appendice E – “Analisi semplificata per le strutture di contenimento”, punto 9 – “Forze causate dalla spinta del terreno per strutture rigide”, in cui l'incremento di spinta sismica ΔP per la condizione a riposo viene valutato come:

$$\Delta P_d = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot h_{tot}^2$$

La risultante di tale incremento di spinta (**Load 16**) viene considerata uniformemente distribuita su tutta l'altezza della sezione verticale rigida di riferimento h_{tot} :

$$\Delta p_d = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot h_{tot} = 0.270 \times 20.0 \times 8.40 = 45.36 \text{ kN/m}^2.$$

Per tenere in conto della metà dello spessore della soletta superiore che non è modellata che subisce la forza sismica, il carico applicato alla struttura risulta pari a:

$$\Delta p_{d,incr} = \Delta p_d \times (H_{interna} + S_s + S_i) / (H_{interna} + S_s/2 + S_i) = 45.36 \times 6.85 / 6.55 = 47.44 \text{ kN/m}^2$$

Ai fini del calcolo delle azioni sismiche orizzontali dovute all'inerzia degli elementi strutturali si considera sulla soletta superiore anche l'inerzia dovuta alla presenza del rilevato (**Load 17**):

$$\text{Piedritti: } \Delta p_{p,h} = \gamma_{c.a.} \times S_p \times a_{gh} = 25 \times 0.60 \times 0.270 = 4.05 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Soletta: } \Delta p_{s,h} = (\gamma_{c.a.} \times S_s + G_{sovracc}) \times a_{gh} = (25 \times 0.50 + 24.00) \times 0.270 = 10.53 \text{ kN/m}^2$$

Sulla soletta superiore sono presenti alternativamente il treno di carico LM71 e SW/2 dei quali si considera l'inerzia della massa ad essi associata (Load 18 e Load 19).

Considerando inoltre che le N.T.C. assegnano alle masse derivanti dal carico mobile un coefficiente di combinazione $\psi_2 = 0.20$, l'effetto inerziale del treno di carico LM71 (**Load 18**) vale:

$$\Delta p_{LM71,h} = 62.00 \times 0.20 \times 0.270 = 3.35 \text{ kN/m}^2$$

Tale valore viene incrementato per tenere conto della riduzione di lunghezza della soletta nel modello di calcolo:

$$\Delta p_{LM71,h} = 3.35 \times (6.20/5.60) = 3.71 \text{ kN/m}^2$$

Analogamente, l'effetto inerziale del treno di carico SW/2 (**Load 19**) vale:

$$\Delta p_{SW/2,h} = 51.15 \times 0.20 \times 0.270 = 2.76 \text{ kN/m}^2$$

Tale valore viene incrementato per tenere conto della riduzione di lunghezza della soletta nel modello di calcolo:

$$\Delta p_{SW/2,h} = 2.76 \times (6.20/5.60) = 3.06 \text{ kN/m}^2.$$

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INORLotto
12Codifica Documento
E E2 CL SLZ3 A0 001Rev.
AFoglio
25 di 63

Ai fini del calcolo delle azioni sismiche verticali dovute all'inerzia degli elementi strutturali si considera sulla soletta superiore anche l'inerzia dovuta alla presenza del rilevato. Le azioni verticali si considerano alternativamente agenti verso l'alto o verso il basso (**Load 20, Load 21**):

$$\text{Piedritti: } \Delta p_{p,v} = \pm \gamma_{c.a.} \times S_p \times a_{gv} = \pm 25 \times 0.60 \times 0.149 = \pm 2.24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Soletta: } \Delta p_{s,v} = \pm (\gamma_{c.a.} \times S_s + G_{sovracc}) \times a_{gv} = \pm (25 \times 0.50 + 24.00) \times 0.149 = \pm 5.81 \text{ kN/m}^2$$

Sulla soletta superiore sono presenti alternativamente i treno di carico LM71 e SW/2 dei quali si considera l'inerzia della massa ad essi associata (Load 22-25). Le azioni verticali si considerano alternativamente agenti verso l'alto o verso il basso.

L'inerzia del treno LM71 si considera uniformemente distribuito sulla soletta superiore (**Load 22 e Load 23**):

$$\Delta p_{LM71,v} = \pm 62.00 \times 0.20 \times 0.149 = \pm 1.85 \text{ kN/m}^2$$

L'inerzia del treno SW/2 si considera uniformemente distribuito sulla soletta superiore (**Load 24 e Load 25**):

$$\Delta p_{SW/2,v} = \pm 51.15 \times 0.20 \times 0.149 = \pm 1.52 \text{ kN/m}^2.$$

9.12. Riepilogo dei carichi sollecitanti

Nella seguente tabella vengono riportati i valori delle sollecitazioni per i singoli casi di carico, determinati come sopra riportato.

Load 1	Soletta superiore	15,00	kN/m ²
	Piedritti	15,00	kN/m ²
	Soletta inferiore	17,50	kN/m ²
Load 2	Sovraccarico permanente	9,6	kN/m ²
Load 3	Ballast	14,40	kN/m ²
Load 4, Load 5 (con M1)	P1	12,11	kN/m ²
	P2	67,97	kN/m ²
Load 4, Load 5 (con M2)	P1	14,52	kN/m ²
	P2	81,50	kN/m ²
Load 6	T	5	°C
Load 7	T + ritiro	-15	°C
Load 8	ΔT	8,33	°C/m
Load 9	ΔT	-8,33	°C/m
Load 10	q _{LM71}	62,00	kN/m ²
Load 11	q _{SW/2}	51,15	kN/m ²
Load 12 (con M1)	p _{LM71}	21,54	kN/m ²
Load 12 (con M2)	p _{LM71}	25,82	kN/m ²
Load 13 (con M1)	p _{SW/2}	17,77	kN/m ²
Load 13 (con M2)	p _{SW/2}	21,30	kN/m ²
Load 14	Q _{avv,LM71}	10,15	kN/m ²
Load 15	Q _{fren,SW/2}	10,76	kN/m ²
Load 16	$\Delta p_{d,inc}$	47,44	kN/m ²
Load 17	$\Delta p_{p,h}$	4,05	kN/m ²
	$\Delta p_{s,h}$	10,53	kN/m ²
Load 18	$\Delta p_{LM71,h}$	3,71	kN/m ²
Load 19	$\Delta p_{SW/2,h}$	3,06	kN/m ²
Load 20	$\Delta p_{p,v+}$	2,24	kN/m ²
	$\Delta p_{s,v+}$	5,81	kN/m ²
Load 21	$\Delta p_{p,v-}$	-2,24	kN/m ²
	$\Delta p_{s,v-}$	-5,81	kN/m ²
Load 22	$\Delta p_{LM71,v+}$	1,85	kN/m ²
Load 23	$\Delta p_{SW/2,v-}$	-1,85	kN/m ²
Load 24	$\Delta p_{LM71,v+}$	1,52	kN/m ²
Load 25	$\Delta p_{SW/2,v-}$	-1,52	kN/m ²

10. CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

Gli effetti dei carichi verticali dovuti alla presenza dei convogli vanno sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti indicati in Tab. 5.2.IV (NTC).

	Azioni verticali	Frenatura e avviamento	
Gruppo 1	1	0.50	Rara e frequente
Gruppo 3	1(0,5)	1.00	Rara e frequente
Gruppo 4	0.80	0.80	Fessurazione

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).

10.1. Condizioni e combinazioni di carico adottate

Le condizioni elementari di carico considerate sono di seguito riassunte:

Load	Tipo	Carico
1	Ggk	Peso proprio della struttura
2	Gk	Peso rilevato
3	Gk	Peso ballast
4	Gk	Spinta terre da sinistra
5	Gk	Spinta terre da destra
6	Qk	Carico termico positivo uniforme
7	Qk	Carico termico negativo uniforme
8	Qk	Carico termico variabile +/-
9	Qk	Carico termico variabile -/+
10	Qk	Carico LM71 centrale
11	Qk	Carico SW/2
12	Qk	Spinta LM71 su piedritto sx
13	Qk	Spinta SW/2 su piedritto sx
14	Qk	Avviamento LM71
15	Qk	Frenatura SW/2
16	Qk	Incremento dinamico terreno
17	Qk	Azioni sismiche inerziali orizzontali da permanenti
18	Qk	Azioni sismiche inerziali orizzontali da LM71
19	Qk	Azioni sismiche inerziali orizzontali da SW/2
20	Qk	Azioni sismiche inerziali verso alto da permanenti
21	Qk	Azioni sismiche inerziali verso basso da permanenti
22	Qk	Azioni sismiche inerziali verso alto da LM71
23	Qk	Azioni sismiche inerziali verso basso da LM71
24	Qk	Azioni sismiche inerziali verso alto da SW/2
25	Qk	Azioni sismiche inerziali verso basso da SW/2

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.

10.1.1. Combinazioni SLU di tipo STR

n° CC	P.P	Rilevato	Ballast	Terra sx	Terra dx	T+ unif	T- unif	DT +	DT -	LM71	SW/2	Spinta LM71	Spinta SW/2	LM71 avviamento	SW/2 frenatura
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1		1,35	1,35	1,5	1,35	1	1,5	0	1,5	0	0	0	0	0	0
2	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0,9	0	1,45	0	0	0	0
3	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0,9	0	1,45	0	0	0	0,58
4	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0,9	0	0,58	0	0	0	1,45
5	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0,9	0	1,16	0	0	0	1,45
6	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0,9	0	1,45	0	1,45	0	0
7	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0,9	0	1,45	0	1,45	0	0,58
8	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0,9	0	0,58	0	0,58	0	1,45
9	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0,9	0	1,16	0	1,16	0	1,45
10	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0,9	0	0	1,45	0	0	0
11	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0,9	0	0	1,45	0	0	0,58
12	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0,9	0	0	0,58	0	0	1,45
13	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0,9	0	0	1,16	0	0	1,45
14	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0,9	0	0	1,45	0	1,45	0
15	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0,9	0	0	1,45	0	1,45	0,58
16	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0,9	0	0	0,58	0	0,58	1,45
17	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0,9	0	0	1,16	0	1,16	1,45
18		1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	1,5	1,5	0	0	0	0	0	0
19	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0,9	0	1,45	0	0	0	0
20	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0,9	0	1,45	0	0	0	0,58
21	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0,9	0	0,58	0	0	0	1,45
22	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0,9	0	1,16	0	0	0	1,45
23	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0,9	0	1,45	0	1,45	0	0
24	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0,9	0	1,45	0	1,45	0	0,58
25	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0,9	0	0,58	0	0,58	0	1,45
26	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0,9	0	1,16	0	1,16	0	1,45
27	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0,9	0	0	1,45	0	0	0
28	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0,9	0	0	1,45	0	0	0,58
29	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0,9	0	0	0,58	0	0	1,45
30	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0,9	0	0	1,16	0	0	1,45
31	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0,9	0	0	1,45	0	1,45	0
32	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0,9	0	0	1,45	0	1,45	0,58
33	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0,9	0	0	0,58	0	0,58	1,45
34	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0,9	0	0	1,16	0	1,16	1,45
35		1,35	1,35	1,5	1	1	1,5	0	1,5	0	0	0	0	0	0
36	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0,9	0	1,45	0	0	0	0
37	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0,9	0	1,45	0	0	0	0,58
38	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0,9	0	0,58	0	0	0	1,45
39	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0,9	0	1,16	0	0	0	1,45
40	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0,9	0	1,45	0	1,45	0	0
41	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0,9	0	1,45	0	1,45	0	0,58
42	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0,9	0	0,58	0	0,58	0	1,45
43	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0,9	0	1,16	0	1,16	0	1,45
44	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0,9	0	0	1,45	0	0	0
45	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0,9	0	0	1,45	0	0	0,58
46	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0,9	0	0	0,58	0	0	1,45
47	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0,9	0	0	1,16	0	0	1,45
48	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0,9	0	0	1,45	0	1,45	0
49	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0,9	0	0	1,45	0	1,45	0,58
50	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0,9	0	0	0,58	0	0,58	1,45
51	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0,9	0	0	1,16	0	1,16	1,45
52		1,35	1,35	1,5	1	1	0	1,5	1,5	0	0	0	0	0	0
53	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0,9	0	1,45	0	0	0	0
54	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0,9	0	1,45	0	0	0	0,58
55	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0,9	0	0,58	0	0	0	1,45

Doc. N.

Progetto
INORLotto
12Codifica Documento
E E2 CL SLZ3 AO 001Rev.
AFoglio
29 di 63

n° CC	P.P	Rilevato	Ballast	Terra sx	Terra dx	T+ unif	T- unif	DT +	DT -	LM71	SW/2	Spinta LM71	Spinta SW/2	LM71 avviamento	SW/2 frenatura	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
56	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0,9	0	1,16	0	0	0	1,45	0
57	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0,9	0	1,45	0	1,45	0	0	0
58	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0,9	0	1,45	0	1,45	0	0,58	0
59	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0,9	0	0,58	0	0,58	0	1,45	0
60	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0,9	0	1,16	0	1,16	0	1,45	0
61	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0,9	0	0	1,45	0	0	0	0
62	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0,9	0	0	1,45	0	0	0	0,58
63	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0,9	0	0	0,58	0	0	0	1,45
64	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0,9	0	0	1,16	0	0	0	1,45
65	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0,9	0	0	1,45	0	1,45	0	0
66	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0,9	0	0	1,45	0	1,45	0	0,58
67	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0,9	0	0	0,58	0	0,58	0	1,45
68	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0,9	0	0	1,16	0	1,16	0	1,45
69		1,35	1,35	1,5	1,35	1	1,5	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0
70	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0	0,9	1,45	0	0	0	0	0
71	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0	0,9	1,45	0	0	0	0,58	0
72	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0	0,9	0,58	0	0	0	1,45	0
73	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0	0,9	1,16	0	0	0	1,45	0
74	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0	0,9	1,45	0	1,45	0	0	0
75	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0	0,9	1,45	0	1,45	0	0,58	0
76	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0	0,9	0,58	0	0,58	0	1,45	0
77	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0	0,9	1,16	0	1,16	0	1,45	0
78	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0	0,9	0	1,45	0	0	0	0
79	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0	0,9	0	1,45	0	0	0	0,58
80	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0	0,9	0	0,58	0	0	0	1,45
81	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0	0,9	0	1,16	0	0	0	1,45
82	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0	0,9	0	1,45	0	1,45	0	0
83	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0	0,9	0	1,45	0	1,45	0	0,58
84	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0	0,9	0	0,58	0	0,58	0	1,45
85	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0,9	0	0	0,9	0	1,16	0	1,16	0	1,45
86		1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	1,5	0	1,5	0	0	0	0	0	0
87	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0	0,9	1,45	0	0	0	0	0
88	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0	0,9	1,45	0	0	0	0,58	0
89	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0	0,9	0,58	0	0	0	1,45	0
90	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0	0,9	1,16	0	0	0	1,45	0
91	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0	0,9	1,45	0	1,45	0	0	0
92	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0	0,9	1,45	0	1,45	0	0,58	0
93	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0	0,9	0,58	0	0,58	0	1,45	0
94	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0	0,9	1,16	0	1,16	0	1,45	0
95	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0	0,9	0	1,45	0	0	0	0
96	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0	0,9	0	1,45	0	0	0	0,58
97	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0	0,9	0	0,58	0	0	0	1,45
98	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0	0,9	0	1,16	0	0	0	1,45
99	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0	0,9	0	1,45	0	1,45	0	0
100	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0	0,9	0	1,45	0	1,45	0	0,58
101	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0	0,9	0	0,58	0	0,58	0	1,45
102	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1,35	1	0	0,9	0	0,9	0	1,16	0	1,16	0	1,45
103		1,35	1,35	1,5	1	1	1,5	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0
104	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0	0,9	1,45	0	0	0	0	0
105	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0	0,9	1,45	0	0	0	0,58	0
106	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0	0,9	0,58	0	0	0	1,45	0
107	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0	0,9	1,16	0	0	0	1,45	0
108	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0	0,9	1,45	0	1,45	0	0	0
109	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0	0,9	1,45	0	1,45	0	0,58	0
110	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0	0,9	0,58	0	0,58	0	1,45	0
111	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0	0,9	1,16	0	1,16	0	1,45	0
112	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0	0,9	0	1,45	0	0	0	0
113	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0	0,9	0	1,45	0	0	0	0,58
114	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0	0,9	0	0,58	0	0	0	1,45
115	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0	0,9	0	1,16	0	0	0	1,45
116	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0	0,9	0	1,45	0	1,45	0	0
117	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0	0,9	0	1,45	0	1,45	0	0,58
118	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0	0,9	0	0,58	0	0,58	0	1,45
119	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0,9	0	0	0,9	0	1,16	0	1,16	0	1,45
120		1,35	1,35	1,5	1	1	0	1,5	0	1,5	0	0	0	0	0	0
121	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0	0,9	1,45	0	0	0	0	0

Doc. N.

Progetto
INORLotto
12Codifica Documento
E E2 CL SLZ3 A0 001Rev.
AFoglio
30 di 63

n° CC	P.P	Rilevato	Ballast	Terra sx	Terra dx	T+ unif	T- unif	DT +	DT -	LM71	SW/2	Spinta LM71	Spinta SW/2	LM71 avviamento	SW/2 frenatura	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
122	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0	0,9	1,45	0	0	0	0,58	0
123	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0	0,9	0,58	0	0	0	1,45	0
124	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0	0,9	1,16	0	0	0	1,45	0
125	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0	0,9	1,45	0	1,45	0	0	0
126	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0	0,9	1,45	0	1,45	0	0,58	0
127	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0	0,9	0,58	0	0,58	0	1,45	0
128	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0	0,9	1,16	0	1,16	0	1,45	0
129	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0	0,9	0	1,45	0	0	0	0
130	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0	0,9	0	1,45	0	0	0	0,58
131	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0	0,9	0	0,58	0	0	0	1,45
132	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0	0,9	0	1,16	0	0	0	1,45
133	GR1-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0	0,9	0	1,45	0	1,45	0	0
134	GR1-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0	0,9	0	1,45	0	1,45	0	0,58
135	GR3-1	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0	0,9	0	0,58	0	0,58	0	1,45
136	GR3-2	1,35	1,35	1,5	1	1	0	0,9	0	0,9	0	1,16	0	1,16	0	1,45

10.1.2. Combinazioni SLU di tipo GEO

n° CC	P.P	Rilevato	Ballast	Terra sx	Terra dx	T+ unif	T- unif	DT +	DT -	LM71 centro	LM71 terra	LM71 avviamento	SW/2	SW/2 terra	SW/2 frenatura
1		1	1,3	1	1	1,3	0	1,3	0	0	0	0	0	0	0
2	GR1-1	1	1,3	1	1	0,78	0	0,78	0	1,25	0	0	0	0	0
3	GR1-2	1	1,3	1	1	0,78	0	0,78	0	1,25	0	0,5	0	0	0
4	GR3-1	1	1,3	1	1	0,78	0	0,78	0	0,5	0	1,25	0	0	0
5	GR3-2	1	1,3	1	1	0,78	0	0,78	0	1	0	1,25	0	0	0
6	GR1-1	1	1,3	1	1	0,78	0	0,78	0	1,25	1,25	0	0	0	0
7	GR1-2	1	1,3	1	1	0,78	0	0,78	0	1,25	1,25	0,5	0	0	0
8	GR3-1	1	1,3	1	1	0,78	0	0,78	0	0,5	0,5	1,25	0	0	0
9	GR3-2	1	1,3	1	1	0,78	0	0,78	0	1	1	1,25	0	0	0
10	GR1-1	1	1,3	1	1	0,78	0	0,78	0	0	0	0	1,25	0	0
11	GR1-2	1	1,3	1	1	0,78	0	0,78	0	0	0	0	1,25	0	0,5
12	GR3-1	1	1,3	1	1	0,78	0	0,78	0	0	0	0	0,5	0	1,25
13	GR3-2	1	1,3	1	1	0,78	0	0,78	0	0	0	0	1	0	1,25
14	GR1-1	1	1,3	1	1	0,78	0	0,78	0	0	0	0	1,25	1,25	0
15	GR1-2	1	1,3	1	1	0,78	0	0,78	0	0	0	0	1,25	1,25	0,5
16	GR3-1	1	1,3	1	1	0,78	0	0,78	0	0	0	0	0,5	0,5	1,25
17	GR3-2	1	1,3	1	1	0,78	0	0,78	0	0	0	0	1	1	1,25
18		1	1,3	1	1	0	1,3	1,3	0	0	0	0	0	0	0
19	GR1-1	1	1,3	1	1	0	0,78	0,78	0	1,25	0	0	0	0	0
20	GR1-2	1	1,3	1	1	0	0,78	0,78	0	1,25	0	0,5	0	0	0
21	GR3-1	1	1,3	1	1	0	0,78	0,78	0	0,5	0	1,25	0	0	0
22	GR3-2	1	1,3	1	1	0	0,78	0,78	0	1	0	1,25	0	0	0
23	GR1-1	1	1,3	1	1	0	0,78	0,78	0	1,25	1,25	0	0	0	0
24	GR1-2	1	1,3	1	1	0	0,78	0,78	0	1,25	1,25	0,5	0	0	0
25	GR3-1	1	1,3	1	1	0	0,78	0,78	0	0,5	0,5	1,25	0	0	0
26	GR3-2	1	1,3	1	1	0	0,78	0,78	0	1	1	1,25	0	0	0
27	GR1-1	1	1,3	1	1	0	0,78	0,78	0	0	0	0	1,25	0	0
28	GR1-2	1	1,3	1	1	0	0,78	0,78	0	0	0	0	1,25	0	0,5
29	GR3-1	1	1,3	1	1	0	0,78	0,78	0	0	0	0	0,5	0	1,25
30	GR3-2	1	1,3	1	1	0	0,78	0,78	0	0	0	0	1	0	1,25
31	GR1-1	1	1,3	1	1	0	0,78	0,78	0	0	0	0	1,25	1,25	0
32	GR1-2	1	1,3	1	1	0	0,78	0,78	0	0	0	0	1,25	1,25	0,5
33	GR3-1	1	1,3	1	1	0	0,78	0,78	0	0	0	0	0,5	0,5	1,25
34	GR3-2	1	1,3	1	1	0	0,78	0,78	0	0	0	0	1	1	1,25
35		1	1,3	1	1	1,3	0	0	1,3	0	0	0	0	0	0
36	GR1-1	1	1,3	1	1	0,78	0	0	0,78	1,25	0	0	0	0	0
37	GR1-2	1	1,3	1	1	0,78	0	0	0,78	1,25	0	0,5	0	0	0
38	GR3-1	1	1,3	1	1	0,78	0	0	0,78	0,5	0	1,25	0	0	0
39	GR3-2	1	1,3	1	1	0,78	0	0	0,78	1	0	1,25	0	0	0
40	GR1-1	1	1,3	1	1	0,78	0	0	0,78	1,25	1,25	0	0	0	0
41	GR1-2	1	1,3	1	1	0,78	0	0	0,78	1,25	1,25	0,5	0	0	0
42	GR3-1	1	1,3	1	1	0,78	0	0	0,78	0,5	0,5	1,25	0	0	0
43	GR3-2	1	1,3	1	1	0,78	0	0	0,78	1	1	1,25	0	0	0
44	GR1-1	1	1,3	1	1	0,78	0	0	0,78	0	0	0	1,25	0	0
45	GR1-2	1	1,3	1	1	0,78	0	0	0,78	0	0	0	1,25	0	0,5
46	GR3-1	1	1,3	1	1	0,78	0	0	0,78	0	0	0	0,5	0	1,25
47	GR3-2	1	1,3	1	1	0,78	0	0	0,78	0	0	0	1	0	1,25
48	GR1-1	1	1,3	1	1	0,78	0	0	0,78	0	0	0	1,25	1,25	0
49	GR1-2	1	1,3	1	1	0,78	0	0	0,78	0	0	0	1,25	1,25	0,5
50	GR3-1	1	1,3	1	1	0,78	0	0	0,78	0	0	0	0,5	0,5	1,25
51	GR3-2	1	1,3	1	1	0,78	0	0	0,78	0	0	0	1	1	1,25
52		1	1,3	1	1	0	1,3	0	1,3	0	0	0	0	0	0
53	GR1-1	1	1,3	1	1	0	0,78	0	0,78	1,25	0	0	0	0	0
54	GR1-2	1	1,3	1	1	0	0,78	0	0,78	1,25	0	0,5	0	0	0
55	GR3-1	1	1,3	1	1	0	0,78	0	0,78	0,5	0	1,25	0	0	0
56	GR3-2	1	1,3	1	1	0	0,78	0	0,78	1	0	1,25	0	0	0
57	GR1-1	1	1,3	1	1	0	0,78	0	0,78	1,25	1,25	0	0	0	0
58	GR1-2	1	1,3	1	1	0	0,78	0	0,78	1,25	1,25	0,5	0	0	0
59	GR3-1	1	1,3	1	1	0	0,78	0	0,78	0,5	0,5	1,25	0	0	0
60	GR3-2	1	1,3	1	1	0	0,78	0	0,78	1	1	1,25	0	0	0
61	GR1-1	1	1,3	1	1	0	0,78	0	0,78	0	0	0	1,25	0	0
62	GR1-2	1	1,3	1	1	0	0,78	0	0,78	0	0	0	1,25	0	0,5

Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
12

Codifica Documento
E E2 CL SLZ3 A0 001

Rev.
A

Foglio
32 di 63

n° CC		P.P	Rilevato	Ballast	Terra sx	Terra dx	T+ unif	T- unif	DT +	DT -	LM71 centro	LM71 terra	LM71 avviamento	SW/2	SW/2 terra	SW/2 frenatura
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
63	GR3-1	1	1	1,3	1	1	0	0,78	0	0,78	0	0	0	0,5	0	1,25
64	GR3-2	1	1	1,3	1	1	0	0,78	0	0,78	0	0	0	1	0	1,25
65	GR1-1	1	1	1,3	1	1	0	0,78	0	0,78	0	0	0	1,25	1,25	0
66	GR1-2	1	1	1,3	1	1	0	0,78	0	0,78	0	0	0	1,25	1,25	0,5
67	GR3-1	1	1	1,3	1	1	0	0,78	0	0,78	0	0	0	0,5	0,5	1,25
68	GR3-2	1	1	1,3	1	1	0	0,78	0	0,78	0	0	0	1	1	1,25

10.1.3. Combinazioni SLV

I coefficienti di combinazione SLV applicati ai singoli Load Case sono i medesimi sia per l'Approccio 1-Combinazione 1 che per l'Approccio 1-Combinazione 2.

n° CC	P.P	Rilevato	Ballast	Terra sx	Terra dx	T+ unif	T- unif	DT +	DT -	LM71 centro	SW/2	LM71 terra	SW/2 terra	LM71 avviamento	SW/2 frenatura	Incremento dinamico terreno	Azioni sismiche orizzontali	Sisma orizz da massa LM71	Sisma orizz da massa SW2	Azioni sismiche verticali verso l'alto	Azioni sismiche verticali verso il basso	Sisma verso alto da LM71	Sisma verso basso da LM71	Sisma verso alto da SW2	Sisma verso basso da SW2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
1	1	1	1	1	1	0,5	0	0,5	0	0	0	0	0	0	1	1			0,3						
2	1	1	1	1	1	0,5	0	0,5	0	0,2	0	0,2	0	0,2	0	1	1	1		0,3					
3	1	1	1	1	1	0,5	0	0,5	0	0	0,2	0	0,2	0	0,2	1	1	1		0,3		0,3		0,3	
4	1	1	1	1	1	0,5	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3				1					
5	1	1	1	1	1	0,5	0	0,5	0	0,2	0	0,2	0	0,2	0	0,3	0,3	0,3		1					
6	1	1	1	1	1	0,5	0	0,5	0	0	0,2	0	0,2	0	0,2	0,3	0,3		0,3	1		1		1	
7	1	1	1	1	1	0,5	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	1	1				0,3				
8	1	1	1	1	1	0,5	0	0,5	0	0,2	0	0,2	0	0,2	0	1	1	1			0,3		0,3		
9	1	1	1	1	1	0,5	0	0,5	0	0	0,2	0	0,2	0	0,2	1	1		1		0,3				0,3
10	1	1	1	1	1	0,5	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3				1				
11	1	1	1	1	1	0,5	0	0,5	0	0,2	0	0,2	0	0,2	0	0,3	0,3	0,3			1		1		1
12	1	1	1	1	1	0,5	0	0,5	0	0	0,2	0	0,2	0	0,2	0,3	0,3		0,3		1				1
13	1	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0	1	1			0,3					1
14	1	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0	0,2	0	0,2	0	0,2	0	1	1	1		0,3		0,3			
15	1	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0	0	0,2	0	0,2	0	0,2	1	1		1		0,3			0,3	
16	1	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3			1					0,3
17	1	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0	0,2	0	0,2	0	0,2	0	0,3	0,3	0,3		1		1		1	
18	1	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0	0	0,2	0	0,2	0	0,2	0,3	0,3		0,3					1	
19	1	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0	1	1		0,3		0,3				1
20	1	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0	0,2	0	0,2	0	0,2	0	1	1	1			0,3		0,3		0,3
21	1	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0	0	0,2	0	0,2	0	0,2	1	1		1		0,3				0,3
22	1	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3				1				
23	1	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0	0,2	0	0,2	0	0,2	0	0,3	0,3	0,3			1		1		
24	1	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0	0	0,2	0	0,2	0	0,2	0,3	0,3		0,3		1				1
25	1	1	1	1	1	0,5	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	1	1			0,3					
26	1	1	1	1	1	0,5	0	0	0,5	0,2	0	0,2	0	0,2	0	1	1	1		0,3		0,3			
27	1	1	1	1	1	0,5	0	0	0,5	0	0,2	0	0,2	0	0,2	1	1		1		0,3			0,3	
28	1	1	1	1	1	0,5	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3			1				0,3	
29	1	1	1	1	1	0,5	0	0	0,5	0,2	0	0,2	0	0,2	0	0,3	0,3	0,3			1		1		
30	1	1	1	1	1	0,5	0	0	0,5	0	0,2	0	0,2	0	0,2	0,3	0,3		0,3		1			1	
31	1	1	1	1	1	0,5	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	1	1				0,3				
32	1	1	1	1	1	0,5	0	0	0,5	0,2	0	0,2	0	0,2	0	1	1	1			0,3		0,3		
33	1	1	1	1	1	0,5	0	0	0,5	0	0,2	0	0,2	0	0,2	1	1		1		0,3			0,3	0,3
34	1	1	1	1	1	0,5	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3				1				
35	1	1	1	1	1	0,5	0	0	0,5	0,2	0	0,2	0	0,2	0	0,3	0,3	0,3			1		1		
36	1	1	1	1	1	0,5	0	0	0,5	0	0,2	0	0,2	0	0,2	0,3	0,3		0,3		1				1

Doc. N.

Progetto
INORLotto
12Codifica Documento
E E2 CL SLZ3 A0 001Rev.
AFoglio
33 di 63

n° CC	P.P	Rilevato	Ballast	Terra sx	Terra dx	T+ unif	T- unif	DT +	DT -	LM71 centro	SW/2	LM71 terra	SW/2 terra	LM71 avviamento	SW/2 frenatura	Incremento dinamico terreno	Azioni sismiche orizzontali	Sisma orizz da massa LM71	Sisma orizz da massa SW2	Azioni sismiche verticali verso l'alto	Azioni sismiche verticali verso il basso	Sisma verso alto da LM71	Sisma verso basso da LM71	Sisma verso alto da SW2	Sisma verso basso da SW2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
37	1	1	1	1	1	0	0,5	0	0,5	0	0	0	0	0	0	1	1			0,3					
38	1	1	1	1	1	0	0,5	0	0,5	0,2	0	0,2	0	0,2	0	1	1	1		0,3		0,3			
39	1	1	1	1	1	0	0,5	0	0,5	0	0,2	0	0,2	0	0,2	1	1		1	0,3				0,3	
40	1	1	1	1	1	0	0,5	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3			1				0,3	
41	1	1	1	1	1	0	0,5	0	0,5	0,2	0	0,2	0	0,2	0	0,3	0,3	0,3		1		1			
42	1	1	1	1	1	0	0,5	0	0,5	0	0,2	0	0,2	0	0,2	0,3	0,3		0,3	1				1	
43	1	1	1	1	1	0	0,5	0	0,5	0	0	0	0	0	0	1	1				0,3				
44	1	1	1	1	1	0	0,5	0	0,5	0,2	0	0,2	0	0,2	0	1	1	1			0,3		0,3		
45	1	1	1	1	1	0	0,5	0	0,5	0	0,2	0	0,2	0	0,2	1	1		1		0,3				0,3
46	1	1	1	1	1	0	0,5	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3				1		1		
47	1	1	1	1	1	0	0,5	0	0,5	0,2	0	0,2	0	0,2	0	0,3	0,3	0,3			1		1		
48	1	1	1	1	1	0	0,5	0	0,5	0	0,2	0	0,2	0	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3		1		1		1

10.1.4. Combinazioni SLE – Quasi Permanente – Caratteristica

n° CC	P.P	Rilevato	Ballast	Terra sx	Terra dx	T+ unif	T- unif	DT +	DT -	LM71 centro	SW/2	LM71 terra	SW/2 terra	LM71 avviamento	SW/2 frenatura
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
QP1	1	1	1	1	1	0,5	0	0,5	0						
QP2	1	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0						
QP3	1	1	1	1	1	0,5	0	0	0,5						
QP4	1	1	1	1	1	0	0,5	0	0,5						
Car1	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	1	0	0	0	0,5	0
Car2	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	1	0	0	0	0	0
Car3	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	1	0	1	0	0,5	0
Car4	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	1	0	1	0	0	0
Car5	gr1	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	1	0	0	0	0,5	0
Car6	gr1	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	1	0	0	0	0	0
Car7	gr1	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	1	0	1	0	0,5	0
Car8	gr1	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	1	0	1	0	0	0
Car9	gr3	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	0,5	0	0	0	1	0
Car10	gr3	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	1	0	0	0	1	0
Car11	gr3	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	1	0	1	0	1	0
Car12	gr3	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	0,5	0	0,5	0	1	0
Car13	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	0,5	0	0	0	1	0
Car14	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	1	0	0	0	1	0
Car15	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	1	0	1	0	1	0
Car16	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	0,5	0	0,5	0	1	0
Car17	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	0	1	0	0	0	0,5
Car18	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	0	1	0	0	0	0
Car19	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	0	1	0	1	0	0,5
Car20	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	0	1	0	1	0	0
Car21	gr1	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	0	1	0	0	0	0,5
Car22	gr1	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	0	1	0	0	0	0
Car23	gr1	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	0	1	0	1	0	0,5
Car24	gr1	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	0	1	0	1	0	0
Car25	gr3	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	0	0,5	0	0	0	1
Car26	gr3	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	0	1	0	0	0	1
Car27	gr3	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	0	1	0	1	0	1
Car28	gr3	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	0	0,5	0	0,5	0	1
Car29	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	0	0,5	0	0	0	1
Car30	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	0	1	0	0	0	1
Car31	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	0	1	0	1	0	1
Car32	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	0	0,5	0	0,5	0	1
Car33		1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0

Doc. N.

Progetto
INORLotto
12Codifica Documento
E E2 CL SLZ3 A0 001Rev.
AFoglio
34 di 63

n° CC	P.P	Rilevato	Ballast	Terra sx	Terra dx	T+ unif	T- unif	DT +	DT -	LM71 centro	SW/2	LM71 terra	SW/2 terra	LM71 avviamento	SW/2 frenatura
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Car34		1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Car35	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0		0,6	1	0	0	0,5	0
Car36	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0		0,6	1	0	0	0	0
Car37	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0		0,6	1	0	1	0,5	0
Car38	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0		0,6	1	0	1	0	0
Car39	gr1	1	1	1	1	1	0	0,6		0,6	1	0	0	0,5	0
Car40	gr1	1	1	1	1	1	0	0,6		0,6	1	0	0	0	0
Car41	gr1	1	1	1	1	1	0	0,6		0,6	1	0	1	0,5	0
Car42	gr1	1	1	1	1	1	0	0,6		0,6	1	0	1	0	0
Car43	gr3	1	1	1	1	1	0,6	0		0,6	0,5	0	0	1	0
Car44	gr3	1	1	1	1	1	0,6	0		0,6	1	0	0	1	0
Car45	gr3	1	1	1	1	1	0,6	0		0,6	1	0	1	1	0
Car46	gr3	1	1	1	1	1	0,6	0		0,6	0,5	0	0,5	0	1
Car47	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6		0,6	0,5	0	0	1	0
Car48	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6		0,6	1	0	0	1	0
Car49	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6		0,6	1	0	1	1	0
Car50	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6		0,6	0,5	0	0,5	1	0
Car51	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0		0,6	0	1	0	0	0,5
Car52	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0		0,6	0	1	0	0	0
Car53	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0		0,6	0	1	0	1	0,5
Car54	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0		0,6	0	1	0	1	0
Car55	gr1	1	1	1	1	1	0	0,6		0,6	0	1	0	0	0,5
Car56	gr1	1	1	1	1	1	0	0,6		0,6	0	1	0	0	0
Car57	gr1	1	1	1	1	1	0	0,6		0,6	0	1	0	1	0,5
Car58	gr1	1	1	1	1	1	0	0,6		0,6	0	1	0	1	0
Car59	gr3	1	1	1	1	1	0,6	0		0,6	0	0,5	0	0	1
Car60	gr3	1	1	1	1	1	0,6	0		0,6	0	1	0	0	1
Car61	gr3	1	1	1	1	1	0,6	0		0,6	0	1	0	1	1
Car62	gr3	1	1	1	1	1	0,6	0		0,6	0	0,5	0	0,5	1
Car63	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6		0,6	0	0,5	0	0	1
Car64	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6		0,6	0	1	0	0	1
Car65	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6		0,6	0	1	0	1	1
Car66	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6		0,6	0	0,5	0	0,5	1
Car67		1	1	1	1	1	1	0		1	0	0	0	0	0
Car68		1	1	1	1	1	0	1		1	0	0	0	0	0

Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
12

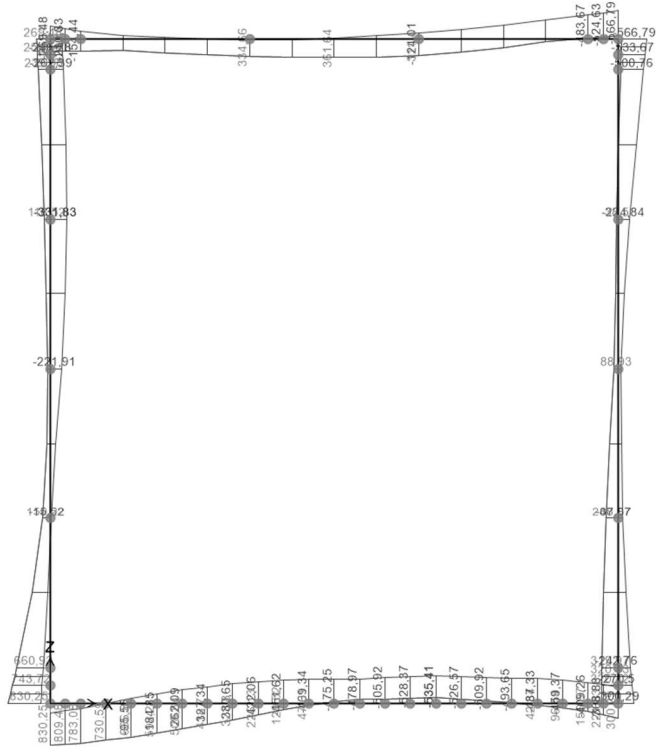
Codifica Documento
E E2 CL SLZ3 A0 001

Rev.
A

Foglio
35 di 63

10.2. Diagrammi di involucro – scatolare sotto linea AV/AC

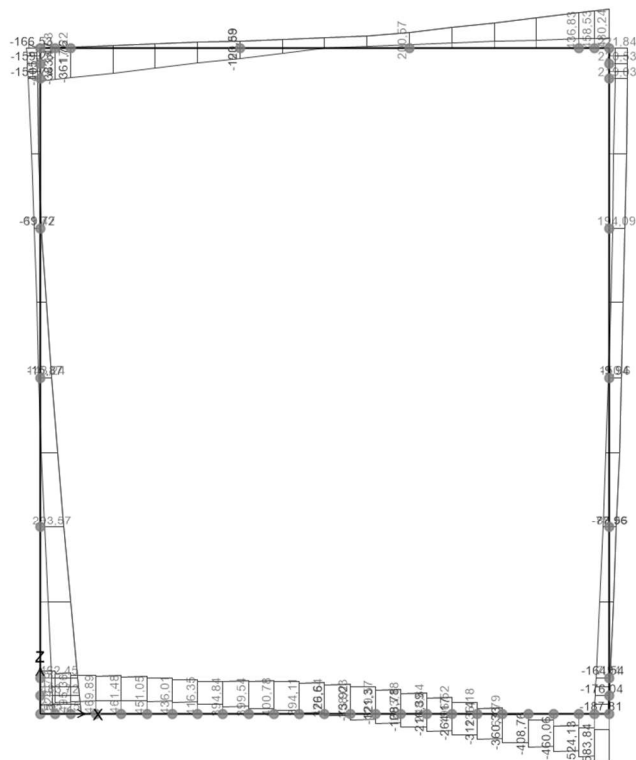
10.2.1. Involuppo momento flettente SLU/SLV – STR



Click on any Frame Element for detailed diagram

GLOBAL KN, m, C

10.2.2. Involuppo taglio SLU/SLV – STR



Click on any Frame Element for detailed diagram

GLOBAL KN, m, C

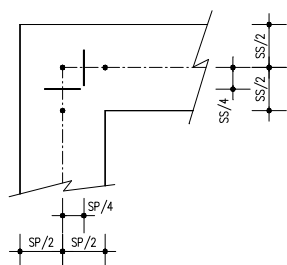
11. VERIFICHE DI RESISTENZA ULTIMA E DI ESERCIZIO

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

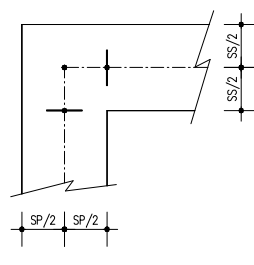
Le verifiche a flessione sono effettuate rispettivamente:

- nella sezione ubicata a metà fra asse piedritto e sezione d'attacco piedritto-soletta nel caso delle verifiche della soletta;
- nella sezione ubicata a metà fra asse soletta e sezione d'attacco del piedritto nel caso delle verifiche del piedritto.

Le verifiche a fessurazione e a taglio sono eseguite nelle sezioni di attacco soletta-piedritto.



VERIFICHE A FLESSIONE



VERIFICHE A FESSURAZIONE E TAGLIO

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 di 45° 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 $\sigma_s < 0.75 f_{yk}$.

Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
12

Codifica Documento
E E2 CL SLZ3 A0 001

Rev.
A

Foglio
38 di 63

11.1. Soletta inferiore

CARATTERISTICHE MATERIALI				
Calcestruzzo:				
Classe	C25/30			
R_{ck}	30,00 N/mm ²			
f_{ck}	24,90 N/mm ²			
f_{cm}	32,90 N/mm ²			
f_{ctm}	2,56 N/mm ²			
$f_{ctk,0.05}$	1,79 N/mm ²			
$f_{ctk,0.95}$	3,33 N/mm ²			
f_{ctm}	3,07 N/mm ²			
E_{cm}	31447,16 N/mm ²			
ϵ_{c2}	0,200 %			
ϵ_{c3}	0,175 %			
ϵ_{c4}	0,070 %			
ϵ_{cu}	0,350 %			
n	2,000			
tipo cemento	N			
				
Acciaio:				
Classe	B450C			
Tipologia comportamentale	EL-PL			
$k = (f_u/f_y)_k$	1			
f_{yk}	450 N/mm ²			
f_{tk}	540 N/mm ²			
E_s	200000 N/mm ²			
ϵ_{su}	7,500 %			
				
Coefficiente di omogeneizzazione:				
n, breve termine	6,06 = E_s/E_c			
umidità relativa	75 %			
giorno app. carico	15 giorni			
periodo lungo termine	50 anni			
coefficiente di viscosità	2,14			
n, lungo termine =	12,98 = E_s/E_{cm}			
n, verifiche QP	15,0 = E_s/E_{cm}			
n, verifiche CAR	15,0 = E_s/E_{cm}			
	lungo termine			
	breve termine			
CARATTERISTICHE SEZIONE				
Sezione:				
B=	1000 mm			
H=	700 mm			
Armature:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y_i mm	As mm²
1	10	20	66	3141,5927
2	10	22	633	3801,3271
3				0
4				0
5				0
6				0
7				0
8				0
9				0
10				0
Armatura di ripartizione:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y_i mm	As mm²
superiore	5	16	48	1005,3096
inferiore	5	16	652	1005,3096
				

11.1.1.2. *Verifiche allo stato limite ultimo per taglio*

CALCESTRUZZO		
Calcestruzzo		C25/30
Resistenza cubica caratteristica	R_{ck}	30,00 Mpa
Resistenza cilindrica caratteristica	f_{ck}	24,9 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			700 mm	
Barre tese		numero barre	diametro barre [mm]	copriferro in asse barra [mm]	Area barre [mm ²]
strato1		10	20	66	3142
strato2		0	0	0	0
strato3		0	0	0	0
strato4		0	0	0	0
strato5		0	0	0	0
Area barre tese	A_s				3142 mm ²
Posizione della barra equivalente	c^*				66 mm

SOLLECITAZIONI		
Load Case		SLU24
Frame		23
Azione assiale (+ di compressione)	N_{Ed}	0 kN
Taglio	V_{Ed}	524,13 kN

VERIFICA RESISTENZA SEZIONE SENZA ARMATURA A TAGLIO		
Altezza utile della sezione	d	634 mm
Coefficiente	k	1,56
Rapporto di armatura longitudinale	ρ_l	0,50%
Tensione assiale media	σ_{cp}	0,00 N/mm ²
	$0.2 \times f_{cd}$	2,82 N/mm ²
	v_{min}	0,34 N/mm ²
Resistenza al taglio minima	$V_{rd,min}$	216,09 kN
Resistenza al taglio senza armatura	V_{rd}	274,54 kN
Verifica		1,91 <i>E' necessario prevedere armatura a taglio</i>

ARMATURA A TAGLIO		
Diametro staffe	ϕ	12 mm
Numero braccia	n	5
Passo staffe	s	200 mm
Inclinazione staffe (rispetto all'orizzontale)	α	90 °
Inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ	45 °
Valore minimo di inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ_{min}	23,33 °

VERIFICA RESISTENZA SEZIONE CON ARMATURA A TAGLIO		
Coefficiente di riduzione per fessurazione	v_t	0,5
Resistenza cilindrica di progetto	f_{cd}	14,11 N/mm ²
Area armatura a taglio	A_{st}	565,49 mm ²
	σ_{cp}/f_{cd}	0
Coefficiente di interazione	α_{cw}	1
Resistenza a taglio per rottura delle armature	V_{rds}	631,30 kN
Resistenza a taglio per rottura del puntone in calcestruzzo	V_{rcd}	2012,79 kN
Resistenza al taglio	V_{rd}	631,30 kN
Verifica		0,83 <i>Verifica soddisfatta</i>

11.1.1.3. Verifiche allo stato limite di esercizio

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:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive						
	Ordinarie							
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili						
	Poco sensibile							
<u>Tensioni in esercizio</u>								
	Limite	Limite	$\sigma_{c,max}$	$\sigma_{s,max}$				
Combinazione	σ_c / f_{ck}	σ_s / f_{yk}	[N/mm ²]	[N/mm ²]				
Quasi Permanente	0,40	0,75	9,96	337,50				
Caratteristica	0,55	0,75	13,70	337,50				
SOLLECITAZIONI SLE (N+ di compressione)								
<u>Fessurazione</u>								
Combinazione	n. combinazione	frame/nodo	N [kN]	M [kNm]	w _d [mm]	w _{lim} [mm]	MO - Mf [kNm]	
Caratteristica	CAR15	3	0,0	415,6	0,250	0,300	227,22	-
<u>Tensioni in esercizio</u>								
Combinazione	n. combinazione	nodo	N [kN]	M [kNm]	$\sigma_{c,min}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,max}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,min}$ [N/mm ²]	
Quasi permanente	QP2	2	0,0	159,8	-2,19	74,05	-21,72	Sezione parzializzata
Caratteristica	CAR15	2	0,0	464,0	-6,36	214,93	-63,05	Sezione parzializzata

11.1.2.2. Verifiche allo stato limite di esercizio

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:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive						
	Ordinarie							
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili						
	Poco sensibile							
<u>Tensioni in esercizio</u>								
	Limite	Limite	$\sigma_{c,max}$	$\sigma_{s,max}$				
Combinazione	σ_c / f_{ck}	σ_s / f_{yk}	[N/mm ²]	[N/mm ²]				
Quasi Permanente	0,40	0,75	9,96	337,50				
Caratteristica	0,55	0,75	13,70	337,50				
SOLLECITAZIONI SLE (N+ di compressione -- M+ tende le fibre inferiori)								
<u>Fessurazione</u>								
Combinazione	n. combinazione	frame/nodo	N [kN]	M [kNm]	w _d [mm]	w _{lim} [mm]	MO - Mf [kNm]	
Caratteristica	CAR45	16	0,0	-363,5	0,261	0,300	-227,22	-
<u>Tensioni in esercizio</u>								
Combinazione	n. combinazione	nodo	N [kN]	M [kNm]	$\sigma_{c,min}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,max}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,min}$ [N/mm ²]	
Quasi permanente	QP3	12	0,0	-114,8	-1,63	63,77	-15,10	Sezione parzializzata
Caratteristica	CAR45	16	0,0	-363,5	-5,16	201,93	-47,82	Sezione parzializzata

11.2. Piedritto

11.2.1. Piedritto – sezione di incastro inferiore

CARATTERISTICHE MATERIALI																																																								
Calcestruzzo:																																																								
Classe	C30/37																																																							
R_{ck}	37,00 N/mm ²																																																							
f_{ck}	30,71 N/mm ²																																																							
f_{cm}	38,71 N/mm ²																																																							
f_{ctm}	2,94 N/mm ²																																																							
$f_{ctk,0.05}$	2,06 N/mm ²																																																							
$f_{ctk,0.95}$	3,82 N/mm ²																																																							
f_{ctm}	3,53 N/mm ²																																																							
E_{cm}	33019,43 N/mm ²																																																							
ϵ_{c2}	0,200 %																																																							
ϵ_{c3}	0,175 %																																																							
ϵ_{c4}	0,070 %																																																							
ϵ_{cu}	0,350 %																																																							
n	2,000																																																							
tipo cemento	N																																																							
																																																								
Acciaio:																																																								
Classe	B450C																																																							
Tipologia comportamentale	EL-PL																																																							
$k = (f_t/f_y)_k$	1																																																							
f_{yk}	450 N/mm ²																																																							
f_{tk}	540 N/mm ²																																																							
E_s	200000 N/mm ²																																																							
ϵ_{su}	7,500 %																																																							
																																																								
Coefficiente di omogeneizzazione:																																																								
n, breve termine	5,77 = E_s/E_c																																																							
umidità relativa	75 %																																																							
giorno app. carico	15 giorni																																																							
periodo lungo termine	50 anni																																																							
coefficiente di viscosità	2,02																																																							
n, lungo termine =	11,64 = E_s/E_{cm}																																																							
n, verifiche QP	15,0 = E_s/E_{cm}																																																							
n, verifiche CAR	15,0 = E_s/E_{cm}																																																							
	lungo termine																																																							
	breve termine																																																							
CARATTERISTICHE SEZIONE																																																								
Sezione:																																																								
B=	1000 mm																																																							
H=	600 mm																																																							
Armature:																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pos.</th> <th>n° barre</th> <th>∅ mm</th> <th>yi mm</th> <th>As mm²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>5</td><td>20</td><td>74</td><td>1570,7963</td></tr> <tr><td>2</td><td>10</td><td>22</td><td>525</td><td>3801,3271</td></tr> <tr><td>3</td><td>5</td><td>16</td><td>484</td><td>1005,3096</td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td>0</td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td>0</td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td></td><td>0</td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td><td></td><td>0</td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Pos.	n° barre	∅ mm	yi mm	As mm ²	1	5	20	74	1570,7963	2	10	22	525	3801,3271	3	5	16	484	1005,3096	4				0	5				0	6				0	7				0	8				0	9				0	10				0	
Pos.	n° barre	∅ mm	yi mm	As mm ²																																																				
1	5	20	74	1570,7963																																																				
2	10	22	525	3801,3271																																																				
3	5	16	484	1005,3096																																																				
4				0																																																				
5				0																																																				
6				0																																																				
7				0																																																				
8				0																																																				
9				0																																																				
10				0																																																				
Armatura di ripartizione:																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pos.</th> <th>n° barre</th> <th>∅ mm</th> <th>yi mm</th> <th>As mm²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>superiore</td><td>5</td><td>16</td><td>56</td><td>1005,3096</td></tr> <tr><td>inferiore</td><td>5</td><td>16</td><td>544</td><td>1005,3096</td></tr> </tbody> </table>	Pos.	n° barre	∅ mm	yi mm	As mm ²	superiore	5	16	56	1005,3096	inferiore	5	16	544	1005,3096																																									
Pos.	n° barre	∅ mm	yi mm	As mm ²																																																				
superiore	5	16	56	1005,3096																																																				
inferiore	5	16	544	1005,3096																																																				

11.2.1.2. Verifiche allo stato limite ultimo per taglio

CALCESTRUZZO		
Calcestruzzo		C30/37
Resistenza cubica caratteristica	R_{ck}	37,00 Mpa
Resistenza cilindrica caratteristica	f_{ck}	30,71 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			600 mm	
Barre tese		numero barre	diametro barre [mm]	copriferro in asse barra [mm]	Area barre [mm ²]
strato1		5	20	74	1571
strato2		0	0	0	0
strato3		0	0	0	0
strato4		0	0	0	0
strato5		0	0	0	0
Area barre tese	A_s				1571 mm ²
Posizione della barra equivalente	c^*				74 mm

SOLLECITAZIONI			
Load Case			SLV20
Frame			29
Azione assiale (+ di compressione)	N_{Ed}		112,688 kN
Taglio	V_{Ed}		462,451 kN

VERIFICA RESISTENZA SEZIONE SENZA ARMATURA A TAGLIO		
Altezza utile della sezione	d	526 mm
Coefficiente	k	1,62
Rapporto di armatura longitudinale	ρ_l	0,30%
Tensione assiale media	σ_{cp}	0,19 N/mm ²
	$0.2 \times f_{cd}$	3,48 N/mm ²
	v_{min}	0,40 N/mm ²
Resistenza al taglio minima	$V_{rd,min}$	224,52 kN
Resistenza al taglio senza armatura	V_{rd}	228,41 kN
Verifica		2,02 E' necessario prevedere armatura a taglio

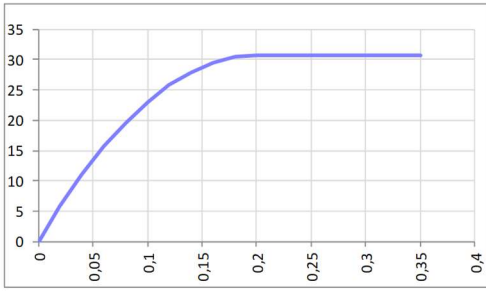
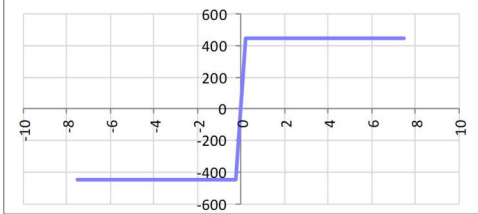
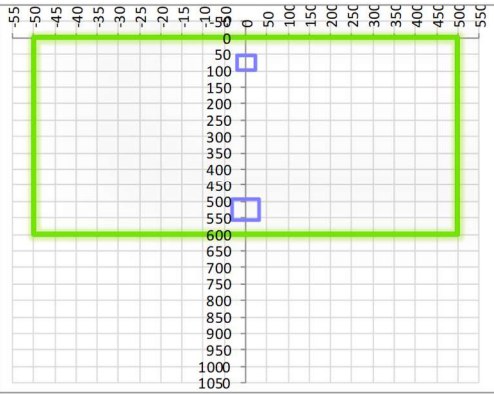
ARMATURA A TAGLIO		
Diametro staffe	ϕ	12 mm
Numero braccia	n	5
Passo staffe	s	200 mm
Inclinazione staffe (rispetto all'orizzontale)	α	90 °
Inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ	45 °
Valore minimo di inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ_{min}	21,80 °

VERIFICA RESISTENZA SEZIONE CON ARMATURA A TAGLIO		
Coefficiente di riduzione per fessurazione	v_1	0,5
Resistenza cilindrica di progetto	f_{cd}	17,40233333 N/mm ²
Area armatura a taglio	A_{st}	565,49 mm ²
	σ_{cp}/f_{cd}	0,010792422
Coefficiente di interazione	α_{cw}	1,010792422
Resistenza a taglio per rottura delle armature	V_{rds}	523,76 kN
Resistenza a taglio per rottura del puntone in calcestruzzo	V_{rcd}	2081,79 kN
Resistenza al taglio	V_{rd}	523,76 kN
Verifica		0,88 Verifica soddisfatta

11.2.1.3. Verifiche allo stato limite di esercizio

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:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive						
	Ordinarie							
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili						
	Poco sensibile							
<u>Tensioni in esercizio</u>								
	Limite	Limite	$\sigma_{c,max}$	$\sigma_{s,max}$				
Combinazione	σ_c / f_{ck}	σ_s / f_{yk}	[N/mm ²]	[N/mm ²]				
Quasi Permanente	0,40	0,75	12,28	337,50				
Caratteristica	0,55	0,75	16,89	337,50				
SOLLECITAZIONI SLE (N+ di compressione -- M+ tende le fibre inferiori)								
<u>Fessurazione</u>								
Combinazione	n. combinazione	frame/nodo	N [kN]	M [kNm]	w _d [mm]	w _{lim} [mm]	MO - Mf [kNm]	
Caratteristica	CAR15	29	313,4	409,3	0,195	0,300	228,42	-
<u>Tensioni in esercizio</u>								
Combinazione	n. combinazione	nodo	N [kN]	M [kNm]	$\sigma_{c,min}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,max}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,min}$ [N/mm ²]	
Quasi permanente	QP2	27	204,8	160,1	-3,36	56,77	-35,23	Sezione parzializzata
Caratteristica	CAR15	27	316,0	459,3	-9,33	187,71	-93,71	Sezione parzializzata

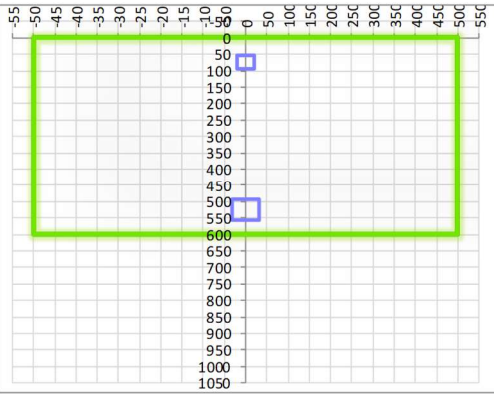
11.2.2. Piedritto – sezione di mezzeria

CARATTERISTICHE MATERIALI				
Calcestruzzo:				
Classe	C30/37			
R_{ck}	37,00 N/mm ²			
f_{ck}	30,71 N/mm ²			
f_{cm}	38,71 N/mm ²			
f_{ctm}	2,94 N/mm ²			
$f_{ctk,0.05}$	2,06 N/mm ²			
$f_{ctk,0.95}$	3,82 N/mm ²			
f_{ctm}	3,53 N/mm ²			
E_{cm}	33019,43 N/mm ²			
ϵ_{c2}	0,200 %			
ϵ_{c3}	0,175 %			
ϵ_{c4}	0,070 %			
ϵ_{cu}	0,350 %			
n	2,000			
tipo cemento	N			
				
Acciaio:				
Classe	B450C			
Tipologia comportamentale	EL-PL			
$k = (f_t/f_y)_k$	1			
f_{yk}	450 N/mm ²			
f_{tk}	540 N/mm ²			
E_s	200000 N/mm ²			
ϵ_{su}	7,500 %			
				
Coefficiente di omogenizzazione:				
n ,breve termine	5,77 = E_s/E_c			
umidità relativa	75 %			
giorno app. carico	15 giorni			
periodo lungo termine	50 anni			
coefficiente di viscosità	2,02			
n ,lungo termine=	11,64 = E_s/E_{cm}			
n ,verifiche QP	15,0 = E_s/E_{cm} lungo termine			
n ,verifiche CAR	15,0 = E_s/E_{cm} breve termine			
CARATTERISTICHE SEZIONE				
Sezione:				
B=	1000 mm			
H=	600 mm			
Armature:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	As mm ²
1	5	22	75	1900,6636
2	10	22	525	3801,3271
3				0
4				0
5				0
6				0
7				0
8				0
9				0
10				0
				
Armatura di ripartizione:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	As mm ²
superiore	5	16	56	1005,3096
inferiore	5	16	544	1005,3096

11.2.2.2. Verifiche allo stato limite di esercizio

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:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive						
	Ordinarie							
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili						
	Poco sensibile							
<u>Tensioni in esercizio</u>								
	Limite	Limite	$\sigma_{c,max}$	$\sigma_{s,max}$				
Combinazione	σ_c / f_{ck}	σ_s / f_{yk}	[N/mm ²]	[N/mm ²]				
Quasi Permanente	0,40	0,75	12,28	337,50				
Caratteristica	0,55	0,75	16,89	337,50				
SOLLECITAZIONI SLE (N+ di compressione -- M+ tende le fibre inferiori)								
<u>Fessurazione</u>								
Combinazione	n. combinazione	frame/nodo	N [kN]	M [kNm]	w _d [mm]	w _{lim} [mm]	MO - Mf [kNm]	
Caratteristica	CAR15	33	258,1	-99,3	Msd<Mf	0,300	-216,70	-
<u>Tensioni in esercizio</u>								
Combinazione	n. combinazione	nodo	N [kN]	M [kNm]	$\sigma_{c,min}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,max}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,min}$ [N/mm ²]	
Quasi permanente	QP1	31	157,9	-76,1	-1,82	45,45	-16,95	Sezione parzializzata
Caratteristica	CAR15	33	258,1	-99,3	-2,34	47,90	-23,30	Sezione parzializzata

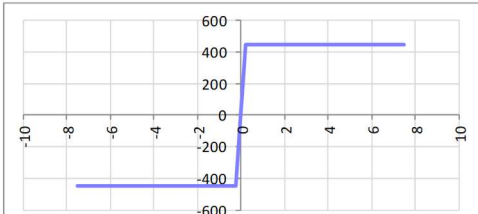
11.2.3. Piedritto – sezione di incastro superiore

CARATTERISTICHE MATERIALI				
Calcestruzzo:				
Classe	C30/37			
R_{ck}	37,00 N/mm ²			
f_{ck}	30,71 N/mm ²			
f_{cm}	38,71 N/mm ²			
f_{ctm}	2,94 N/mm ²			
$f_{ctk,0.05}$	2,06 N/mm ²			
$f_{ctk,0.95}$	3,82 N/mm ²			
f_{ctm}	3,53 N/mm ²			
E_{cm}	33019,43 N/mm ²			
ϵ_{c2}	0,200 %			
ϵ_{c3}	0,175 %			
ϵ_{c4}	0,070 %			
ϵ_{cu}	0,350 %			
n	2,000			
tipo cemento	N			
				
Acciaio:				
Classe	B450C			
Tipologia comportamentale	EL-PL			
$k = (f_t/f_y)_k$	1			
f_{yk}	450 N/mm ²			
f_{tk}	540 N/mm ²			
E_s	200000 N/mm ²			
ϵ_{su}	7,500 %			
				
Coefficiente di omogenizzazione:				
n ,breve termine	5,77 = E_s/E_c			
umidità relativa	75 %			
giorno app. carico	15 giorni			
periodo lungo termine	50 anni			
coefficiente di viscosità	2,02			
n ,lungo termine=	11,64 = E_s/E_{cm}			
n ,verifiche QP	15,0 = E_s/E_{cm} lungo termine			
n ,verifiche CAR	15,0 = E_s/E_{cm} breve termine			
CARATTERISTICHE SEZIONE				
Sezione:				
B=	1000 mm			
H=	600 mm			
Armature:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	As mm ²
1	5	20	74	1570,7963
2	10	22	525	3801,3271
3				0
4				0
5				0
6				0
7				0
8				0
9				0
10				0
				
Armatura di ripartizione:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	As mm ²
superiore	5	16	56	1005,3096
inferiore	5	16	544	1005,3096

11.2.3.2. Verifiche allo stato limite di esercizio

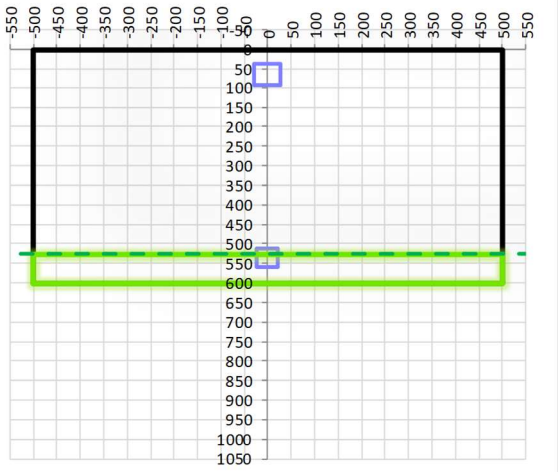
PARAMETRI VERIFICA FESSURAZIONE								
kt=	0,40	(0,6 = azioni di breve durata; 0,4 = azioni di lunga durata)						
k ₁ =	0,80	(0,8=barre ad aderenza migliorata; 1,6= barre lisce e trefoli)						
k ₃ =	3,40	(valore raccomandato)						
k ₄ =	0,425	(valore raccomandato)						
CRITERI DI VERIFICA								
<u>Fessurazione</u>								
Condiz. Ambientali:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive						
	Ordinarie							
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili						
	Poco sensibile							
<u>Tensioni in esercizio</u>								
	Limite	Limite	$\sigma_{c,max}$	$\sigma_{s,max}$				
Combinazione	σ_c / f_{ck}	σ_s / f_{yk}	[N/mm ²]	[N/mm ²]				
Quasi Permanente	0,40	0,75	12,28	337,50				
Caratteristica	0,55	0,75	16,89	337,50				
SOLLECITAZIONI SLE (N+ di compressione -- M+ tende le fibre inferiori)								
<u>Fessurazione</u>								
Combinazione	n. combinazione	frame/nodo	N [kN]	M [kNm]	w _d [mm]	w _{lim} [mm]	MO - Mf [kNm]	
Caratteristica	CAR45	36	349,7	353,5	0,194	0,300	225,84	-
<u>Tensioni in esercizio</u>								
Combinazione	n. combinazione	nodo	N [kN]	M [kNm]	$\sigma_{c,min}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,max}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,min}$ [N/mm ²]	
Quasi permanente	QP3	38	111,4	110,1	-2,38	49,44	-23,71	Sezione parzializzata
Caratteristica	CAR45	38	347,4	377,1	-8,12	173,27	-80,22	Sezione parzializzata

11.3. Soletta superiore

CARATTERISTICHE MATERIALI				
Calcestruzzo:				
Classe	C30/37			
R_{ck}	37,00 N/mm ²			
f_{ck}	30,71 N/mm ²			
f_{cm}	38,71 N/mm ²			
f_{ctm}	2,94 N/mm ²			
$f_{ctk,0.05}$	2,06 N/mm ²			
$f_{ctk,0.95}$	3,82 N/mm ²			
f_{ctm}	3,53 N/mm ²			
E_{cm}	33019,43 N/mm ²			
ϵ_{c2}	0,200 %			
ϵ_{c3}	0,175 %			
ϵ_{c4}	0,070 %			
ϵ_{cu}	0,350 %			
n	2,000			
tipo cemento	N			
				
Acciaio:				
Classe	B450C			
Tipologia comportamentale	EL-PL			
$k = (f_t/f_y)_k$	1			
f_{yk}	450 N/mm ²			
f_{tk}	540 N/mm ²			
E_s	200000 N/mm ²			
ϵ_{su}	7,500 %			
				
Coefficiente di omogenizzazione:				
n, breve termine	5,77 = E_s/E_c			
umidità relativa	75 %			
giorno app. carico	15 giorni			
periodo lungo termine	50 anni			
coefficiente di viscosità	2,02			
n, lungo termine =	11,64 = E_s/E_{cm}			
n, verifiche QP	15,0 = E_s/E_{cm}	lungo termine		
n, verifiche CAR	15,0 = E_s/E_{cm}	breve termine		
CARATTERISTICHE SEZIONE				
Sezione:				
B=	1000 mm			
H=	600 mm			
Armature:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y_i mm	As mm²
1	10	20	66	3141,5927
2	10	16	536	2010,6193
3				0
4				0
5				0
6				0
7				0
8				0
9				0
10				0
Armatura di ripartizione:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y_i mm	As mm²
superiore	5	16	48	1005,3096
inferiore	5	16	552	1005,3096
				

11.3.1. Soletta superiore – sezione di incastro

11.3.1.1. Verifiche allo stato limite ultimo per flessione

CRITERI DI VERIFICA																																																					
<u>Coefficienti di sicurezza allo SLU</u>																																																					
Calcestruzzo																																																					
α_{cc}		0,85																																																			
γ_c		1,50																																																			
f_{cd}		20,47 N/mm ²																																																			
$f_{ct,eff}$		2,45 N/mm ²	$= f_{ctm} / 1,2$																																																		
Acciaio																																																					
γ_s		1,15																																																			
f_{yd}		391,30 N/mm ²																																																			
E_{yd}		0,196 %																																																			
STATO LIMITE ULTIMO - PRESSOFLESSIONE																																																					
Combinazione	frame/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]	NRd+ [kN]	NRd- [kN]	MRd+ [kNm]	MRd- [kNm]	MSd/MRd																																													
SLV32	46	0,0	-524,6	12457,48	-2016,08	405,11	-612,41	86%																																													
<u>Sezione:</u>																																																					
				<p>Fibre compresse</p> <p>$\sigma_{c,max}$ = 17,40 N/mm²</p> <p>$\sigma_{s,min}$ = -391,30 N/mm²</p> <p>$\epsilon_{c,max}$ = 0,35 %</p> <p>$\epsilon_{s,min}$ = -2,18 %</p> <p>d = 534,00 mm</p> <p>x = 73,89 mm</p> <p>x/d = 0,14</p>		<p>Inferiori</p>																																															
<u>Dominio M-N</u>																																																					
				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #d9ead3;"> <th>Combinazione</th> <th>fram/nodo</th> <th>NSd [kN]</th> <th>MSd [kNm]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #d9ead3;">SLV32</td> <td style="background-color: #d9ead3;">46</td> <td style="background-color: #d9ead3;">0,0</td> <td style="background-color: #d9ead3;">-524,6</td> </tr> <tr><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td><td style="background-color: #d9ead3;"></td></tr> </tbody> </table>						Combinazione	fram/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]	SLV32	46	0,0	-524,6																																				
Combinazione	fram/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]																																																		
SLV32	46	0,0	-524,6																																																		

11.3.1.2. Verifiche allo stato limite ultimo per taglio

CALCESTRUZZO		
Calcestruzzo		C30/37
Resistenza cubica caratteristica	R_{ck}	37,00 Mpa
Resistenza cilindrica caratteristica	f_{ck}	30,71 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			600 mm	
Barre tese		numero barre	diametro barre [mm]	copriferro in asse barra [mm]	Area barre [mm ²]
strato1		10	20	66	3142
strato2		0	0	0	0
strato3		0	0	0	0
strato4		0	0	0	0
strato5		0	0	0	0
Area barre tese	A_s				3142 mm ²
Posizione della barra equivalente	c^*				66 mm

SOLLECITAZIONI		
Load Case		SLU7
Frame		45
Azione assiale (+ di compressione)	N_{Ed}	0 kN
Taglio	V_{Ed}	436,826 kN

VERIFICA RESISTENZA SEZIONE SENZA ARMATURA A TAGLIO		
Altezza utile della sezione	d	534 mm
Coefficiente	k	1,61
Rapporto di armatura longitudinale	ρ_l	0,59%
Tensione assiale media	σ_{cp}	0,00 N/mm ²
	$0.2 \times f_{cd}$	3,48 N/mm ²
	v_{min}	0,40 N/mm ²
Resistenza al taglio minima	$V_{rd,min}$	211,98 kN
Resistenza al taglio senza armatura	V_{rd}	271,05 kN
Verifica		1,61 E' necessario prevedere armatura a taglio

ARMATURA A TAGLIO		
Diametro staffe	ϕ	12 mm
Numero braccia	n	5
Passo staffe	s	200 mm
Inclinazione staffe (rispetto all'orizzontale)	α	90 °
Inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ	45 °
Valore minimo di inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ_{min}	21,80 °

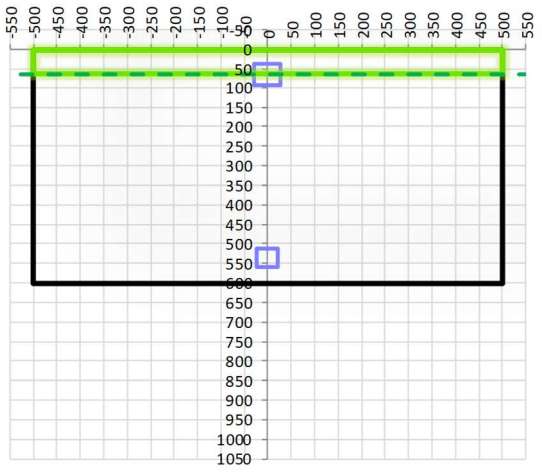
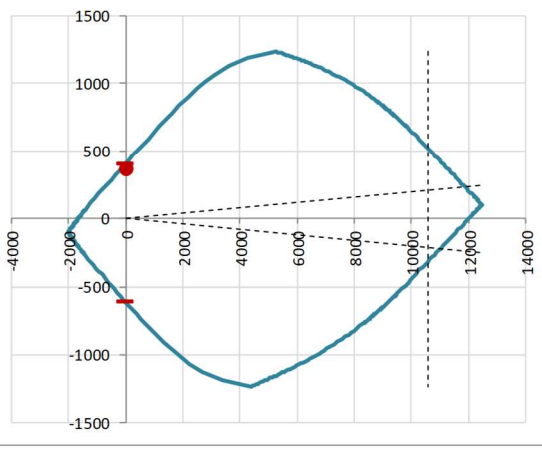
VERIFICA RESISTENZA SEZIONE CON ARMATURA A TAGLIO		
Coefficiente di riduzione per fessurazione	v_1	0,5
Resistenza cilindrica di progetto	f_{cd}	17,40233333 N/mm ²
Area armatura a taglio	A_{st}	565,49 mm ²
	σ_{cp}/f_{cd}	0
Coefficiente di interazione	α_{cw}	1
Resistenza a taglio per rottura delle armature	V_{rds}	531,73 kN
Resistenza a taglio per rottura del puntone in calcestruzzo	V_{rcd}	2090,89 kN
Resistenza al taglio	V_{rd}	531,73 kN
Verifica		0,82 Verifica soddisfatta

11.3.1.3. Verifiche allo stato limite di esercizio

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:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive						
	Ordinarie							
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili						
	Poco sensibile							
<u>Tensioni in esercizio</u>								
	Limite	Limite	$\sigma_{c,max}$	$\sigma_{s,max}$				
Combinazione	σ_c / f_{ck}	σ_s / f_{yk}	[N/mm ²]	[N/mm ²]				
Quasi Permanente	0,40	0,75	12,28	337,50				
Caratteristica	0,55	0,75	16,89	337,50				
SOLLECITAZIONI SLE (N+ di compressione -- M+ tende le fibre inferiori)								
<u>Fessurazione</u>								
Combinazione	n. combinazione	frame/nodo	N [kN]	M [kNm]	w _d [mm]	w _{lim} [mm]	MO - Mf [kNm]	
Caratteristica	CAR45	45	0,0	-302,1	0,244	0,300	-178,30	-
<u>Tensioni in esercizio</u>								
Combinazione	n. combinazione	nodo	N [kN]	M [kNm]	$\sigma_{c,min}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,max}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,min}$ [N/mm ²]	
Quasi permanente	QP3	46	0,0	-108,0	-2,21	72,12	-20,49	Sezione parzializzata
Caratteristica	CAR45	46	0,0	-350,4	-7,16	234,07	-66,51	Sezione parzializzata

11.3.2. Soletta superiore – sezione di mezzeria

11.3.2.1. Verifiche allo stato limite ultimo per flessione

CRITERI DI VERIFICA																																																					
<u>Coefficienti di sicurezza allo SLU</u>																																																					
Calcestruzzo																																																					
α_{cc}		0,85																																																			
γ_c		1,50																																																			
f_{cd}		20,47 N/mm ²																																																			
$f_{ct,eff}$		2,45 N/mm ²	$=f_{ctm} / 1,2$																																																		
Acciaio																																																					
γ_s		1,15																																																			
f_{yd}		391,30 N/mm ²																																																			
E_{yd}		0,196 %																																																			
STATO LIMITE ULTIMO - PRESSOFLESSIONE																																																					
Combinazione	frame/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]	NRd+ [kN]	NRd- [kN]	MRd+ [kNm]	MRd- [kNm]	MSd/MRd																																													
SLU53	44	0,0	361,6	12457,48	-2016,08	405,11	-612,41	89%																																													
<u>Sezione:</u>																																																					
				<p>Fibre compresse Superiori</p> <p>$\sigma_{c,max}$ = 17,40 N/mm²</p> <p>$\sigma_{s,min}$ = -391,30 N/mm²</p> <p>$\epsilon_{c,max}$ = 0,35 %</p> <p>$\epsilon_{s,min}$ = -2,62 %</p> <p>d = 536,00 mm</p> <p>x = 63,08 mm</p> <p>x/d = 0,12</p>																																																	
<u>Dominio M-N</u>				<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #d9ead3;"> <th>Combinazione</th> <th>fram/nodo</th> <th>NSd [kN]</th> <th>MSd [kNm]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr style="background-color: #d9ead3;"> <td>SLU53</td> <td>44</td> <td>0,0</td> <td>361,6</td> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>						Combinazione	fram/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]	SLU53	44	0,0	361,6																																				
Combinazione	fram/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]																																																		
SLU53	44	0,0	361,6																																																		
																																																					

11.3.2.2. Verifiche allo stato limite di esercizio

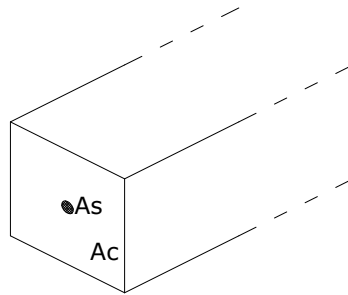
PARAMETRI VERIFICA FESSURAZIONE								
kt=	0,40		(0,6 = azioni di breve durata; 0,4 = azioni di lunga durata)					
k ₁ =	0,80		(0,8=barre ad aderenza migliorata; 1,6= barre lisce e trefoli)					
k ₃ =	3,40		(valore raccomandato)					
k ₄ =	0,425		(valore raccomandato)					
CRITERI DI VERIFICA								
<u>Fessurazione</u>								
Condiz. Ambientali:	1		1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive					
	Ordinarie							
Armature:	2		1-Sensibili; 2-Poco sensibili					
	Poco sensibile							
<u>Tensioni in esercizio</u>								
	Limite	Limite	$\sigma_{c,max}$	$\sigma_{s,max}$				
Combinazione	σ_c / f_{ck}	σ_s / f_{yk}	[N/mm ²]	[N/mm ²]				
Quasi Permanente	0,40	0,75	12,28	337,50				
Caratteristica	0,55	0,75	16,89	337,50				
SOLLECITAZIONI SLE (N+ di compressione)								
<u>Fessurazione</u>								
Combinazione	n. combinazione	frame/nodo	N [kN]	M [kNm]	w _d [mm]	w _{lim} [mm]	M0 - Mf [kNm]	
Caratteristica	CAR14	44	0,0	236,5	0,291	0,300	178,30	-
<u>Tensioni in esercizio</u>								
Combinazione	n. combinazione	nodo	N [kN]	M [kNm]	$\sigma_{c,min}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,max}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,min}$ [N/mm ²]	
Quasi permanente	QP2	44	0,0	64,4	-1,46	65,97	-11,11	Sezione parzializzata
Caratteristica	CAR14	44	0,0	236,5	-5,37	242,12	-40,76	Sezione parzializzata

11.4. Verifica effetti longitudinali da ritiro

Vengono discussi brevemente gli effetti dovuti al ritiro nel calcestruzzo che provocano stati interni di coazione con l'armatura. Scopo della trattazione è quello di verificare l'armatura minima longitudinale nella soletta superiore dello scatolare.

11.4.1. Coazioni interne dovute ai fenomeni di ritiro

Per il calcolo delle coazioni interne dovute ai fenomeni di ritiro si consideri una sezione di area unitaria A_c con un'unica barra di armatura di area A_s come rappresentato nell'immagine sottostante:



Si assumono le seguenti ipotesi:

- perfetta aderenza tra calcestruzzo ed acciaio;
- deformata piana della sezione in calcestruzzo;
- comportamento del calcestruzzo e dell'acciaio elastico e lineare.

Le equazioni di equilibrio, congruenza e legame dell'insieme calcestruzzo + acciaio che governano il fenomeno sono:

- $N_c + N_s = 0$ (equazione di equilibrio)
- $\varepsilon_r = \varepsilon_s - \varepsilon_c$ (equazione di congruenza)
- $N_c = A_c \sigma_c = A_c E_c \varepsilon_c$ (equazione legame costitutivo del calcestruzzo)
- $N_s = A_s \sigma_s = A_s E_s \varepsilon_s$ (equazione legame costitutivo dell'acciaio)

Sostituendo le equazioni di legame in quella di equilibrio ed esprimendo la deformazione del calcestruzzo in funzione di quella dell'acciaio si ha:

$$N_s = -N_c = A_s E_s A_c E_c \varepsilon_r / (A_s E_s + A_c E_c)$$

Il comportamento viscoso del calcestruzzo viene considerato attraverso l'abbattimento del modulo elastico, pertanto è necessario sostituire il valore di E_c con E_c^* . La tensione sull'acciaio e sul calcestruzzo risultano quindi pari a:

$$\sigma_s = A_c E_c^* E_s \varepsilon_r / (A_s E_s + A_c E_c^*)$$

$$\sigma_c = -A_s E_c^* E_s \varepsilon_r / (A_s E_s + A_c E_c^*)$$

11.4.2. Calcolo delle sollecitazioni longitudinali dovute ai fenomeni di ritiro

L'analisi delle sollecitazioni viene svolta per una striscia di larghezza unitaria, assumendo la dimensione convenzionale h_0 pari a $2 \times A/u = 2 \times H = 120$ cm, ed un calcestruzzo C30/37 classe N.

Caratteristiche della sezione:

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

$$H = 60 \text{ cm}$$

$$A_{s, \text{long}} = 1 + 1 \cdot \frac{16}{20} = 2011 \text{ mm}^2$$

$$E_s = 210\,000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_c = 33019 \text{ N/mm}^2$$

Deformazione da ritiro:

$$U.R. = 75\%$$

$$\epsilon_{ca}(t=\infty) = 2.5 \times (f_{ck} - 10) \times 10^{-6} = 2.5 \times (0.83 \times 37 - 10) \times 10^{-6} = 0.052 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{cd}(t=\infty) = k_h \times \epsilon_{cd,0} = 0.7 \times 0.30 \text{ ‰} = 0.21 \text{ ‰} \text{ (per } h_0 > 500 \text{ mm, calcestruzzo C30/37 classe N, U.R.}=75\%)$$

$$\epsilon_r = \epsilon_{ca} + \epsilon_{cd} = 0.262 \text{ ‰}$$

A favore di sicurezza, si assume comunque una deformazione $\epsilon_r = 0.400 \text{ ‰}$

Effetto viscosità:

Il modulo viscoso a tempo infinito, in considerazione del valore di h_0 , della resistenza del calcestruzzo e della U.R., può cautelativamente essere assunto pari a $\phi(t=\infty) = 2.5$. Il modulo elastico ridotto del calcestruzzo risulta quindi pari a:

$$E_c^* = E_c / (1 + \phi) = 9434 \text{ N/mm}^2.$$

Tensioni nei materiali:

$$\sigma_s = (1000 \times 600) \times 9434 \times 210000 \times 0.00040 / (2011 \times 210000 + 1000 \times 600 \times 9434) = 78.17 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = -2011 \times 9434 \times 210000 \times 0.00040 / (2011 \times 210000 + 1000 \times 600 \times 9434) = -0.26 \text{ N/mm}^2.$$

La sollecitazione sul calcestruzzo risulta molto inferiore rispetto alla resistenza a trazione e quindi non porta a fessurazione il calcestruzzo; la sollecitazione sull'acciaio risulta modesta ed accettabile per le normali condizioni di esercizio della struttura.

12. VERIFICHE DI DEFORMAZIONE E VIBRAZIONE

12.1. Inflessione nel piano verticale dell'impalcato

In base a quanto indicato nelle Istruzioni FS, nonché nel D.M. 14.01.08, considerando la presenza del treno di carico LM71, incrementato con il corrispondente coefficiente dinamico, e considerando la variazione di temperatura lineare lungo l'altezza dell'impalcato pari a $\pm 2.5^\circ$ centigradi, il massimo angolo di rotazione θ_{\max} all'estremità dell'impalcato dovrà risultare inferiore a $\theta_{\text{amm}} = 3.5 \cdot 10^{-3}$ rad (essendo il manufatto a una sola campata ed assumendo la rotazione massima consentita per i manufatti a due binari). Per quanto riguarda le rotazioni attribuibili alla presenza del treno di carico LM71, si sono considerate le Combinazioni Elementari costituite dal carico centrato (Load 10) e si sono valutate le rotazioni sui nodi estremi della soletta superiore depurate della rototraslazione rigida della struttura. Inoltre lo spostamento orizzontale, conseguente all'inflessione per effetto dei carichi accidentali verticali del piano di posa del ballast, dovrà risultare non superiore ad 8.0 mm.

Nodo 40:

- Rotazione prodotta dal treno di carico LM71 centrato (Load 10)

$$\theta_{\text{acc, cen}} = 4.0 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

- Rotazione prodotta dalla variazione termica lineare lungo l'altezza dell'impalcato

$$\theta_{\Delta t} = \pm 9.0 \times 10^{-5} \text{ rad}$$

- Rotazione complessiva

Il massimo angolo di rotazione all'estremità della soletta superiore, dovuto alla presenza del treno di carico LM71, incrementato con il corrispondente coefficiente dinamico, e alla variazione lineare di temperatura lungo l'altezza dell'impalcato, vale, a meno del segno:

$$\theta_{\text{tot}} = \theta_{\text{acc, cen}} + \theta_{\Delta t} = 4.90 \times 10^{-4} \text{ rad} \ll \theta_{\text{amm}} = 3.5 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

- Spostamento orizzontale del piano di posa del ballast

$$\delta = \theta_{\text{tot}} \times H = 4.90 \times 10^{-4} \times (600/2 + 400) = 0.343 \text{ mm} (< 8.0 \text{ mm})$$

12.2. Stato limite di comfort dei passeggeri

La verifica viene eseguita in base a quanto indicato nelle Istruzioni FS, considerando la presenza del treno di carico LM71 incrementato con il corrispondente coefficiente dinamico.

- Freccia limite ammissibile (velocità del treno $V > 250$ km/h, numero di campate $n = 1$)

$$\delta_{\text{lim}} = \alpha \times 1/2400 \times L = 1.5 \times 1/2400 \times 5600 = 3.50 \text{ mm}$$

- Freccia massima dell'impalcato prodotta dal treno LM71

$$\delta_{\text{max}} = 0.80 \text{ mm} (\text{traslazione verticale nodi 43 e 44}) < \delta_{\text{lim}} = 3.50 \text{ mm.}$$

13. RIFERIMENTI

13.1. Documenti referenziati

Rif. [1] Cepav due, documento n° IN0R 11 E E2 RB SLZ3 00 001, intitolato “SLZ3 - SOTTOPASSO PODERALE PK 110+046,622 - RELAZIONE GEOTECNICA”.

Rif. [2] Cepav due, documento n° IN0R 11 E E2 CL SLZ3 A0 002, intitolato “SLZ3 - SOTTOPASSO PODERALE PK 110+046,622 - ALLEGATO ALLA RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA AV/AC - TABULATI DI CALCOLO”.

13.2. Documenti correlati

Non sono presenti documenti correlati.

13.3. Documenti superati

Non sono presenti documenti superati.