

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

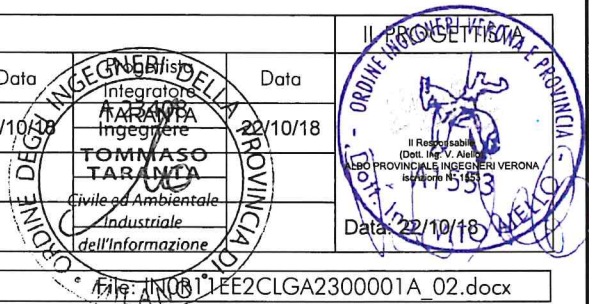
PROGETTO ESECUTIVO

GA23 - GALLERIA ARTIFICIALE IC VR MERCI B. D.
DA PK 1+626.455 A PK 1+935.866
RELAZIONE DI CALCOLO

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE LAVORI
Consorzio Cepav due Consorzio Cepav due Il Direttore del Consorzio (Ing. T. Taranta) Data: _____	Valido per costruzione Data: _____

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

PROGETTAZIONE						IL PROGETTO FISICO E PRODOTTO	
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Data	Data
A	Emissione	GUILARTE	22/10/18	AIELLO	22/10/18	22/10/18	22/10/18
B							
C							



CIG. 751447334A File: \IN081\EE2CLGA2300001A_02.docx



CUP: F81H9100000008

GENERAL CONTRACTOR

Cepav due



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INORLotto
11Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001Rev.
AFoglio
2 di 144**INDICE**

1.	INTRODUZIONE	8
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	10
3.	CRITERI DI CALCOLO	11
3.1	CRITERI E DEFINIZIONE DELL' AZIONE SISMICA	11
3.2	COMBINAZIONE DI CARICO	12
3.2.1	<i>Combinazioni per la verifica allo SLU</i>	12
3.2.2	<i>Combinazioni per la verifica allo SLE</i>	13
4.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	14
4.1	CALCESTRUZZO PER MAGRONE.....	14
4.2	CALCESTRUZZO	14
4.3	ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO	14
4.4	DURABILITÀ E PRESCRIZIONI SUI MATERIALI	15
4.5	COPRIFERRO MINIMO E COPRIFERRO NOMINALE	15
5.	PARAMETRI SISMICI.....	16
6.	PARAMETRI GEOTECNICI	17
7.	GEOMETRIA DELLA STRUTTURA	18
7.1	SEZIONE TIPO 1.....	18
7.2	SEZIONE TIPO 2.....	19
8.	MODELLAZIONE STRUTTURALE.....	20
8.1	CODICE DI CALCOLO	20
8.2	MODELLAZIONE ADOTTATA.....	20
8.3	MODELLAZIONE SCATOLARE TIPO 1.....	21
8.4	MODELLAZIONE SCATOLARE TIPO 2.....	23
9.	ANALISI DEI CARICHI SEZIONE TIPO 1	25
9.1	PESO PROPRIO STRUTTURE (LOAD1)	25
9.2	CARICHI PERMANENTI PORTATI (LOAD2 E LOAD3).....	25
9.3	SPINTA DEL TERRENO (LOAD4 E LOAD5).....	25

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INORLotto
11Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001Rev.
AFoglio
3 di 144

9.4	AZIONI TERMICHE E RITIRO (LOAD 6 ÷ 9).....	26
9.5	CARICHI MOBILI VERTICALI SULLA SOLETTA INFERIORE (LOAD 10)	27
9.6	SERPEGGIO (LOAD 11)	29
9.7	FORZA CENTRIFUGA (LOAD 12)	29
9.8	SOVRACCARICO SUL RICOPRIMENTO SUPERIORE (LOAD 13)	30
9.9	SPINTA DEL SOVRACCARICO (LOAD 14).....	30
9.10	AZIONE ECCEZIONALE (LOAD 15).....	30
9.11	AZIONE SISMICA (LOAD 16÷20).....	31
9.12	RIEPILOGO DEI CARICHI SOLLECITANTI.....	33
10.	ANALISI DEI CARICHI SEZIONE TIPO 2	34
10.1	PESO PROPRIO STRUTTURE (LOAD1)	34
10.2	CARICHI PERMANENTI PORTATI (LOAD2 E LOAD3).....	34
10.3	SPINTA DEL TERRENO (LOAD4 E LOAD5)	34
10.4	AZIONI TERMICHE E RITIRO (LOAD 6 ÷ 9).....	35
10.5	CARICHI MOBILI VERTICALI SULLA SOLETTA INFERIORE (LOAD 10)	36
10.6	SERPEGGIO (LOAD 11)	38
10.7	FORZA CENTRIFUGA (LOAD 12)	38
10.8	SOVRACCARICO SUL RICOPRIMENTO SUPERIORE (LOAD 13)	39
10.9	SPINTA DEL SOVRACCARICO (LOAD 14).....	39
10.10	AZIONE ECCEZIONALE (LOAD 15).....	39
10.11	AZIONE SISMICA (LOAD 16÷20).....	40
10.12	RIEPILOGO DEI CARICHI SOLLECITANTI.....	42
11.	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	43
11.1	CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO ADOTTATE	43
11.1.1	<i>Combinazioni SLU di tipo STR</i>	44
11.1.2	<i>Combinazioni SLU di tipo GEO</i>	45
11.1.3	<i>Combinazioni SLV</i>	46
11.1.4	<i>Combinazioni ECC – Eccezionali</i>	46

11.1.5	Combinazioni SLE – Quasi Permanente – Caratteristica	47
11.2	DIAGRAMMI DI INVILUPPO – SEZIONE TIPO 1	48
11.2.1	Inviluppo momento flettente SLU/SLV/ECC – STR	48
11.2.2	Inviluppo taglio SLU/SLV/ECC – STR	49
11.2.3	Inviluppo momento flettente SLE – Quasi Permanente	50
11.2.4	Inviluppo momento flettente SLE – Caratteristico.....	51
11.3	DIAGRAMMI DI INVILUPPO – SEZIONE TIPO 2.....	52
11.3.1	Inviluppo momento flettente SLU/SLV/ECC – STR	52
11.3.2	Inviluppo taglio SLU/SLV/ECC – STR	53
11.3.3	Inviluppo momento flettente SLE – Quasi Permanente	54
11.3.4	Inviluppo momento flettente SLE – Caratteristico.....	55
12.	VERIFICHE DI RESISTENZA ULTIMA E DI ESERCIZIO	56
12.1	SEZIONE TIPO 1	57
12.1.1	Soletta inferiore – sezione di incastro	57
12.1.1.1	Verifiche allo stato limite ultimo per flessione.....	58
12.1.1.2	Verifiche allo stato limite ultimo per taglio	59
12.1.1.3	Verifiche allo stato limite di esercizio.....	60
12.1.2	Soletta inferiore – sezione di mezzeria	61
12.1.2.1	Verifiche allo stato limite ultimo per flessione.....	62
12.1.2.2	Verifiche allo stato limite di esercizio.....	63
12.1.3	Piedritto – sezione di incastro inferiore	64
12.1.3.1	Verifiche allo stato limite ultimo per flessione.....	65
12.1.3.2	Verifiche allo stato limite ultimo per taglio	66
12.1.3.3	Verifiche allo stato limite di esercizio.....	67
12.1.4	Piedritto – sezione di mezzeria	68
12.1.4.1	Verifiche allo stato limite ultimo per flessione.....	69
12.1.4.2	Verifiche allo stato limite di esercizio.....	70
12.1.5	Piedritto – sezione di incastro superiore.....	71
12.1.5.1	Verifiche allo stato limite ultimo per flessione.....	72
12.1.5.2	Verifiche allo stato limite di esercizio.....	73
12.1.6	Soletta superiore – sezione di incastro	74
12.1.6.1	Verifiche allo stato limite ultimo per flessione.....	75
12.1.6.2	Verifiche allo stato limite ultimo per taglio	76

Doc. N.	Progetto INOR	Lotto 11	Codifica Documento E E2 CL GA23 00 001	Rev. A	Foglio 5 di 144
12.1.6.3					77
12.1.7					78
12.1.7.1					79
12.1.7.2					80
12.2					81
12.2.1					81
12.2.1.1					82
12.2.1.2					83
12.2.1.3					84
12.2.2					85
12.2.2.1					86
12.2.2.2					87
12.2.3					88
12.2.3.1					89
12.2.3.2					90
12.2.3.3					91
12.2.4					92
12.2.4.1					93
12.2.4.2					94
12.2.5					95
12.2.5.1					96
12.2.5.2					97
12.2.6					98
12.2.6.1					99
12.2.6.2					100
12.2.6.3					101
12.2.7					102
12.2.7.1					103
12.2.7.2					104
12.3					105
12.4					107
12.4.1					107
12.4.2					108
13.					109

13.1	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	109
13.1.1	<i>Pressioni del terreno</i>	109
13.1.2	<i>Sovraccarichi accidentali</i>	110
13.1.3	<i>Azione sismica</i>	110
13.2	COMBINAZIONE DEI CARICHI	110
13.3	AZIONI SOLLECITANTI.....	111
13.3.1	<i>Codolo di testa</i>	111
13.3.1.1	<i>Azioni elementari</i>	111
13.3.1.2	<i>Azioni di calcolo</i>	111
13.3.2	<i>Cordolo laterale - sbalzo 150cm</i>	111
13.3.2.1	<i>Azioni elementari</i>	111
13.3.2.2	<i>Azioni di calcolo</i>	112
13.3.3	<i>Cordolo laterale - sbalzo 270cm</i>	112
13.3.3.1	<i>Azioni elementari</i>	112
13.3.3.2	<i>Azioni di calcolo</i>	113
13.3.4	<i>Cordolo laterale - sbalzo 315cm</i>	113
13.3.4.1	<i>Azioni elementari</i>	113
13.3.4.2	<i>Azioni di calcolo</i>	114
13.4	VERIFICHE STRUTTURALI.....	115
13.4.1	<i>Codolo di testa</i>	115
13.4.1.1	<i>Verifiche allo stato limite ultimo per flessione</i>	116
13.4.1.2	<i>Verifiche allo stato limite ultimo per taglio</i>	117
13.4.1.3	<i>Verifiche allo stato limite di esercizio</i>	118
13.4.2	<i>Cordolo laterale - sbalzo 150cm – profondità 11.0m</i>	119
13.4.2.1	<i>Verifiche allo stato limite ultimo per flessione</i>	120
13.4.2.2	<i>Verifiche allo stato limite ultimo per taglio</i>	121
13.4.2.3	<i>Verifiche allo stato limite di esercizio</i>	122
13.4.3	<i>Cordolo laterale - sbalzo 270cm – profondità 6.0m</i>	123
13.4.3.1	<i>Verifiche allo stato limite ultimo per flessione</i>	124
13.4.3.2	<i>Verifiche allo stato limite ultimo per taglio</i>	125
13.4.3.3	<i>Verifiche allo stato limite di esercizio</i>	126
13.4.4	<i>Cordolo laterale - sbalzo 270cm – profondità 11.0m</i>	127
13.4.4.1	<i>Verifiche allo stato limite ultimo per flessione</i>	128
13.4.4.2	<i>Verifiche allo stato limite ultimo per taglio</i>	129

13.4.4.3	Verifiche allo stato limite di esercizio.....	130
13.4.5	Cordolo laterale - sbalzo 315cm – profondità 3.0m.....	131
13.4.5.1	Verifiche allo stato limite ultimo per flessione.....	132
13.4.5.2	Verifiche allo stato limite ultimo per taglio	133
13.4.5.3	Verifiche allo stato limite di esercizio.....	134
13.4.6	Cordolo laterale - sbalzo 315cm – profondità 6.0m.....	135
13.4.6.1	Verifiche allo stato limite ultimo per flessione.....	136
13.4.6.2	Verifiche allo stato limite ultimo per taglio	137
13.4.6.3	Verifiche allo stato limite di esercizio.....	138
13.4.7	Cordolo laterale - sbalzo 315cm – profondità 11.0m.....	139
13.4.7.1	Verifiche allo stato limite ultimo per flessione.....	140
13.4.7.2	Verifiche allo stato limite ultimo per taglio	141
13.4.7.3	Verifiche allo stato limite di esercizio.....	142
14.	VERIFICA A FUOCO.....	143
15.	RIFERIMENTI.....	144
15.1	DOCUMENTI REFERENZIATI.....	144
15.2	DOCUMENTI CORRELATI	144
15.3	DOCUMENTI SUPERATI.....	144

1. INTRODUZIONE

La presente relazione è relativa al calcolo della galleria artificiale facente parte dell'opera denominata "GA23 - galleria artificiale IC VR merci – BD, ubicata dal km 1+626.455 al km 1+935.866 del binario dispari della linea di interconnessione, con uno sviluppo complessivo pari a 309.41m.

L'opera è realizzata mediante scatolari in c.a. gettati in opera a singola canna e a singolo binario.

Lo scatolare presenta larghezza interna costante pari a 6.20m e altezza variabile da un min. di 8.20m ad un max. di 8.35m. I conci presentano soletta superiore e piedritti di spessore 80cm e soletta inferiore di spessore 90cm ad eccezione dei conci posti in corrispondenza dell'intersezione con la linea ferroviaria storica che presentano tutti gli elementi strutturali di spessore 120cm.

Il ricoprimento degli scatolari è pari a 1.00m e diventa pari a circa 1.55m in corrispondenza dell'intersezione con la linea ferroviaria storica.

Nella seguente tabella si riassumono le principali caratteristiche geometriche di ciascun concio:

Concio	L [m]	Lint [m]	Hint [m]	sp. sol. sup [m]	sp. sol. inf [m]	sp. pied.[m]	Hric	Classific. per calcolo
1	25.90	6.20	8.20	0.80	0.90	0.80	1.00	Tipo 1
2	25.90	6.20	8.20	0.80	0.90	0.80	1.00	Tipo 1
3	25.90	6.20	8.20	0.80	0.90	0.80	1.00	Tipo 1
4	25.90	6.20	8.20	0.80	0.90	0.80	1.00	Tipo 1
5	25.90	6.20	8.20	0.80	0.90	0.80	1.00	Tipo 1
6	25.90	6.20	8.20	0.80	0.90	0.80	1.00	Tipo 1
7A	30.00	6.20	8.20	1.20	1.20	1.20	1.00 ÷ 1.55	Tipo 3
7B	30.00	6.20	8.20	1.20	1.20	1.20	1.00 ÷ 1.55	Tipo 3
8	23.51	6.20	8.20	0.80	0.90	0.80	1.00	Tipo 1
9	23.51	6.20	8.20	0.80	0.90	0.80	1.00	Tipo 1
10	23.51	6.20	8.20	0.80	0.90	0.80	1.00	Tipo 1
11	23.51	6.20	8.35	0.80	0.90	0.80	1.00	Tipo 2

L = lunghezza concio; Lint = larghezza interna; Hint = altezza interna; sp. Sol. Sup.=spessore soletta superiore; sp sol. Inf = spessore soletta inferiore; sp pied = spessore piedritti; Hric = altezza ricoprimento

Considerando le caratteristiche geometriche dei manufatti, sono state individuate 3 sezioni di calcolo:

- Tipo 1: galleria Hint=8.20 – Hric. 1.00m – metodo di calcolo: sezione 2D
- Tipo 2: galleria Hint=8.35 – Hric. 1.00m – metodo di calcolo: sezione 2D
- Tipo 3: galleria Hint=8.20 – Hric. 1.55m con soprastante linea ferroviaria storica – metodo di calcolo: modello 3D

In considerazione delle condizioni al contorno dell'opera, la sezione Tipo 1 viene calcolata considerando cautelativamente un ricoprimento pari a 1.60m, in analogia a quanto effettuato per GA22.

Per quanto riguarda la sezione tipo 3, in considerazione delle dimensioni geometriche dei manufatti, per il calcolo delle sollecitazioni e per verifiche strutturali si rimanda al documento Ref [2].

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001

Rev.
A

Foglio
9 di 144

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 tra i Comuni di Sona e di Sommacampagna (VR), 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

- Legge 05.11.1971 n. 1086 "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica"
- 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”;
- UNI EN 1992-1-2 aprile 2005 (EC2 “Progettazione strutturale contro l’incendio”) “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l’incendio”
- UNI EN 1998-5 gennaio 2005 (EC8) “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica– Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”
- Regolamento U.E. nr. 1303/2014 della commissione del 18 novembre 2014 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità concernente la «sicurezza nelle gallerie ferroviarie» del sistema ferroviario dell'Unione europea (norma STI)
- 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;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 4 – Gallerie (RFI DTC SI GA MA IFS 001 A). Emissione 30/12/2016;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 3 – Corpo Stradale (RFI DTC SI CS MA IFS 001 A). Emissione 30/12/2016;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 6 – Sagome e Profilo minimo degli ostacoli (RFI DTC SI CS MA IFS 003 A). Emissione 30/12/2016;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 2 – Ponti e strutture (RFI DTC SI PS MA IFS 001 A). Emissione 30/12/2016;
- “Criteri per il dimensionamento e verifiche delle gallerie artificiali D.M. 2008” rev. 01 del 26.01.2017 – ITALFERR U.O. Gallerie

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 delle solette 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) $\rightarrow \sigma_c = 0.40 \times f_{ck} = 12.28 \text{ N/mm}^2$

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	$\geq 450 \text{ MPa}$
Limite di rottura f_t	$\geq 540 \text{ MPa}$
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 $\rightarrow f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
- Tensione caratteristica a rottura $\rightarrow f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
- Tensione in condizione di esercizio (comb. Rara) $\rightarrow \sigma_s = 0.80 * f_{yk} = 360.00 \text{ N/mm}^2$
- Fattore di sicurezza acciaio $\rightarrow \gamma_s = 1.15$
- Resistenza a trazione di calcolo $\rightarrow f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391.30 \text{ N/mm}^2$

4.4 Durabilità e prescrizioni sui materiali

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

Al fine di ottenere la prestazione richiesta in funzione delle condizioni ambientali, nonché per la definizione della relativa classe, si fa riferimento alle indicazioni contenute nelle Linee Guida sul calcestruzzo strutturale edite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ovvero alle norme UNI EN 206-1:2006 ed UNI 11104:2016.

Per le opere della presente relazione si adotta quanto segue:

<u>Fondazione</u>	CLASSE DI ESPOSIZIONE	XC2
<u>Elevazione</u>	CLASSE DI ESPOSIZIONE	XC2

4.5 Copriferro minimo e copriferro nominale

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

Il copriferro nominale c_{nom} è somma di due contributi, il copriferro minimo c_{min} e la tolleranza di posizionamento h . Vale pertanto: $c_{nom} = c_{min} + h$. Considerate le condizioni ambientali dell'opera e le classi di resistenza del calcestruzzo, si adotta un copriferro nominale pari a $c_{nom} = 40$ mm per la fondazione e per l'elevazione dello scatolare.

5. PARAMETRI SISMICI

L'opera ricade nel comune di Sona in provincia di Verona.

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

$$a_g = 0.237g$$

$$a_{gv} = 0.155 g;$$

$$F_0 = 2.432;$$

$$T^*_c = 0.283 s;$$

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:

$$S_S = 1.170$$

$$S_T = 1.0$$

L'accelerazione massima orizzontale viene valutata pari a:

$$a_{\max} (\text{SLV}) = S a_g = 1.170 \times 1.00 \times 0.237 g = 0.277 g$$

6. PARAMETRI GEOTECNICI

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

Materiali da reinterro a tergo dello scatolare:

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

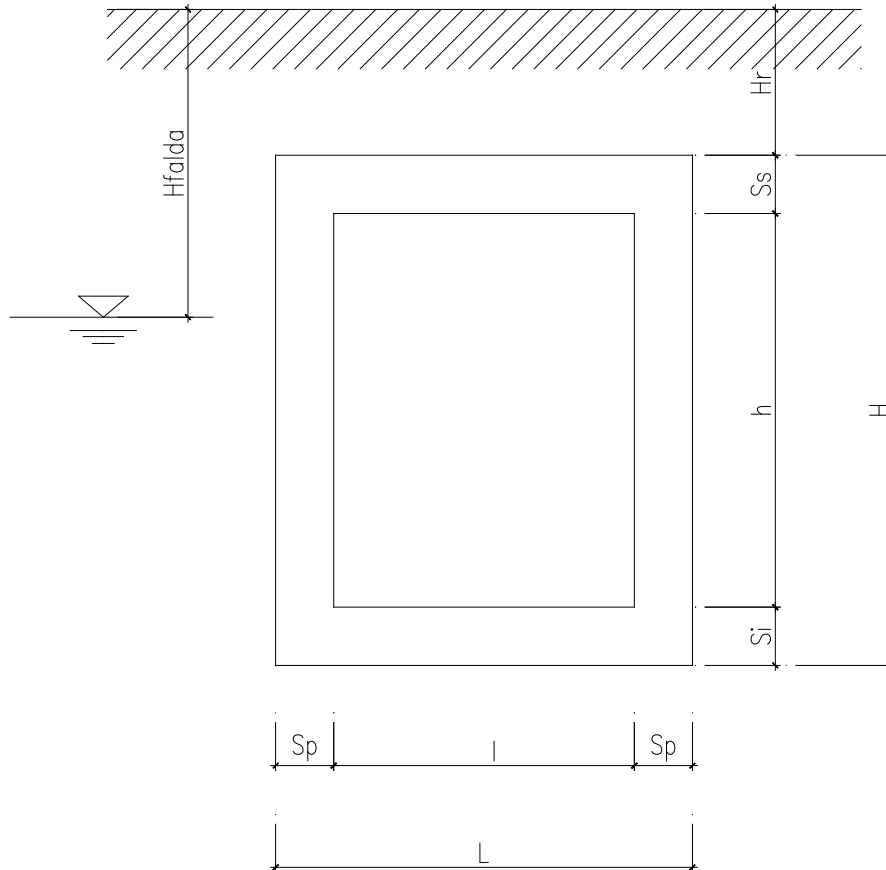
Il coefficiente di spinta a riposo corrispondente è pari a $k_0 = 0.426$.

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

7. GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

7.1 Sezione Tipo 1

Si riportano di seguito le dimensioni geometriche della struttura:



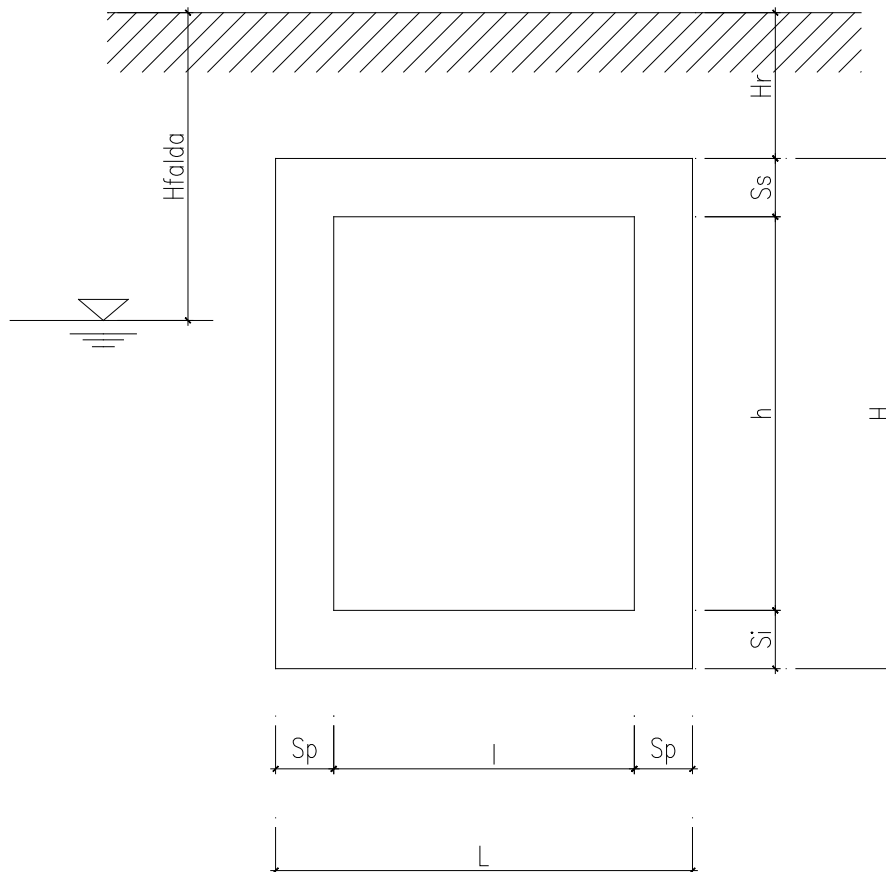
Dimensioni geometriche (sezione in retto):

- $l = 6.20$ m
- $h = 8.20$ m
- $S_s = 0.80$ m
- $S_f = 0.90$ m
- $S_p = 0.80$ m
- $H_r = 1.60$ m
- $H_{pf} = 1.40$ m (altezza piano ferro da estradosso soletta inferiore)

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

7.2 Sezione Tipo 2

Si riportano di seguito le dimensioni geometriche della struttura:



Dimensioni geometriche (sezione in obliquo):

- $l = 6.20$ m
- $h = 8.35$ m
- $S_s = 0.80$ m
- $S_f = 0.90$ m
- $S_p = 0.80$ m
- $H_r = 1.60$ m
- $H_{pf} = 1.55$ m (altezza piano ferro da estradosso soletta inferiore)

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

8. MODELLAZIONE STRUTTURALE

8.1 Codice di calcolo

L'analisi della struttura scatolare è stata condotta con un programma agli elementi finiti (SAP2000) 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.

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/L³]
- 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 rigidità delle aste del reticolo si è assunto:

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

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

Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

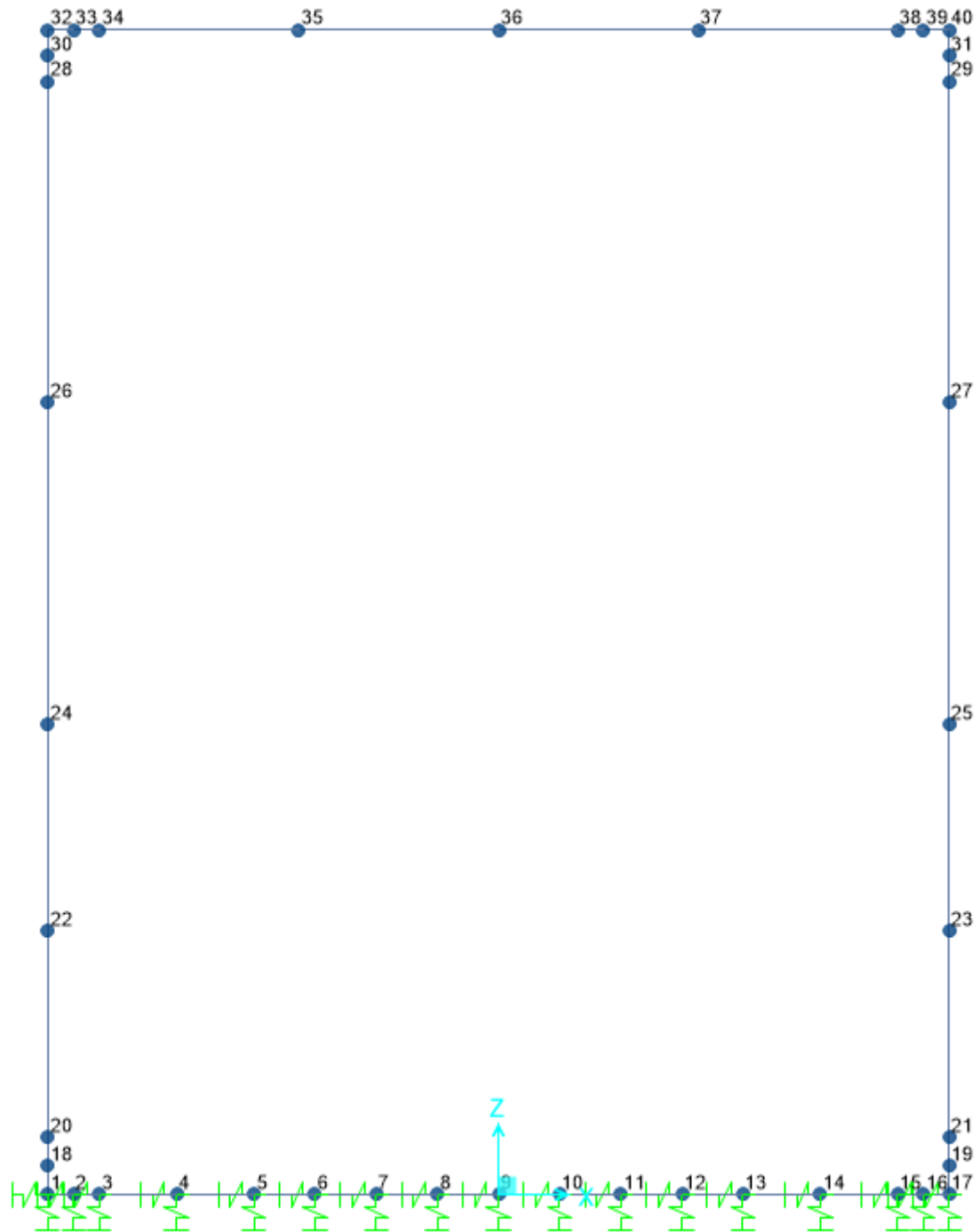
Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001

Rev.
A

Foglio
21 di 144

8.3 Modellazione scatolare tipo 1

Numerazione dei nodi:



Doc. N.

Progetto
INOR

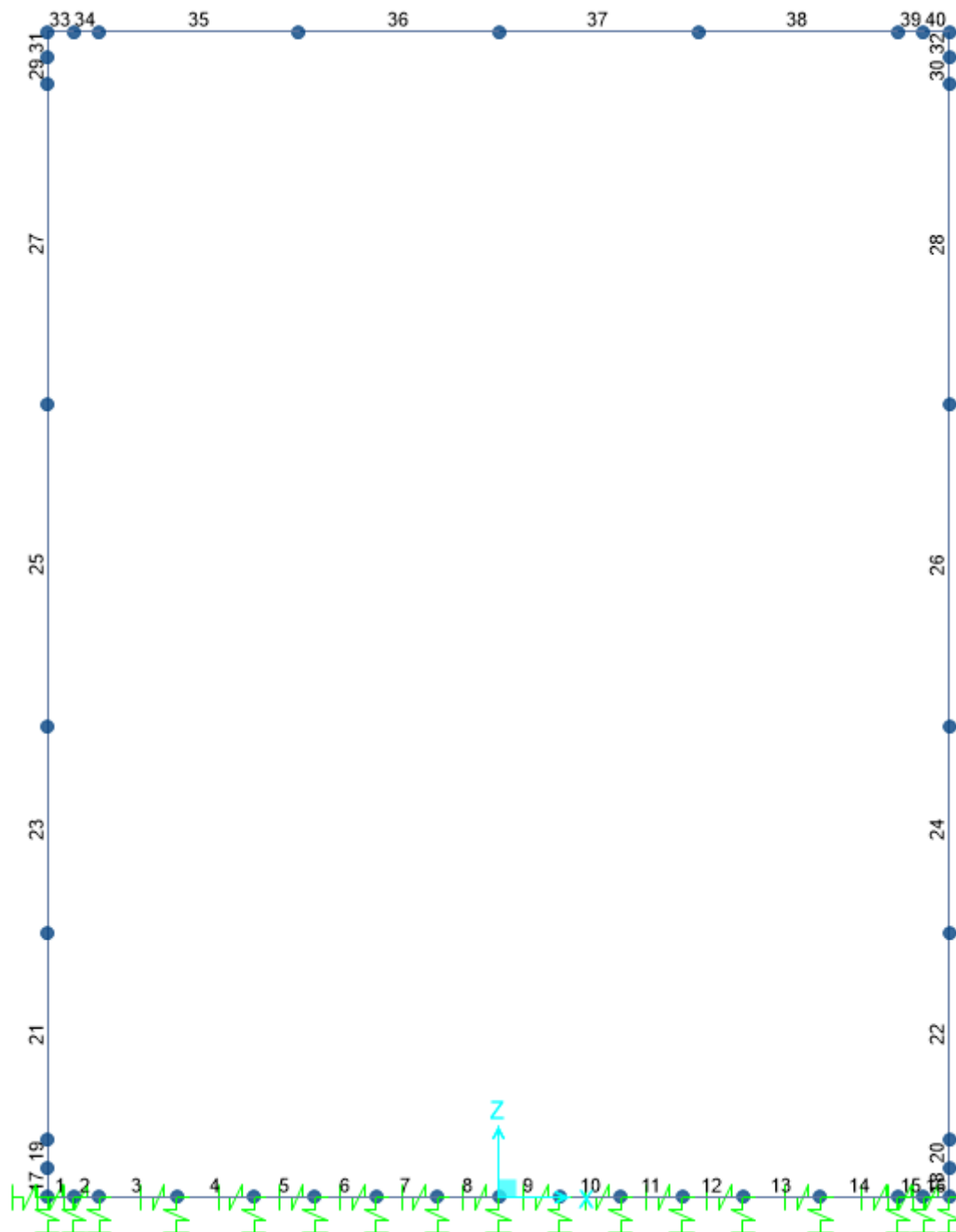
Lotto
11

Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001

Rev.
A

Foglio
22 di 144

Numerazione delle aste:



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

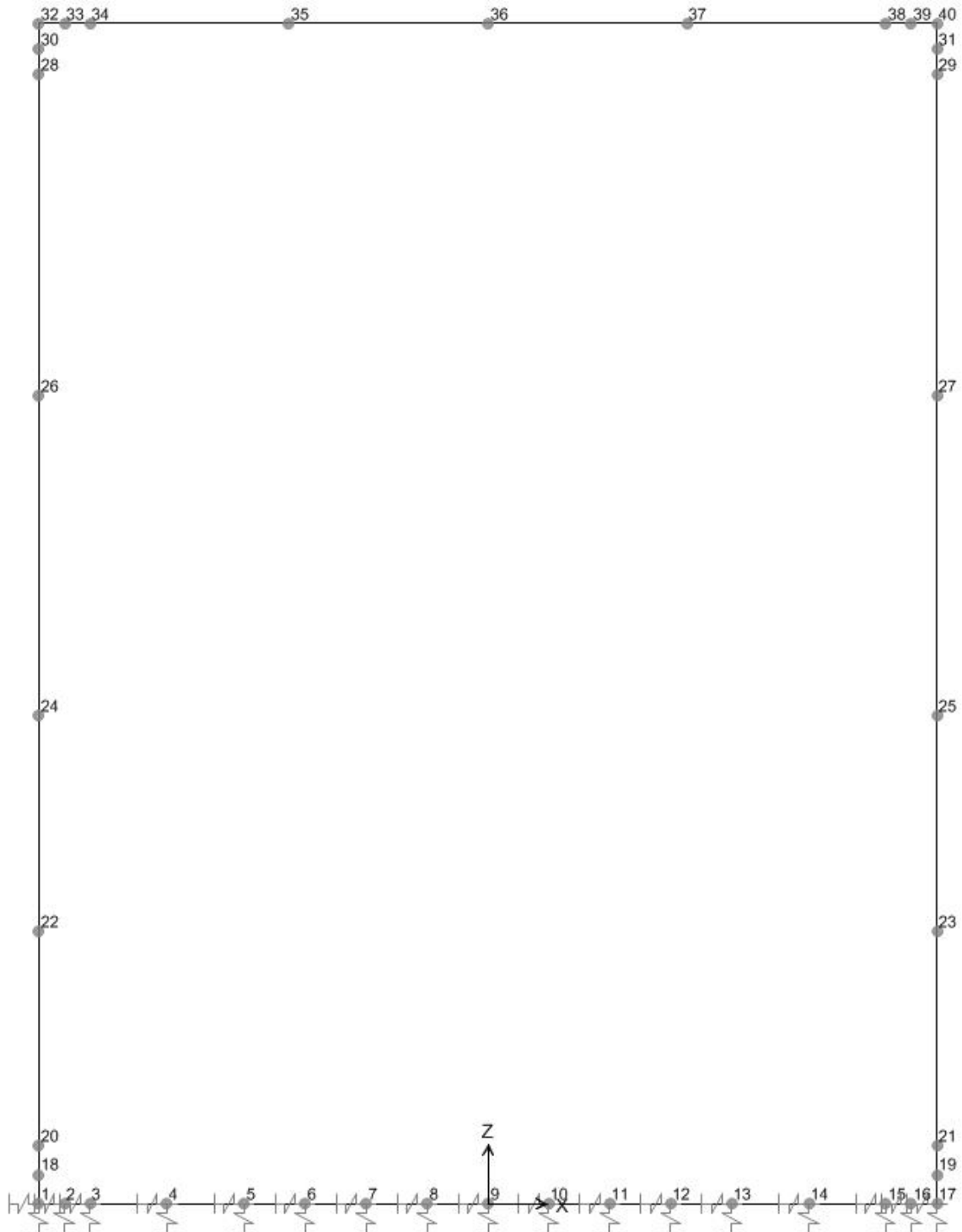
Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001

Rev.
A

Foglio
23 di 144

8.4 Modellazione scatolare tipo 2

Numerazione dei nodi:



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INOR

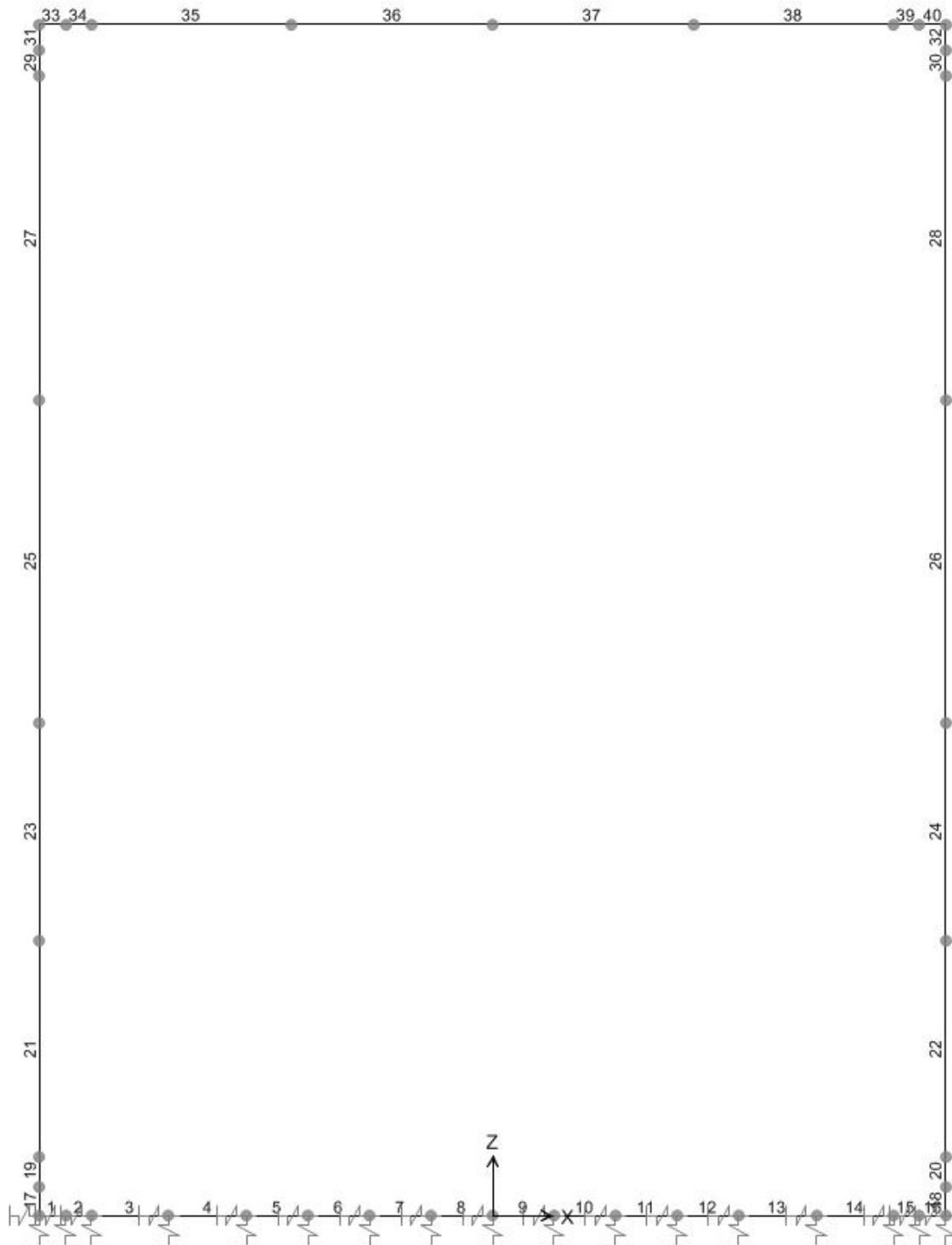
Lotto
11

Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001

Rev.
A

Foglio
24 di 144

Numerazione delle aste:



9. ANALISI DEI CARICHI SEZIONE TIPO 1

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	$S_s \times \gamma_{c.a.} = 0.80 \times 25.00$	= 20.00 kN/m ²
- piedritti	$S_p \times \gamma_{c.a.} = 0.80 \times 25.00$	= 20.00 kN/m ²
- soletta inferiore	$S_i \times \gamma_{c.a.} = 0.90 \times 25.00$	= 25.50 kN/m ²

9.2 Carichi permanenti portati (Load2 e Load3)

Load2 (ricoprimento superiore $h=1.60m$):

- ricoprimento superiore	$H_{ric} \times \gamma_{ric} = 1.60 \times 20.00$	= 32.00 kN/m ²
--------------------------	---	---------------------------

Load 3 (sovraccarico interno: massetto, marciapiedi, ballast, armamento):

- peso ballast + armamento	$H_{ballast} \times \gamma_{ballast} = 0.80 \times 20.00$	= 16.00 kN/m ²
- massetto pendenze	$H_{mass} \times \gamma_{mass} = 0.6 \times 25.00$	= 15.00 kN/m ²
- marciapiedi	$H_{marc} \times \gamma_{ca} = 1.70 \times 25.00$	= 42.50 kN/m ²

9.3 Spinta del terreno (Load4 e Load5)

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

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

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

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

$$k_{0,k} = 0.4264 \quad k_{0,M1} = 0.4264 \quad k_{0,M2} = 0.5113$$

$$k_{a,k} = 0.2710 \quad k_{a,M1} = 0.2710 \quad k_{a,M2} = 0.3434$$

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:

$$P_1 (h_1 = 1.6+0.80/2 = 2.00\text{m}) = k_{0,M1} \times h_1 \times \gamma_t = 0.4264 \times 2.00 \times 20 = \mathbf{17.05 \text{ kN/m}^2}$$

- Pressione in asse soletta inferiore:

$$P_2 (h_2 = 1.60+0.80+8.20+0.90/2 = 11.05\text{m}) = k_{0,M1} \times h_1 \times \gamma_t = 0.4264 \times 11.05 \times 20 = \mathbf{94.23 \text{ kN/m}^2}$$

Approccio 1 – Combinazione 2

- Pressione in asse soletta superiore:

$$P_1 (h_1 = 1.6+0.80/2 = 2.00\text{m}) = k_{0,M2} \times h_1 \times \gamma_t = 0.5113 \times 2.00 \times 20 = \mathbf{20.45 \text{ kN/m}^2}$$

- Pressione in asse soletta inferiore:

$$P_2 (h_2 = 1.60+0.80+8.75+0.90/2 = 11.05\text{m}) = k_{0,M2} \times h_1 \times \gamma_t = 0.5113 \times 11.05 \times 20 = \mathbf{113.00 \text{ kN/m}^2}$$

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:

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

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 $2 \times A/u = 2 \times H = 160 \text{ cm}$, ed un calcestruzzo C30/37 classe N.

Caratteristiche della sezione:

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

$$H = 80 \text{ cm}$$

Deformazione da ritiro:

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

$$\epsilon_{ca}(t = \infty) = 2.5 \times (f_{ck} - 10) \times 10^{-6} = 2.5 \times (0.83 \times 37 - 10) \times 10^{-6} = 0.051 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{cd}(t = \infty) = k_h \times \epsilon_{cd,0} = 0.7 \times 0.32 \text{ ‰} = 0.22 \text{ ‰} \text{ (per } h_0 > 500 \text{ mm, calcestruzzo C30/37 classe N, U.R.}=75\%)$$

$$\epsilon_r = \epsilon_{ca} + \epsilon_{cd} = 0.271 \text{ ‰}$$

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:

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

$$\Delta T = -\epsilon_r / [\alpha \times (1 + \phi)] = -0.288 \text{ ‰} / [10 \times 10^{-6} \times (1 + 2.5)] = -8.23 \cong -10 \text{ °C.}$$

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:

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

9.5 Carichi mobili verticali sulla soletta inferiore (Load 10)

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 massetto e 1/1 lungo le strutture in c.a., si ottiene, considerando 2.40 m la larghezza della traversina:

$$L_d = 2.40 + 2 \times ((H_r - 0.40)/4 + S_s/2) = 2.40 + 2 \times ((1.40 - 0.40)/4 + 0.90/2) = 3.80 \text{ m.}$$

Incremento dinamico per linee con ridotto standard manutentivo

Poiché i carichi mobili verticali sono agenti solamente sulla soletta inferiore, si considera il parametro L_ϕ pari alla luce di calcolo di tale elemento:

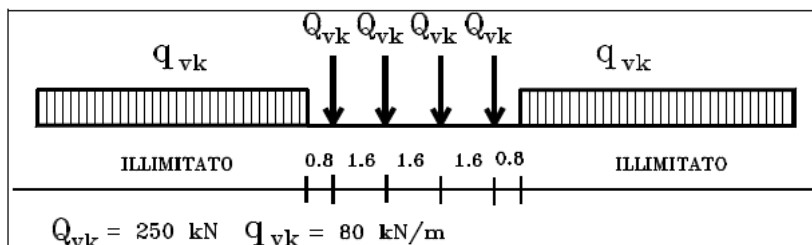
$$L_\phi = 7.00 \text{ m}$$

Linea a ridotto standard manutentivo:

$$\phi_3 = 2.16 / (L_\phi^{0.5} - 0.2) + 0.73 = 1.61$$

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:

$$L_1 = 0.25 + 2 \times ((1.40 - 0.40)/4 + 0.90/2) = 1.65 \text{ m} > 1.60 \text{ m.}$$

La lunghezza di ripartizione longitudinale risulta maggiore all'interasse delle traverse, si considera il carico equivalente distribuito relativo ai quattro assi vale:

$$q_{\text{equi}} = 250 \times 4 / 6.40 = 156.25 \text{ kN/m}$$

- in corrispondenza dei quattro assi da 250 kN

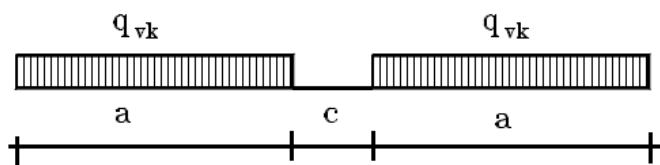
$$q_1 = \alpha \times q_{\text{equi}} / L_{d1} \times \phi_3 = 1.10 \times 156.25 / 3.80 \times 1.61 = 72.82 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_2 = \alpha \times q / L_{d1} \times \phi_3 = 1.10 \times 80 / 3.80 \times 1.61 = 37.28 \text{ kN/m}^2.$$

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.

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

$$q = q_{vk} / L_{d1} \times \phi_2 = 150 / 3.80 \times 1.61 = \mathbf{63.55 \text{ kN/m}^2}$$

Il calcolo viene effettuato considerando solamente il treno di carico LM71 in quanto maggiormente gravoso in termini di sollecitazioni.

9.6 Serpeggio (Load 11)

Si considera il serpeggio associato alla presenza dei convogli ferroviari. L'azione generata da un convoglio risulta pari a:

$$S = \pm 100.00 \times 1.1 = 110 \text{ kN}$$

L'azione orizzontale da serpeggio vale quindi:

$$h = 110 / (3.80 \times 1.65) = \mathbf{17.54 \text{ kN/m}}$$

Tale azione è applicata al piano ferro; pertanto nel trasporto al piano medio della soletta nasce una coppia di trasporto. Il momento di trasporto vale:

$$h_s = 1.40 + 0.90/2 = 1.85 \text{ kN/m}$$

$$M_s = S \times \alpha \times h_s = \pm 100.00 \times 1.1 \times 1.85 = \pm 203.50 \text{ kN/m}$$

Il momento viene distribuito secondo delle pressioni equivalenti, essendo:

$$h = 3.80 \text{ m}$$

$$b = 1.65 \text{ m}$$

$$W = b \times h^2 / 6 = 3.971 \text{ m}^3$$

risulta:

$$p_{\max} = M/W = 203.50/3.971 = \mathbf{51.25 \text{ kN/m}^2}$$

9.7 Forza centrifuga (Load 12)

L'azione centrifuga è calcolata considerando i seguenti parametri:

azione centrifuga LM71

$$r = 475 \text{ m}$$

$$V = 100 \text{ km/h}$$

$$f = 1 \text{ (per } V \leq 120 \text{ km/h)}$$

$$q_{vk,LM71} = q_{\text{equi}} = 250 \times 4 / 6.40 = 156.25 \text{ kN/m}$$

$$q_{tk,LM71} = V^2 / (127 \times r) \times f \times q_{vk} / 3.8 = \mathbf{6.82 \text{ kN/m}^2}$$

$$M_{t,qt,LM71} = q_{tk,LM71} \times 3.80 \times (1.80 + \cdot \Delta h_{p,F}) = 94.59 \text{ kNm/m}$$

$$h = 3.80 \text{ m}$$

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001

Rev.
A

Foglio
30 di 144

$$b = 1.0 \text{ m}$$

$$W = b \times h^2 / 6 = 2.41 \text{ m}^3$$

$$p_{t,qt,LM71,max} = M_{t,qt,LM71} / W = 94.59 / 2.41 = \mathbf{39.25 \text{ kN/m}^2}$$

azione centrifuga SW2

$$r = 475 \text{ m}$$

$$V = 100 \text{ km/h}$$

$$f = 1 \text{ (per } V \leq 120 \text{ km/h)}$$

$$q_{vk,SW2} = 150 \text{ kN/m}$$

$$q_{tk,SW2} = V^2 / (127 \times r) \times f \times q_{vk} = 24.87 \text{ kN/m}$$

$$M_{t,qt,SW2} = q_{tk,SW2} \times (1.80 + \cdot \Delta h_{P.F}) = 90.77 \text{ kNm/m}$$

$$p_{t,qt,SW2,max} = M_{t,qt,SW2} / W = 90.77 / 2.41 = \mathbf{37.67 \text{ kN/m}^2}$$

Il calcolo viene effettuato considerando solamente il treno di carico LM71 in quanto maggiormente gravoso in termini di sollecitazioni.

9.8 Sovraccarico sul ricoprimento superiore (Load 13)

Si assume un sovraccarico accidentale pari a 20 kN/m².

9.9 Spinta del sovraccarico (Load 14)

Il sovraccarico accidentale genera incrementi di spinta orizzontale nel terreno pari a:

Approccio 1 – Combinazione 1

$$p_1 = q \times k_{0,M1} = 20.00 \times 0.412 = \mathbf{8.24 \text{ kN/m}^2}$$

Approccio 1 – Combinazione 2

$$p_1 = q \times k_{0,M2} = 20.00 \times 0.5113 = \mathbf{10.23 \text{ kN/m}^2}$$

La spinta è applicata sul solo piedritto sinistro per massimizzare gli effetti di sbilanciamento della struttura.

9.10 Azione eccezionale (Load 15)

Nel caso del deragliamento all'interno della galleria si considera agente una forza agente ad 1,80m dal Piano Ferro ripartita su di una lunghezza pari a 5,00 m dimensione longitudinale del piedritto:

$$F_t = 750 / 5.00 = \mathbf{150.00 \text{ kN/m}}$$

9.11 Azione sismica (Load 16÷20)

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.

$a_{gh} = 0.277$ g, accelerazione orizzontale;

$a_{gv} = 0.155$ 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} :

$$\Delta p_d = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot h_{tot} = 0.277 \times 20.0 \times 11.50 = 63.71 \text{ kN/m}^2.$$

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:

$$\Delta p_{d,incr} = \Delta p_d \times (H_{interna} + S_s + S_i) / (H_{interna} + S_s/2 + S_i) = 63.71 \times 9.45 / 9.05 = \mathbf{66.52 \text{ kN/m}^2}$$

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**):

$$\text{Piedritti: } \Delta p_{p,h} = \gamma_{c.a.} \times S_p \times a_{gh} = 25 \times 0.80 \times 0.277 = \mathbf{5.54 \text{ kN/m}^2}$$

$$\text{Soletta: } \Delta p_{s,h} = (\gamma_{c.a.} \times S_s + G_{sovracc}) \times a_{gh} = (25 \times 0.80 + 32.00) \times 0.277 = \mathbf{14.40 \text{ kN/m}^2}$$

Sulla soletta inferiore è presente il treno di carico LM71 del quale si considera l'inerzia della massa ad essi associata.

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:

$$w_{LM71, sis} = 1.1 \times 250 \times 4 \times 0.2 = 220 \text{ kN}$$

$$\Delta p_{LM71, h} = 220 \times 0.277 / (3.80 \times 6.40) = \mathbf{2.51 \text{ kN/m}^2}$$

Tale azione è applicata al piano ferro; pertanto nel trasporto al piano medio della soletta nasce una coppia di trasporto. Il momento di trasporto vale:

$$\Delta M_{LM71,h} = (220/6.40) \times 0.277 \times 1.85 = 17.61 \text{ kNm/m}$$

$$\Delta m_{LM71,h,max} = \Delta M_{LM71,h} / W = 17.61 / 2.41 = 7.31 \text{ kN/m}^2$$

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 19**):

$$\text{Piedritti: } \Delta p_{p,v} = \pm \gamma_{c.a.} \times S_p \times a_{gv} = \pm 25 \times 0.80 \times 0.155 = \pm 3.10 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Soletta: } \Delta p_{s,v} = \pm (\gamma_{c.a.} \times S_s + G_{sovracc}) \times a_{gv} = \pm (25 \times 0.80 + 32.00) \times 0.155 = \pm 8.06 \text{ kN/m}^2$$

Sulla soletta inferiore è presente il treno di carico LM71 del quale si considera l'inerzia della massa ad essi associata.

Le azioni verticali si considerano alternativamente agenti verso l'alto o verso il basso.

L'effetto inerziale del treno di carico LM71 si considera uniformemente distribuito sulla soletta inferiore (**Load 20**):

$$\Delta p_{LM71,v} = \pm 220 \times 0.155 / (3.80 \times 6.40) = \pm 1.40 \text{ kN/m}^2$$

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		20,00	kN/m ²
	Piedritti		20,00	kN/m ²
	Soletta inferiore		22,50	kN/m ²
Load 2	Ricoprimento superiore		32,00	kN/m ²
Load 3	Ballast+armamento		16,00	kN/m ²
	massetto		15,00	kN/m ²
	marciapiedi		42,50	kN/m ²
Load 4, Load 5	STR	p1	17,05	kN/m ²
		p2	94,23	kN/m ²
	GEO	p1	20,45	kN/m ²
		p2	113,00	kN/m ²
Load 6	T		5	°C
Load 7	T		-15	°C
Load 8	ΔT		6,25	°C/m
Load 9	ΔT		-6,25	°C/m
Load 10	q1		72,82	kN/m ²
Load 11	h _{serp}		17,54	kN/m ²
	p _{serp}		±51,25	kN/m ²
Load 12	q _{tk,LM71}		6,82	kN/m ²
	p _{tk,LM71}		±39,25	kN/m ²
Load 13	q		20,00	kN/m ²
Load 14	STR	p	8,24	kN/m ²
	GEO	p	10,23	kN/m ²
Load 15	F _t		150,00	kN/m ²
Load 16	$\Delta p_{d,inc}$		66,52	kN/m ²
Load 17	$\Delta p_{p,h}$		5,54	kN/m ²
	$\Delta p_{s,h}$		14,40	kN/m ²
Load 18	$\Delta p_{LM71,h}$		2,51	kN/m ²
	$\Delta p_{m,LM71,h}$		7,31	kN/m ²
Load 19	$\Delta p_{p,v+}$		±3,10	kN/m ²
	$\Delta p_{s,v+}$		±8,06	kN/m ²
Load 20	$\Delta p_{LM71,v+}$		±1,40	kN/m ²

10. ANALISI DEI CARICHI SEZIONE TIPO 2

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

10.1 Peso proprio strutture (Load1)

- soletta superiore	$S_s \times \gamma_{c.a.} = 0.80 \times 25.00$	= 20.00 kN/m ²
- piedritti	$S_p \times \gamma_{c.a.} = 0.80 \times 25.00$	= 20.00 kN/m ²
- soletta inferiore	$S_i \times \gamma_{c.a.} = 0.90 \times 25.00$	= 25.50 kN/m ²

10.2 Carichi permanenti portati (Load2 e Load3)

Load2 (ricoprimento superiore $h=1.00m$):

- ricoprimento superiore	$H_{ric} \times \gamma_{ric} = 1.00 \times 20.00$	= 20.00 kN/m ²
--------------------------	---	---------------------------

Load 3 (sovraccarico interno: massetto, marciapiedi, ballast, armamento):

- peso ballast + armamento	$H_{ballast} \times \gamma_{ballast} = 0.80 \times 20.00$	= 16.00 kN/m ²
- massetto pendenze	$H_{mass} \times \gamma_{mass} = 0.75 \times 25.00$	= 18.75 kN/m ²
- marciapiedi	$H_{marc} \times \gamma_{ca} = 1.80 \times 25.00$	= 45.00 kN/m ²

10.3 Spinta del terreno (Load4 e Load5)

Il reinterro a ridosso dello scatolare verrà realizzato tramite materiale arido di buone caratteristiche meccaniche. Secondo quanto riportato in precedenza per il reinterro 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:

$$P_1 (h_1 = 1.0+0.80/2 = 1.40\text{m}) = k_{0,M1} \times h_1 \times \gamma_t = 0.4264 \times 1.40 \times 20 = \mathbf{11.94 \text{ kN/m}^2}$$

- Pressione in asse soletta inferiore:

$$P_2 (h_2 = 1.00+0.80+8.35+0.90/2 = 10.60\text{m}) = k_{0,M1} \times h_1 \times \gamma_t = 0.4264 \times 10.60 \times 20 = \mathbf{90.40 \text{ kN/m}^2}$$

Approccio 1 – Combinazione 2

- Pressione in asse soletta superiore:

$$P_1 (h_1 = 1.0+0.80/2 = 1.40\text{m}) = k_{0,M2} \times h_1 \times \gamma_t = 0.5113 \times 1.40 \times 20 = \mathbf{14.32 \text{ kN/m}^2}$$

- Pressione in asse soletta inferiore:

$$P_2 (h_2 = 1.00+0.80+8.35+0.90/2 = 10.60\text{m}) = k_{0,M2} \times h_1 \times \gamma_t = 0.5113 \times 10.60 \times 20 = \mathbf{108.40 \text{ kN/m}^2}$$

10.4 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:

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

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 $2 \times A/u = 2 \times H = 160 \text{ cm}$, ed un calcestruzzo C30/37 classe N.

Caratteristiche della sezione:

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

$$H = 80 \text{ cm}$$

Deformazione da ritiro:

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

$$\varepsilon_{ca}(t = \infty) = 2.5 \times (f_{ck} - 10) \times 10^{-6} = 2.5 \times (0.83 \times 37 - 10) \times 10^{-6} = 0.051 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{cd}(t = \infty) = k_h \times \varepsilon_{cd,0} = 0.7 \times 0.32 \text{ ‰} = 0.22 \text{ ‰} \text{ (per } h_0 > 500 \text{ mm, calcestruzzo C30/37 classe N, U.R.}=75\%)$$

$$\varepsilon_r = \varepsilon_{ca} + \varepsilon_{cd} = 0.271 \text{ ‰}$$

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:

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

$$\Delta T = -\varepsilon_r / [\alpha \times (1 + \phi)] = -0.288 \text{ ‰} / [10 \times 10^{-6} \times (1 + 2.5)] = -8.23 \cong -10 \text{ °C.}$$

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:

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

10.5 Carichi mobili verticali sulla soletta inferiore (Load 10)

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 massetto e 1/1 lungo le strutture in c.a., si ottiene, considerando 2.40 m la larghezza della traversina:

$$L_d = 2.40 + 2 \times ((H_r - 0.40)/4 + SS_s/2) = 2.40 + 2 \times ((1.40 - 0.40)/4 + 0.90/2) = 3.80 \text{ m.}$$

Dove, cautelativamente si è assunta altezza del piano ferro da estradosso soletta pari a 1.40m.

Incremento dinamico per linee con ridotto standard manutentivo

Poiché i carichi mobili verticali sono agenti solamente sulla soletta inferiore, si considera il parametro L_ϕ pari alla luce di calcolo di tale elemento:

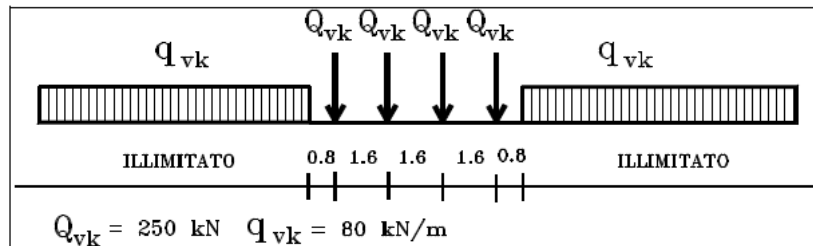
$$L_\phi = 7.00 \text{ m}$$

Linea a ridotto standard manutentivo:

$$\phi_3 = 2.16 / (L_\phi^{0.5} - 0.2) + 0.73 = 1.61$$

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:

$$L_1 = 0.25 + 2 \times ((1.40 - 0.40)/4 + 0.90/2) = 1.65 \text{ m} > 1.60 \text{ m.}$$

La lunghezza di ripartizione longitudinale risulta maggiore all'interasse delle traverse, si considera il carico equivalente distribuito relativo ai quattro assi vale:

$$q_{\text{equi}} = 250 \times 4 / 6.40 = 156.25 \text{ kN/m}$$

- in corrispondenza dei quattro assi da 250 kN

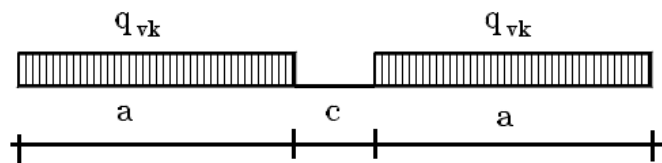
$$q_1 = \alpha \times q_{\text{equi}} / L_{d1} \times \phi_3 = 1.10 \times 156.25 / 3.80 \times 1.61 = 72.82 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_2 = \alpha \times q / L_{d1} \times \phi_3 = 1.10 \times 80 / 3.80 \times 1.61 = 37.28 \text{ kN/m}^2.$$

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.

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

$$q = q_{vk} / L_{d1} \times \phi_2 = 150 / 3.80 \times 1.61 = \mathbf{63.55 \text{ kN/m}^2}$$

Il calcolo viene effettuato considerando solamente il treno di carico LM71 in quanto maggiormente gravoso in termini di sollecitazioni.

10.6 Serpeggio (Load 11)

Si considera il serpeggio associato alla presenza dei convogli ferroviari. L'azione generata da un convoglio risulta pari a:

$$S = \pm 100.00 \times 1.1 = 110 \text{ kN}$$

L'azione orizzontale da serpeggio vale quindi:

$$h = 110 / (3.80 \times 1.65) = \mathbf{17.54 \text{ kN/m}}$$

Tale azione è applicata al piano ferro; pertanto nel trasporto al piano medio della soletta nasce una coppia di trasporto. Il momento di trasporto vale:

$$h_s = 1.40 + 0.90/2 = 1.85 \text{ kN/m}$$

$$M_s = S \times \alpha \times h_s = \pm 100.00 \times 1.1 \times 1.85 = \pm 203.50 \text{ kN/m}$$

Il momento viene distribuito secondo delle pressioni equivalenti, essendo:

$$h = 3.80 \text{ m}$$

$$b = 1.65 \text{ m}$$

$$W = b \times h^2 / 6 = 3.971 \text{ m}^3$$

risulta:

$$p_{\max} = M/W = 203.50/3.971 = \mathbf{51.25 \text{ kN/m}^2}$$

10.7 Forza centrifuga (Load 12)

L'azione centrifuga è calcolata considerando i seguenti parametri:

azione centrifuga LM71

$$r = 475 \text{ m}$$

$$V = 100 \text{ km/h}$$

$$f = 1 \text{ (per } V \leq 120 \text{ km/h)}$$

$$q_{vk,LM71} = q_{\text{equi}} = 250 \times 4 / 6.40 = 156.25 \text{ kN/m}$$

$$q_{tk,LM71} = V^2 / (127 \times r) \times f \times q_{vk} / 3.8 = \mathbf{6.82 \text{ kN/m}^2}$$

$$M_{t,qtk,LM71} = q_{tk,LM71} \times 3.80 \times (1.80 + \cdot \Delta h_{p,F}) = 94.59 \text{ kNm/m}$$

$$h = 3.80 \text{ m}$$

$$b = 1.0 \text{ m}$$

$$W = b \times h^2 / 6 = 2.41 \text{ m}^3$$

$$p_{t,qt,LM71,max} = M_{t,qt,LM71} / W = 94.59 / 2.41 = \mathbf{39.25 \text{ kN/m}^2}$$

azione centrifuga SW2

$$r = 475 \text{ m}$$

$$V = 100 \text{ km/h}$$

$$f = 1 \text{ (per } V \leq 120 \text{ km/h)}$$

$$q_{vk,SW2} = 150 \text{ kN/m}$$

$$q_{tk,SW2} = V^2 / (127 \times r) \times f \times q_{vk} = 24.87 \text{ kN/m}$$

$$M_{t,qt,SW2} = q_{tk,SW2} \times (1.80 + \cdot \Delta h_{P.F}) = 90.77 \text{ kNm/m}$$

$$p_{t,qt,SW2,max} = M_{t,qt,SW2} / W = 90.77 / 2.41 = \mathbf{37.67 \text{ kN/m}^2}$$

Il calcolo viene effettuato considerando solamente il treno di carico LM71 in quanto maggiormente gravoso in termini di sollecitazioni.

10.8 Sovraccarico sul ricoprimento superiore (Load 13)

Si assume un sovraccarico accidentale pari a 20 kN/m².

10.9 Spinta del sovraccarico (Load 14)

Il sovraccarico accidentale genera incrementi di spinta orizzontale nel terreno pari a:

Approccio 1 – Combinazione 1

$$p_1 = q \times k_{0,M1} = 20.00 \times 0.412 = \mathbf{8.24 \text{ kN/m}^2}$$

Approccio 1 – Combinazione 2

$$p_1 = q \times k_{0,M2} = 20.00 \times 0.5113 = \mathbf{10.23 \text{ kN/m}^2}$$

La spinta è applicata sul solo piedritto sinistro per massimizzare gli effetti di sbilanciamento della struttura.

10.10 Azione eccezionale (Load 15)

Nel caso del deragliamento all'interno della galleria si considera agente una forza agente ad 1,80m dal Piano Ferro ripartita su di una lunghezza pari a 5,00 m dimensione longitudinale del piedritto:

$$F_t = 750 / 5.00 = \mathbf{150.00 \text{ kN/m}}$$

10.11 Azione sismica (Load 16÷20)

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.

$a_{gh} = 0.277$ g, accelerazione orizzontale;

$a_{gv} = 0.155$ 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} :

$$\Delta p_d = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot h_{tot} = 0.277 \times 20.0 \times 11.05 = 61.22 \text{ kN/m}^2.$$

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:

$$\Delta p_{d,incr} = \Delta p_d \times (H_{interna} + S_s + S_i) / (H_{interna} + S_s/2 + S_i) = 61.22 \times 9.60 / 9.20 = \mathbf{63.88 \text{ kN/m}^2}$$

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**):

$$\text{Piedritti: } \Delta p_{p,h} = \gamma_{c.a.} \times S_p \times a_{gh} = 25 \times 0.80 \times 0.277 = \mathbf{5.54 \text{ kN/m}^2}$$

$$\text{Soletta: } \Delta p_{s,h} = (\gamma_{c.a.} \times S_s + G_{sovracc}) \times a_{gh} = (25 \times 0.80 + 20.00) \times 0.277 = \mathbf{11.08 \text{ kN/m}^2}$$

Sulla soletta inferiore è presente il treno di carico LM71 del quale si considera l'inerzia della massa ad essi associata.

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:

$$w_{LM71, sis} = 1.1 \times 250 \times 4 \times 0.2 = 220 \text{ kN}$$

$$\Delta p_{LM71,h} = 220 \times 0.277 / (3.80 \times 6.40) = \mathbf{2.51 \text{ kN/m}^2}$$

Tale azione è applicata al piano ferro; pertanto nel trasporto al piano medio della soletta nasce una coppia di trasporto. Il momento di trasporto vale:

$$\Delta M_{LM71,h} = (220/6.40) \times 0.277 \times 1.85 = \mathbf{17.61 \text{ kNm/m}}$$

$$\Delta m_{LM71,h,max} = \Delta M_{LM71,h} / W = 17.61 / 2.41 = 7.31 \text{ kN/m}^2$$

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 19**):

$$\text{Piedritti: } \Delta p_{p,v} = \pm \gamma_{c.a.} \times S_p \times a_{gv} = \pm 25 \times 0.80 \times 0.155 = \pm 3.10 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Soletta: } \Delta p_{s,v} = \pm (\gamma_{c.a.} \times S_s + G_{sovracc}) \times a_{gv} = \pm (25 \times 0.80 + 20.00) \times 0.155 = \pm 6.20 \text{ kN/m}^2$$

Sulla soletta inferiore è presente il treno di carico LM71 del quale si considera l'inerzia della massa ad essi associata.

Le azioni verticali si considerano alternativamente agenti verso l'alto o verso il basso.

L'effetto inerziale del treno di carico LM71 si considera uniformemente distribuito sulla soletta inferiore (**Load 20**):

$$\Delta p_{LM71,v} = \pm 220 \times 0.155 / (3.80 \times 6.40) = \pm 1.40 \text{ kN/m}^2$$

10.12 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		20,00	kN/m ²
	Piedritti		20,00	kN/m ²
	Soletta inferiore		22,50	kN/m ²
Load 2	Ricoprimento superiore		20,00	kN/m ²
Load 3	Ballast+armamento		16,00	kN/m ²
	massetto		18,75	kN/m ²
	marciapiedi		45,00	kN/m ²
Load 4, Load 5	STR	p1	11,94	kN/m ²
		p2	90,40	kN/m ²
	GEO	p1	14,32	kN/m ²
		p2	108,40	kN/m ²
Load 6	T		5	°C
Load 7	T		-15	°C
Load 8	ΔT		6,25	°C/m
Load 9	ΔT		-6,25	°C/m
Load 10	q1		72,82	kN/m ²
Load 11	h _{serp}		17,54	kN/m ²
	p _{serp}		±51,25	kN/m ²
Load 12	q _{tk,LM71}		6,82	kN/m ²
	p _{tk,LM71}		±39,25	kN/m ²
Load 13	q		20,00	kN/m ²
Load 14	STR	p	8,24	kN/m ²
	GEO	p	10,23	kN/m ²
Load 15	Ft		150,00	kN/m ²
Load 16	$\Delta p_{d,inc}$		63,88	kN/m ²
Load 17	$\Delta p_{p,h}$		5,54	kN/m ²
	$\Delta p_{s,h}$		11,08	kN/m ²
Load 18	$\Delta p_{LM71,h}$		2,51	kN/m ²
	$\Delta p_{m_{LM71,h}}$		7,31	kN/m ²
Load 19	$\Delta p_{p,v+}$		±3,10	kN/m ²
	$\Delta p_{s,v+}$		±6,20	kN/m ²
Load 20	$\Delta p_{LM71,v+}$		±1,40	kN/m ²

11. 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).

11.1 Condizioni e combinazioni di carico adottate

Le condizioni elementari di carico considerate sono di seguito riassunte:

Load	Tipo	Carico
1	G _{gk}	Peso proprio della struttura
2	G _k	Peso rilevato
3	G _k	Peso ballast – Peso massetto – Peso marciapiedi
4	G _k	Spinta terre da sinistra
5	G _k	Spinta terre da destra
6	Q _k	Carico termico positivo uniforme
7	Q _k	Carico termico negativo uniforme
8	Q _k	Carico termico variabile +/-
9	Q _k	Carico termico variabile -/+
10	Q _k	Carico LM71 interno
11	Q _k	Serpeggio LM71 interno
12	Q _k	Centrifuga LM71 interno
13	Q _k	Sovraccarico accidentale su soletta superiore
14	Q _k	Spinta del sovraccarico accidentale sui piedritti
15	E	Urto
16	Q _k	Incremento dinamico terreno
17	Q _k	Azioni sismiche inerziali orizzontali da permanenti
18	Q _k	Azioni sismiche inerziali orizzontali da LM71
19	Q _k	Azioni sismiche inerziali verticali da permanenti
20	Q _k	Azioni sismiche inerziali verticali da LM71

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.

11.1.1 Combinazioni SLU di tipo STR

n° CC	P.P.	Rilevato	Ballast+marciapiedi	Terra sx	Terra dx	T+ unif	T- unif / Ritiro	DT +	DT -	LM71	Serpeggio LM71	Centrifuga LM71	Accidentale	Spinta Accidentale	
															1
SLU1		1	1	1,5	1	1	1,5	0	1,5	0	0	0	0	0	0
SLU 2		1,35	1,5	1	1	1	1,5	0	1,5	0	0	0	0	1,5	0
SLU 3		1,35	1,5	1	1,35	1	1,5	0	1,5	0	0	0	0	1,5	1,5
SLU 4		1	1	1,5	1,35	1	1,5	0	1,5	0	0	0	0	0	1,5
SLU 5	GR1-1	1	1	1,5	1	1	0,9	0	0,9	0	1,45	0	0	0	0
SLU 6	GR1-2	1,35	1,5	1	1	1	0,9	0	0,9	0	1,45	0	0	1,5	0
SLU 7	GR1-3	1,35	1,5	1	1,35	1	0,9	0	0,9	0	1,45	0	0	1,5	1,5
SLU 8	GR1-4	1	1	1,5	1,35	1	0,9	0	0,9	0	1,45	0	0	0	1,5
SLU 9	GR1-5	1	1	1,5	1	1	0,9	0	0,9	0	1,45	1,45	1,45	0	0
SLU 10	GR1-6	1,35	1,5	1	1	1	0,9	0	0,9	0	1,45	1,45	1,45	1,5	0
SLU 11	GR1-7	1,35	1,5	1	1,35	1	0,9	0	0,9	0	1,45	1,45	1,45	1,5	1,5
SLU 12	GR1-8	1	1	1,5	1,35	1	0,9	0	0,9	0	1,45	1,45	1,45	0	1,5
SLU 13		1	1	1,5	1	1	1,5	0	0	1,5	0	0	0	0	0
SLU 14		1,35	1,5	1	1	1	1,5	0	0	1,5	0	0	0	1,5	0
SLU 15		1,35	1,5	1	1,35	1	1,5	0	0	1,5	0	0	0	1,5	1,5
SLU 16		1	1	1,5	1,35	1	1,5	0	0	1,5	0	0	0	0	1,5
SLU 17	GR1-1	1	1	1,5	1	1	0,9	0	0	0,9	1,45	0	0	0	0
SLU 18	GR1-2	1,35	1,5	1	1	1	0,9	0	0	0,9	1,45	0	0	1,5	0
SLU 19	GR1-3	1,35	1,5	1	1,35	1	0,9	0	0	0,9	1,45	0	0	1,5	1,5
SLU 20	GR1-4	1	1	1,5	1,35	1	0,9	0	0	0,9	1,45	0	0	0	1,5
SLU 21	GR1-5	1	1	1,5	1	1	0,9	0	0	0,9	1,45	1,45	1,45	0	0
SLU 22	GR1-6	1,35	1,5	1	1	1	0,9	0	0	0,9	1,45	1,45	1,45	1,5	0
SLU 23	GR1-7	1,35	1,5	1	1,35	1	0,9	0	0	0,9	1,45	1,45	1,45	1,5	1,5
SLU 24	GR1-8	1	1	1,5	1,35	1	0,9	0	0	0,9	1,45	1,45	1,45	0	1,5
SLU 25		1	1	1,5	1	1	0	1,5	1,5	0	0	0	0	0	0
SLU 26		1,35	1,5	1	1	1	0	1,5	1,5	0	0	0	0	1,5	0
SLU 27		1,35	1,5	1	1,35	1	0	1,5	1,5	0	0	0	0	1,5	1,5
SLU 28		1	1	1,5	1,35	1	0	1,5	1,5	0	0	0	0	0	1,5
SLU 29	GR1-1	1	1	1,5	1	1	0	0,9	0,9	0	1,45	0	0	0	0
SLU 30	GR1-2	1,35	1,5	1	1	1	0	0,9	0,9	0	1,45	0	0	1,5	0
SLU 31	GR1-3	1,35	1,5	1	1,35	1	0	0,9	0,9	0	1,45	0	0	1,5	1,5
SLU 32	GR1-4	1	1	1,5	1,35	1	0	0,9	0,9	0	1,45	0	0	0	1,5
SLU 33	GR1-5	1	1	1,5	1	1	0	0,9	0,9	0	1,45	1,45	1,45	0	0
SLU 34	GR1-6	1,35	1,5	1	1	1	0	0,9	0,9	0	1,45	1,45	1,45	1,5	0
SLU 35	GR1-7	1,35	1,5	1	1,35	1	0	0,9	0,9	0	1,45	1,45	1,45	1,5	1,5
SLU 36	GR1-8	1	1	1,5	1,35	1	0	0,9	0,9	0	1,45	1,45	1,45	0	1,5
SLU 37		1	1	1,5	1	1	0	1,5	0	1,5	0	0	0	0	0
SLU 38		1,35	1,5	1	1	1	0	1,5	0	1,5	0	0	0	1,5	0
SLU 39		1,35	1,5	1	1,35	1	0	1,5	0	1,5	0	0	0	1,5	1,5
SLU 40		1	1	1,5	1,35	1	0	1,5	0	1,5	0	0	0	0	1,5
SLU 41	GR1-1	1	1	1,5	1	1	0	0,9	0	0,9	1,45	0	0	0	0
SLU 42	GR1-2	1,35	1,5	1	1	1	0	0,9	0	0,9	1,45	0	0	1,5	0
SLU 43	GR1-3	1,35	1,5	1	1,35	1	0	0,9	0	0,9	1,45	0	0	1,5	1,5
SLU 44	GR1-4	1	1	1,5	1,35	1	0	0,9	0	0,9	1,45	0	0	0	1,5
SLU 45	GR1-5	1	1	1,5	1	1	0	0,9	0	0,9	1,45	1,45	1,45	0	0
SLU 46	GR1-6	1,35	1,5	1	1	1	0	0,9	0	0,9	1,45	1,45	1,45	1,5	0
SLU 47	GR1-7	1,35	1,5	1	1,35	1	0	0,9	0	0,9	1,45	1,45	1,45	1,5	1,5
SLU 48	GR1-8	1	1	1,5	1,35	1	0	0,9	0	0,9	1,45	1,45	1,45	0	1,5

11.1.2 Combinazioni SLU di tipo GEO

n° CC	P.P.	Rilevato	Ballast+marciapiedi	Terra sx	Terra dx	T+ unif	T- unif / Ritiro	DT +	DT -	LM71	Serpeggio LM71	Centrifuga LM71	Accidentale	Spinta Accidentale
1		1	1,3	1,2	1,2	1,3	0	1,3	0	0	0	0	0	0
2		1	1,3	1,2	1,2	1,3	0	1,3	0	0	0	0	1,3	0
3		1	1,3	1,2	1,2	1,3	0	1,3	0	0	0	0	1,3	1,56
4		1	1	1,2	1,2	1,3	0	1,3	0	0	0	0	0	1,56
5	GR1-1	1	1,3	1,2	1,2	0,78	0	0,78	0	1,25	0	0	0	0
6	GR1-2	1	1,3	1,2	1,2	0,78	0	0,78	0	1,25	0	0	1,3	0
7	GR1-3	1	1,3	1,2	1,2	0,78	0	0,78	0	1,25	0	0	1,3	1,56
8	GR1-4	1	1	1,2	1,2	0,78	0	0,78	0	1,25	0	0	0	1,56
9	GR1-5	1	1	1,2	1,2	0,78	0	0,78	0	1,25	1,25	1,25	0	0
10	GR1-6	1	1,3	1,2	1,2	0,78	0	0,78	0	1,25	1,25	1,25	1,3	0
11	GR1-7	1	1,3	1,2	1,2	0,78	0	0,78	0	1,25	1,25	1,25	1,3	1,56
12	GR1-8	1	1	1,2	1,2	0,78	0	0,78	0	1,25	1,25	1,25	0	1,56
13		1	1,3	1,2	1,2	1,3	0	0	1,3	0	0	0	0	0
14		1	1,3	1,2	1,2	1,3	0	0	1,3	0	0	0	1,3	0
15		1	1,3	1,2	1,2	1,3	0	0	1,3	0	0	0	1,3	1,56
16		1	1	1,2	1,2	1,3	0	0	1,3	0	0	0	0	1,56
17	GR1-1	1	1,3	1,2	1,2	0,78	0	0	0,78	1,25	0	0	0	0
18	GR1-2	1	1,3	1,2	1,2	0,78	0	0	0,78	1,25	0	0	1,3	0
19	GR1-3	1	1,3	1,2	1,2	0,78	0	0	0,78	1,25	0	0	1,3	1,56
20	GR1-4	1	1	1,2	1,2	0,78	0	0	0,78	1,25	0	0	0	1,56
21	GR1-5	1	1	1,2	1,2	0,78	0	0	0,78	1,25	1,25	1,25	0	0
22	GR1-6	1	1,3	1,2	1,2	0,78	0	0	0,78	1,25	1,25	1,25	1,3	0
23	GR1-7	1	1,3	1,2	1,2	0,78	0	0	0,78	1,25	1,25	1,25	1,3	1,56
24	GR1-8	1	1	1,2	1,2	0,78	0	0	0,78	1,25	1,25	1,25	0	1,56
25		1	1	1,2	1,2	0	1,3	1,3	0	0	0	0	0	0
26		1	1,3	1,2	1,2	0	1,3	1,3	0	0	0	0	1,3	0
27		1	1,3	1,2	1,2	0	1,3	1,3	0	0	0	0	1,3	1,56
28		1	1	1,2	1,2	0	1,3	1,3	0	0	0	0	0	1,56
29	GR1-1	1	1,3	1,2	1,2	0	0,78	0,78	0	1,25	0	0	0	0
30	GR1-2	1	1,3	1,2	1,2	0	0,78	0,78	0	1,25	0	0	1,3	0
31	GR1-3	1	1,3	1,2	1,2	0	0,78	0,78	0	1,25	0	0	1,3	1,56
32	GR1-4	1	1	1,2	1,2	0	0,78	0,78	0	1,25	0	0	0	1,56
33	GR1-5	1	1	1,2	1,2	0	0,78	0,78	0	1,25	1,25	1,25	0	0
34	GR1-6	1	1,3	1,2	1,2	0	0,78	0,78	0	1,25	1,25	1,25	1,3	0
35	GR1-7	1	1,3	1,2	1,2	0	0,78	0,78	0	1,25	1,25	1,25	1,3	1,56
36	GR1-8	1	1	1,2	1,2	0	0,78	0,78	0	1,25	1,25	1,25	0	1,56
37		1	1	1,2	1,2	0	1,3	0	1,3	0	0	0	0	0
38		1	1,3	1,2	1,2	0	1,3	0	1,3	0	0	0	1,3	0
39		1	1,3	1,2	1,2	0	1,3	0	1,3	0	0	0	1,3	1,56
40		1	1	1,2	1,2	0	1,3	0	1,3	0	0	0	0	1,56
41	GR1-1	1	1,3	1,2	1,2	0	0,78	0	0,78	1,25	0	0	0	0
42	GR1-2	1	1,3	1,2	1,2	0	0,78	0	0,78	1,25	0	0	1,3	0
43	GR1-3	1	1,3	1,2	1,2	0	0,78	0	0,78	1,25	0	0	1,3	1,56
44	GR1-4	1	1	1,2	1,2	0	0,78	0	0,78	1,25	0	0	0	1,56
45	GR1-5	1	1	1,2	1,2	0	0,78	0	0,78	1,25	1,25	1,25	0	0
46	GR1-6	1	1,3	1,2	1,2	0	0,78	0	0,78	1,25	1,25	1,25	1,3	0
47	GR1-7	1	1,3	1,2	1,2	0	0,78	0	0,78	1,25	1,25	1,25	1,3	1,56
48	GR1-8	1	1	1,2	1,2	0	0,78	0	0,78	1,25	1,25	1,25	0	1,56

11.1.3 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+marciapiedi	Terra sx	Terra dx	T+ unif	T- unif / Ritiro	DT +	DT -	LM71	Serpeggio LM71	Centrifuga LM71	Accidentale	Spinta Accidentale	Urto	Incremento dinamico terreno	Azioni sismiche orizzontali	Sisma orizz da massa LM71	Azioni sismiche verticali	Sisma verticale da massa LM71
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SLV01	1	1	1	1	1	0,5	0	0,5	0	0,2	0	0	0	0	0	1	1	1	0,3	0,3
SLV02	1	1	1	1	1	0,5	0	0,5	0	0,2	0,2	0,2	0	0	0	1	1	1	-0,3	-0,3
SLV03	1	1	1	1	1	0,5	0	0,5	0	0,2	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	1	1
SLV04	1	1	1	1	1	0,5	0	0,5	0	0,2	0,2	0,2	0	0	0	0,3	0,3	0,3	-1	-1
SLV05	1	1	1	1	1	0,5	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	1	1	1	0,3	0,3
SLV06	1	1	1	1	1	0,5	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0	0	0	1	1	1	-0,3	-0,3
SLV07	1	1	1	1	1	0,5	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	1	1
SLV08	1	1	1	1	1	0,5	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0	0	0	0,3	0,3	0,3	-1	-1
SLV09	1	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0	0,2	0	0	0	0	0	1	1	1	0,3	0,3
SLV10	1	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0	0,2	0,2	0,2	0	0	0	1	1	1	-0,3	-0,3
SLV11	1	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0	0,2	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	1	1
SLV12	1	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0	0,2	0,2	0,2	0	0	0	0,3	0,3	0,3	-1	-1
SLV13	1	1	1	1	1	0	0,5	0	0,5	0,2	0	0	0	0	0	1	1	1	0,3	0,3
SLV14	1	1	1	1	1	0	0,5	0	0,5	0,2	0,2	0,2	0	0	0	1	1	1	-0,3	-0,3
SLV15	1	1	1	1	1	0	0,5	0	0,5	0,2	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	1	1
SLV16	1	1	1	1	1	0	0,5	0	0,5	0,2	0,2	0,2	0	0	0	0,3	0,3	0,3	-1	-1

11.1.4 Combinazioni ECC – Eccezionali

n° CC	P.P.	Rilevato	Ballast+marciapiedi	Terra sx	Terra dx	T+ unif	T- unif / Ritiro	DT +	DT -	LM71	Serpeggio LM71	Centrifuga LM71	Accidentale	Spinta Accidentale	Urto
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ECC01	1	1	1	1	1	0,5	0	0,5	0	0	0	0	0	0	1
ECC02	1	1	1	1	1	0,5	0	0,5	0	0,2	0	0	0	0	1
ECC03	1	1	1	1	1	0,5	0	0,5	0	0,2	0,2	0,2	0	0	1
ECC04	1	1	1	1	1	0,5	0	0	0	0,5	0	0	0	0	1
ECC05	1	1	1	1	1	0,5	0	0	0	0,5	0,2	0	0	0	1
ECC06	1	1	1	1	1	0,5	0	0	0	0,5	0,2	0,2	0	0	1
ECC07	1	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	1
ECC08	1	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0	0,2	0	0	0	0	1
ECC09	1	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0	0,2	0,2	0,2	0	0	1
ECC10	1	1	1	1	1	0	0,5	0	0,5	0	0	0	0	0	1
ECC11	1	1	1	1	1	0	0,5	0	0,5	0,2	0	0	0	0	1
ECC12	1	1	1	1	1	0	0,5	0	0,5	0,2	0,2	0,2	0	0	1

11.1.5 Combinazioni SLE – Quasi Permanente – Caratteristica

n° CC	P.P.	Rilevato	Ballast	Terra sx	Terra dx	T+ unif	T- unif / Ritiro	DT +	DT -	LM71 + M71	SW2 + LM71 DX	SW2 + LM71 S	LM71 terra	Serpeggio
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
QP1		1	1	1	1	1	0,5	0	0,5	0	0	0	0	0
QP2		1	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0	0	0	0	0
QP3		1	1	1	1	1	0,5	0	0	0,5	0	0	0	0
QP4		1	1	1	1	1	0	0,5	0	0,5	0	0	0	0
Car1	gr1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
Car2	gr1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0
Car3	gr1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1
Car4	gr1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1
Car5	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	0	1	0	0	0
Car6	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	0	1	0	1	0
Car7	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	0	1	0	1	1
Car8	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	0	1	0	0	1
Car9	gr3	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	0	1	1	1	0
Car10	gr3	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	0	1	1	1	0
Car11	gr3	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	0	1	1	1	1
Car12	gr3	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	0	1	1	1	1
Car13	gr3	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
Car14	gr3	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
Car15	gr3	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1
Car16	gr3	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1
Car17	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0	0	0,6	1	0	0	0
Car18	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	1	0	0	1	0
Car19	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	1	0	0	1	1
Car20	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	1	0	0	0	1
Car21	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	1	1	1	0	0
Car22	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	1	1	1	1	0
Car23	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	1	1	1	1	1
Car24	gr1	1	1	1	1	1	0,6	0	0,6	1	1	1	0	1
Car25	gr3	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0
Car26	gr3	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0
Car27	gr3	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1
Car28	gr3	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1
Car29	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	0	1	0	0	0
Car30	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	0	1	0	1	0
Car31	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	0	1	0	1	1
Car32	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	0	1	0	0	1
Car33	gr1	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	0	1	1	0	0
Car34	gr1	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	0	1	1	1	0
Car35	gr1	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	0	1	1	1	1
Car36	gr1	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	0	1	1	0	1
Car37	gr1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0
Car38	gr1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0
Car39	gr1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1
Car40	gr1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1
Car41	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6	0	0,6	1	0	0	0
Car42	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6	0	0,6	1	0	1	0
Car43	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6	0	0,6	1	0	1	1
Car44	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6	0	0,6	1	0	0	1
Car45	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6	0	0,6	1	1	0	0
Car46	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6	0	0,6	1	1	1	0
Car47	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6	0	0,6	1	1	1	1
Car48	gr3	1	1	1	1	1	0	0,6	0	0,6	1	1	0	1

Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

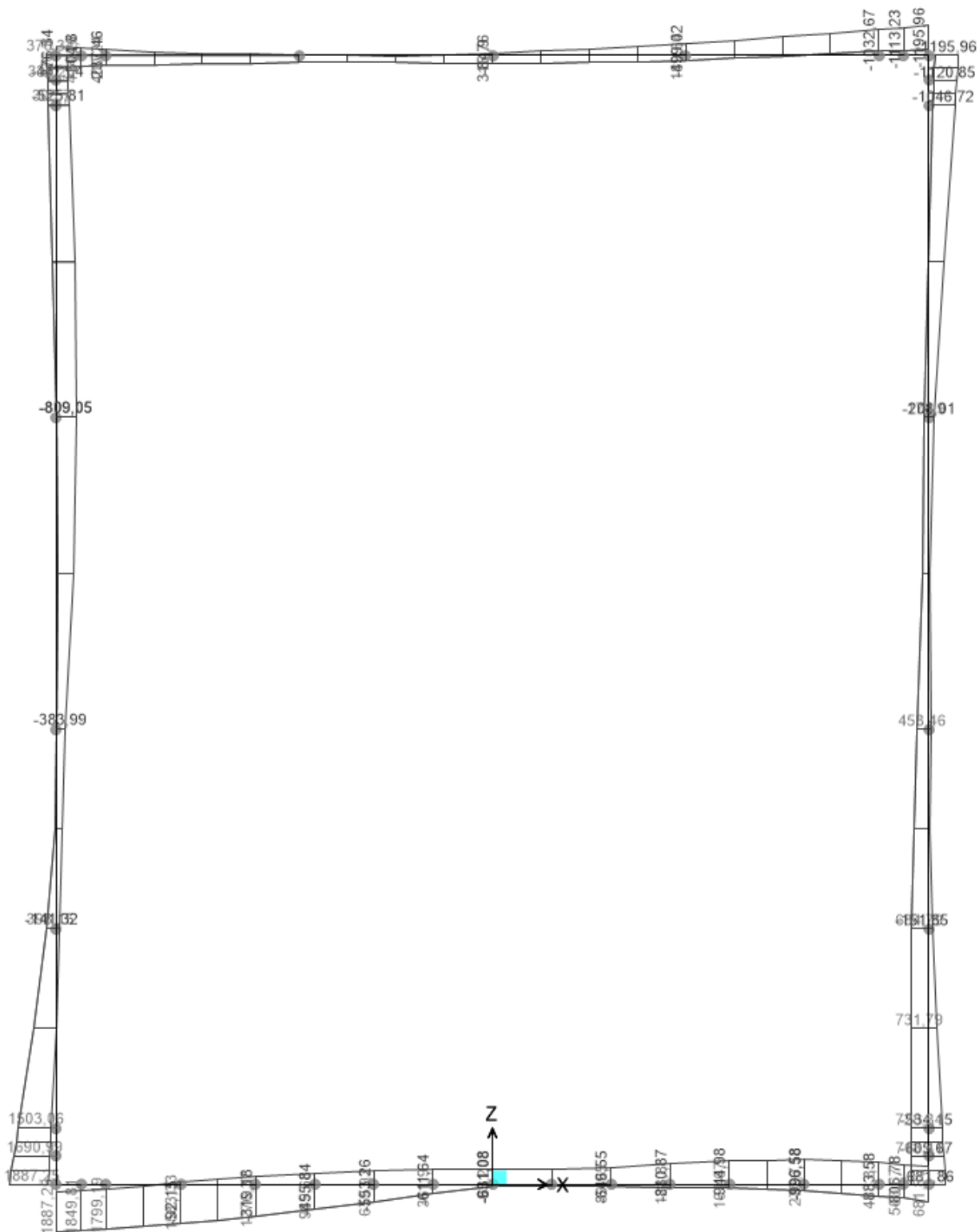
Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001

Rev.
A

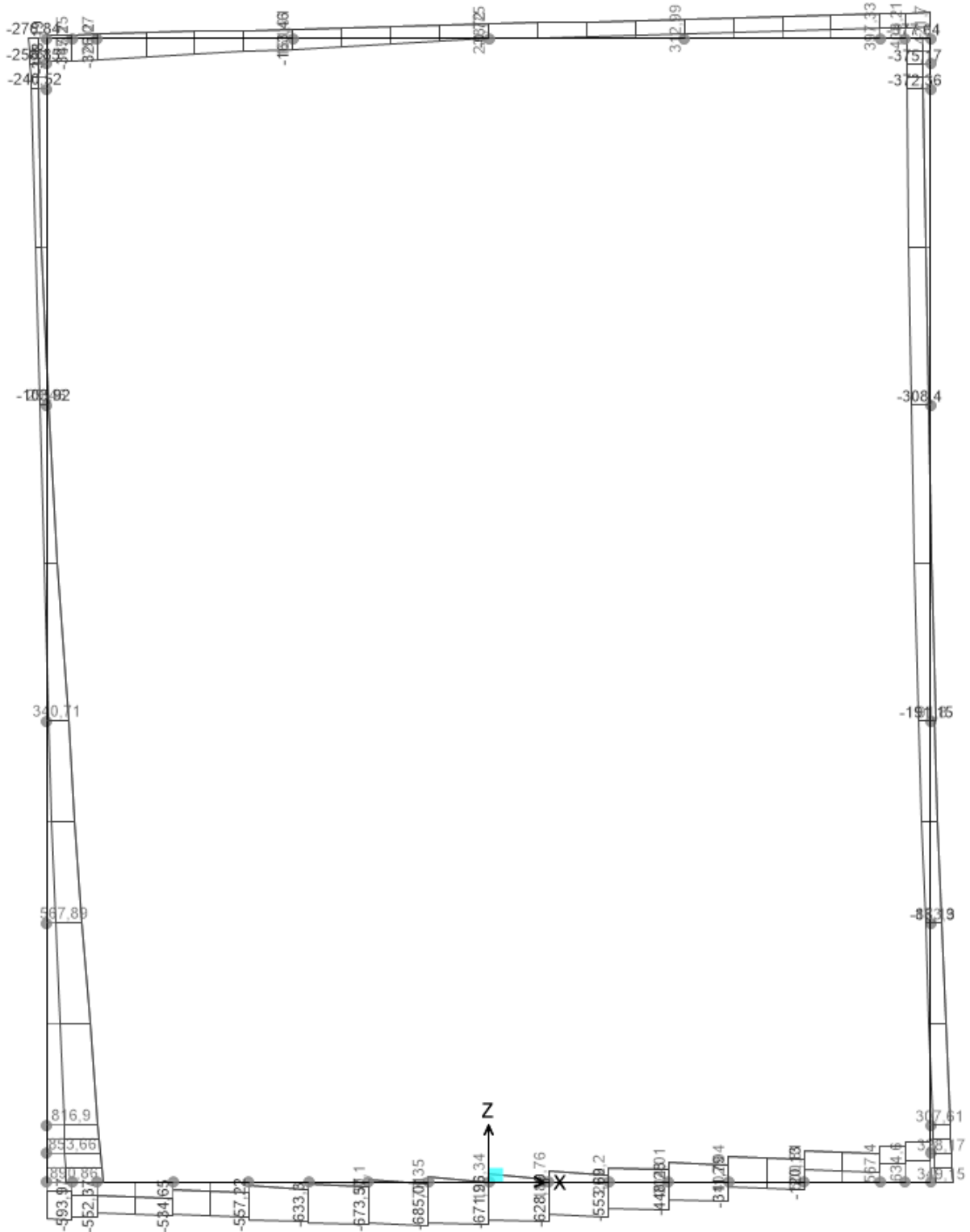
Foglio
48 di 144

11.2 Diagrammi di involuppo – sezione tipo 1

11.2.1 Involuppo momento flettente SLU/SLV/ECC – STR



11.2.2 Inviluppo taglio SLU/SLV/ECC – STR



Doc. N.

Progetto
INOR

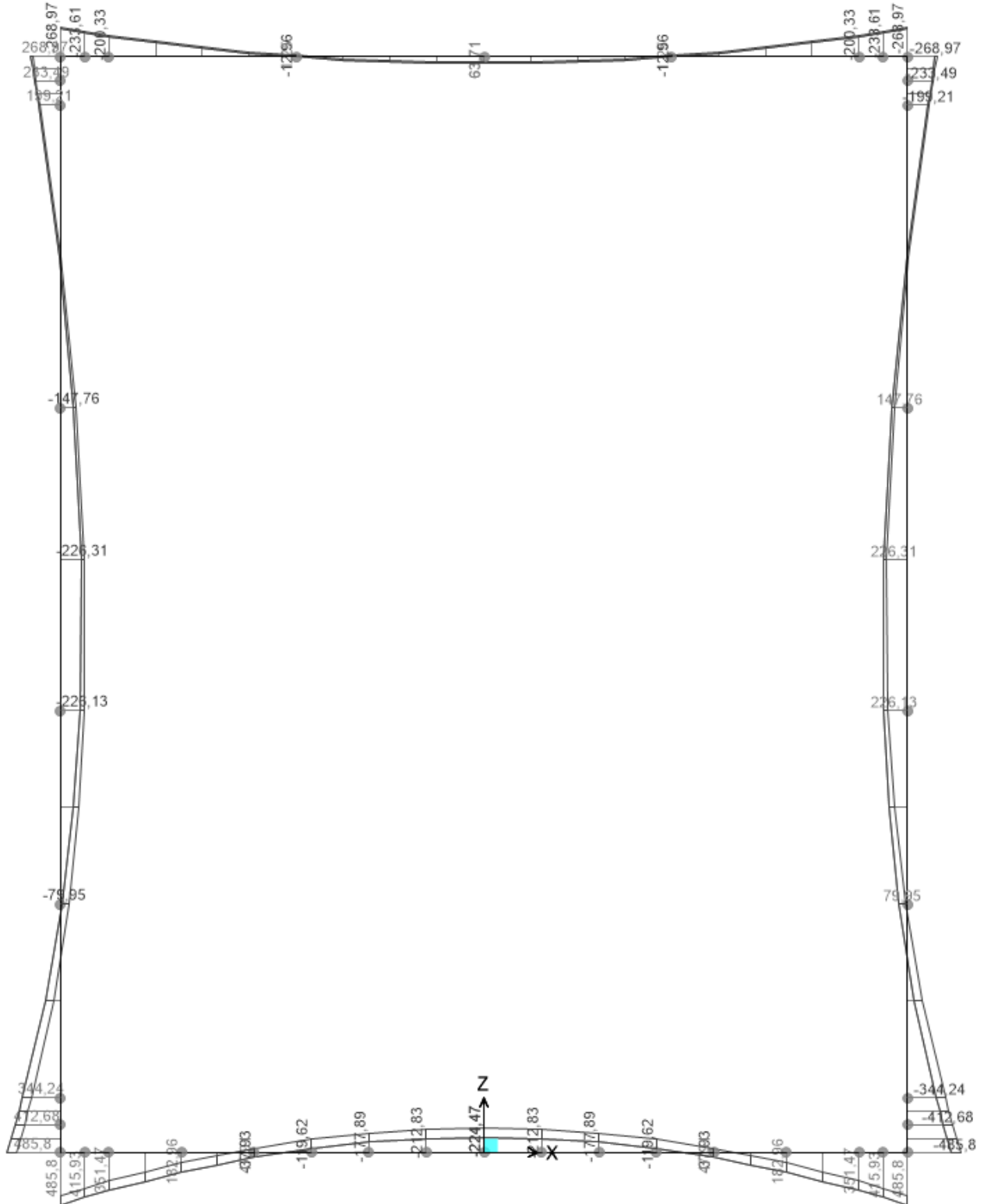
Lotto
11

Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001

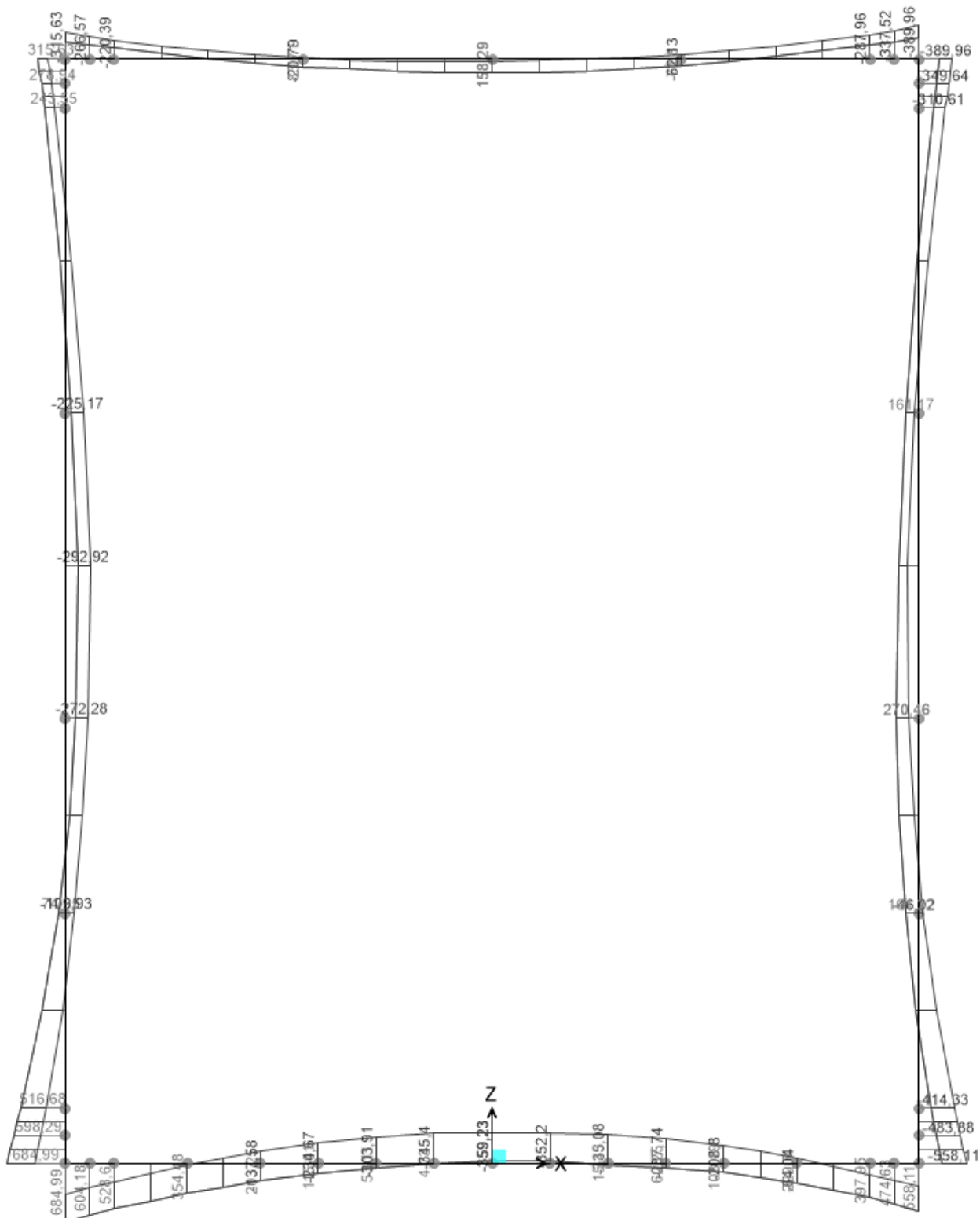
Rev.
A

Foglio
50 di 144

11.2.3 Inviluppo momento flettente SLE – Quasi Permanente



11.2.4 Inviluppo momento flettente SLE – Caratteristico



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

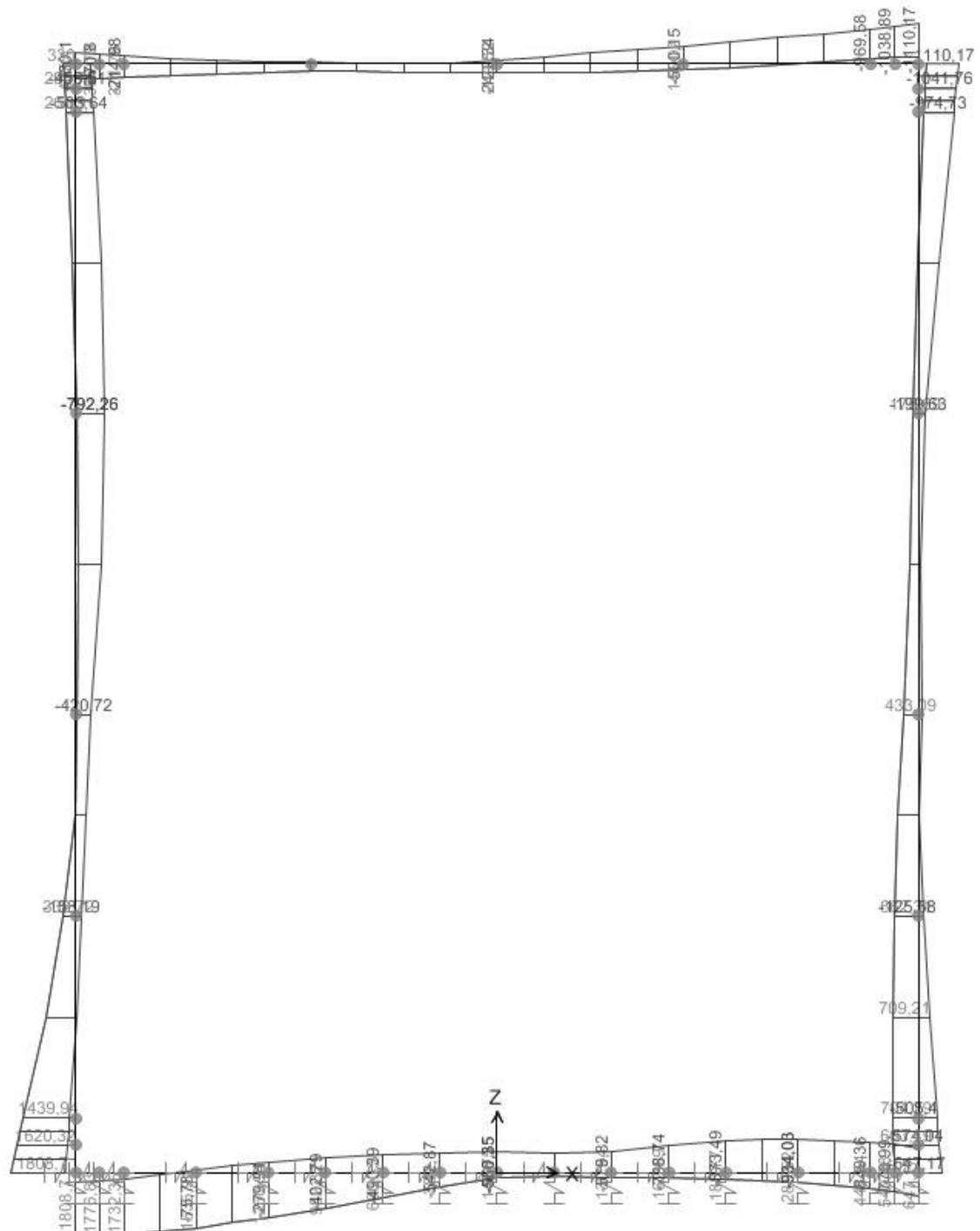
Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001

Rev.
A

Foglio
52 di 144

11.3 Diagrammi di inviluppo – sezione tipo 2

11.3.1 Inviluppo momento flettente SLU/SLV/ECC – STR



Doc. N.

Progetto
INOR

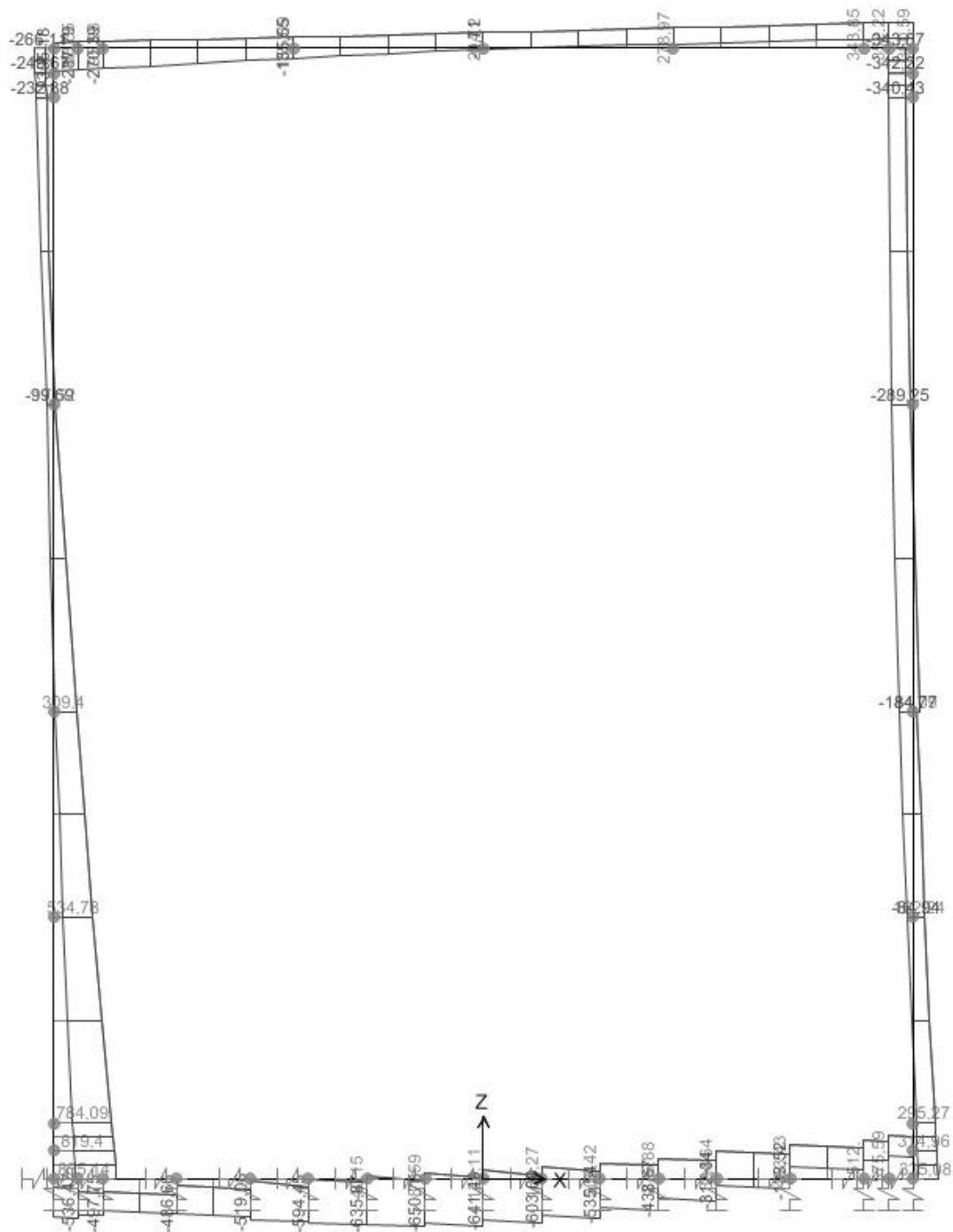
Lotto
11

Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001

Rev.
A

Foglio
53 di 144

11.3.2 Inviluppo taglio SLU/SLV/ECC – STR



Doc. N.

Progetto
INOR

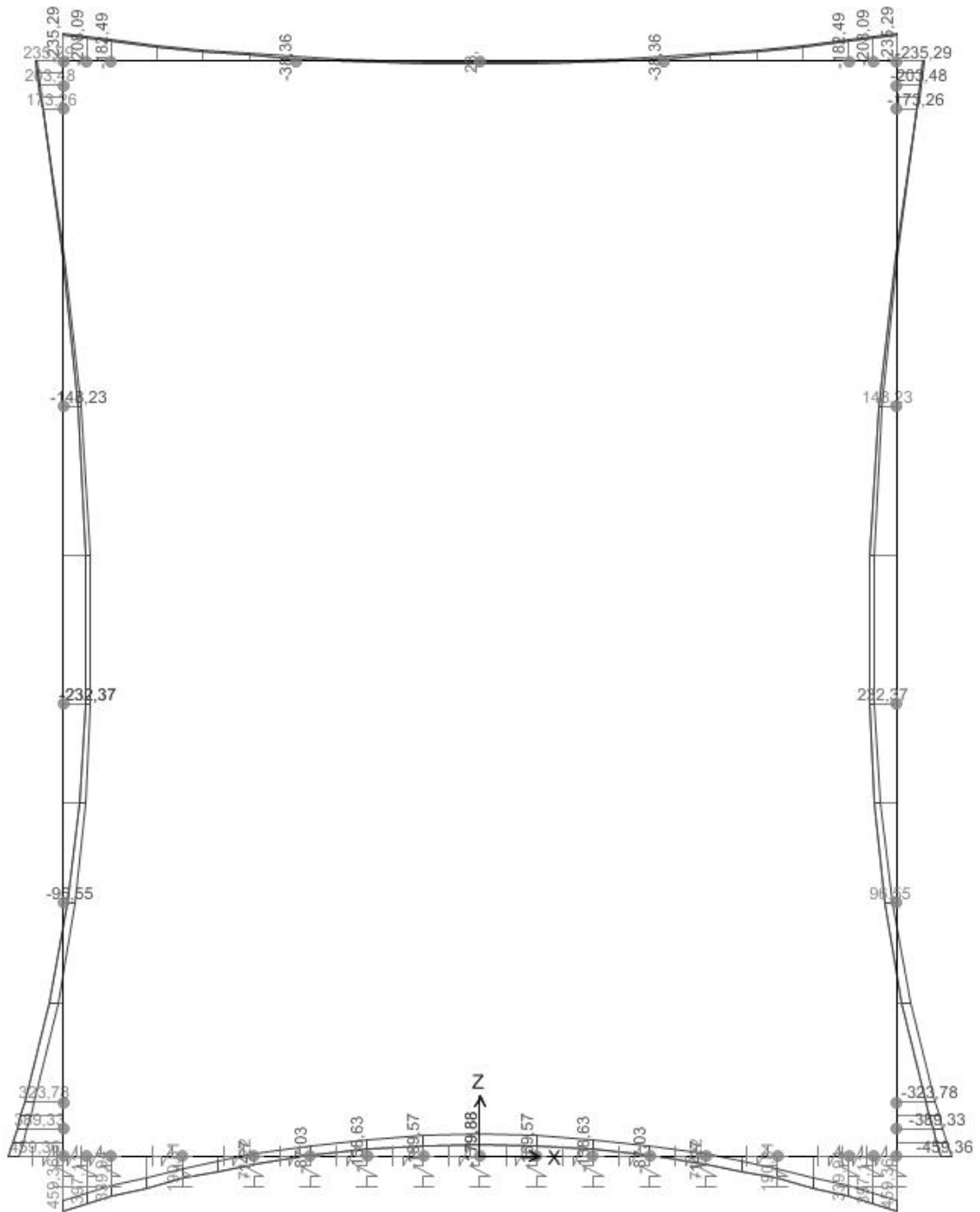
Lotto
11

Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001

Rev.
A

Foglio
54 di 144

11.3.3 Involuppo momento flettente SLE – Quasi Permanente



Doc. N.

Progetto
INOR

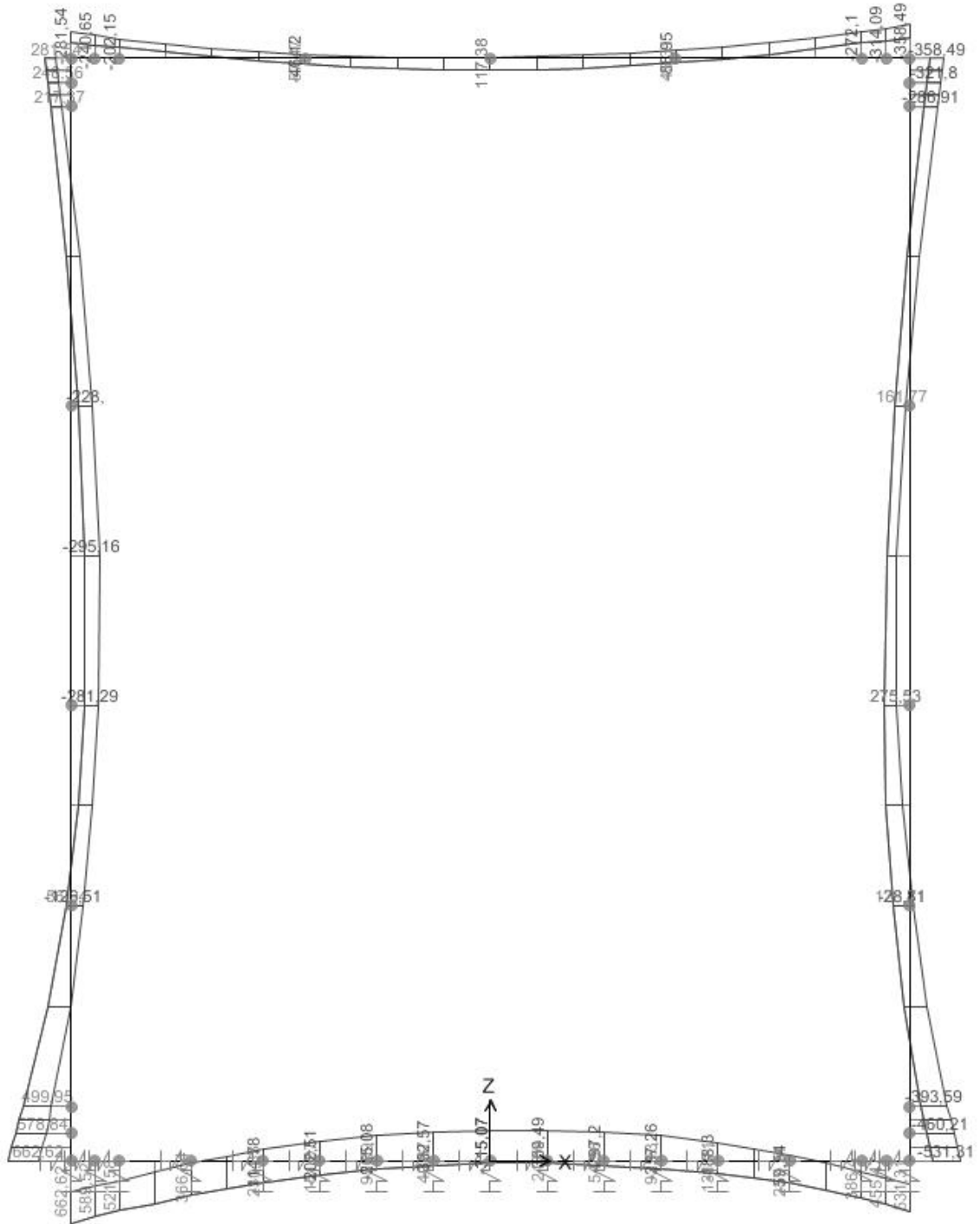
Lotto
11

Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001

Rev.
A

Foglio
55 di 144

11.3.4 Inviluppo momento flettente SLE – Caratteristico



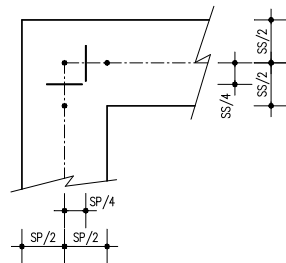
12. VERIFICHE DI RESISTENZA ULTIMA E DI ESERCIZIO

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

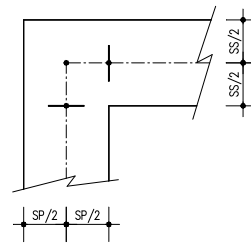
Le verifiche a flessione sono effettuate rispettivamente:

- 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 Combinazione 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
11

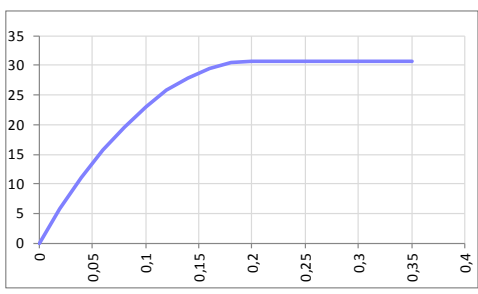
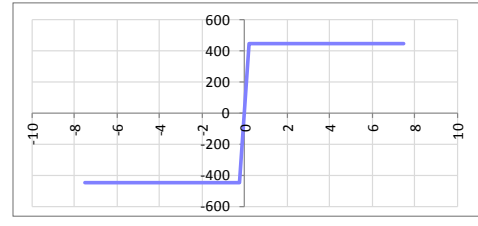
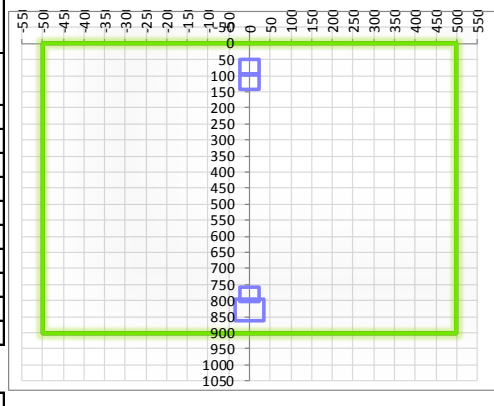
Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001

Rev.
A

Foglio
57 di 144

12.1 Sezione tipo 1

12.1.1 Soletta inferiore – sezione di incastro

SEZIONE RETTANGOLARE					
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 comportament	EL-PL				
$k = (f_y/f_{yk})_k$	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 =Es/Ec				
umidità relativa	75 %				
giorno app. carico	15 giorni				
periodo lungo termine	50 anni				
coefficiente di viscosità	1,98				
n, lungo termine=	11,41 =Es/Ecm				
n, verifiche QP	15,0 =Es/Ecm	lungo termine			
n, verifiche CAR	15,0 =Es/Ecm	breve termine			
CARATTERISTICHE SEZIONE					
Sezione:					
B=	1000 mm				
H=	900 mm				
Armature:					
Pos.	n° barre	∅ mm	yi mm		As mm ²
1	5	24	72		2261,9467
2	5	24	120		2261,9467
3	5	24	780		2261,9467
4	10	24	828		4523,8934
5					0
6					0
7				0	
8				0	
9				0	
10				0	
Armatura di ripartizione:					
Pos.	n° barre	∅ mm	yi mm	As mm ²	
superiore	5	20	50	1570,7963	
inferiore	5	20	850	1570,7963	

12.1.1.2 Verifiche allo stato limite ultimo per taglio

CALCESTRUZZO		
Classe 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	900 mm			
Barre tese		numero barre	diametro barre [mm]	copriferro in asse barra [mm]	Area barre [mm ²]
strato1		10	24	72	4524
strato2		5	24	120	2262
strato3		0	0	0	0
strato4		0	0	0	0
strato5		0	0	0	0
Area barre tese	A_s	6786 mm ²			
Posizione della barra equivalente	c^*	88 mm			

SOLLECITAZIONI		
Load Case		SLV9
Frame		7
Azione assiale (+ di compressione)	N_{Ed}	0 kN
Taglio	V_{Ed}	685,01 kN

VERIFICA RESISTENZA SEZIONE SENZA ARMATURA A TAGLIO		
Altezza utile della sezione	d	812 mm
Coefficiente	k	1,50
Rapporto di armatura longitudinale	ρ_l	0,84%
Tensione assiale media	σ_{cp}	0,00 N/mm ²
	$0.2 \times f_{cd}$	3,48 N/mm ²
	v_{min}	0,36 N/mm ²
Resistenza al taglio minima	$V_{rd,min}$	288,26 kN
Resistenza al taglio senza armatura	V_{rd}	430,06 kN
Verifica		1,59 E' necessario prevedere armatura a taglio

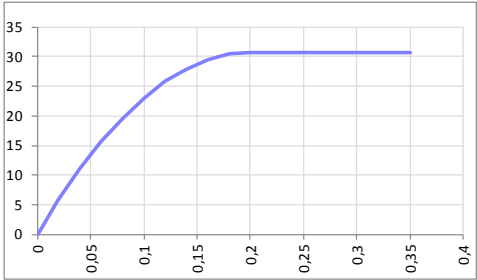
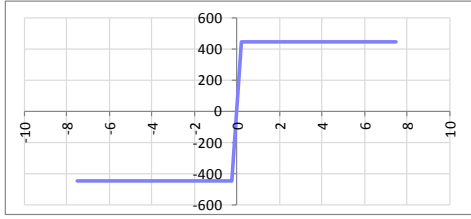
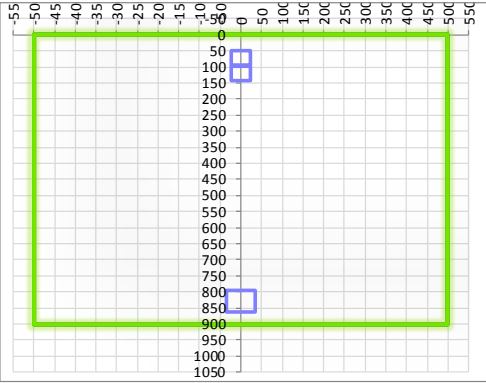
ARMATURA A TAGLIO		
Diametro staffe	ϕ	14 mm
Numero braccia	n	3,33
Passo staffe	s	200 mm
Inclinazione staffe (rispetto all'orizzontale)	α	90 °
Inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ	45 °
Valore minimo di inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ_{min}	21,80 °

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}	512,61 mm ²
	σ_{cp}/f_{cd}	0
Coefficiente di interazione	α_{cw}	1
Resistenza a taglio per rottura delle armature	V_{rds}	732,95 kN
Resistenza a taglio per rottura del puntone in calcestruzzo	V_{rcd}	3179,41 kN
Resistenza al taglio	V_{rd}	732,95 kN
Verifica		0,93 Verifica soddisfatta

12.1.1.3 Verifiche allo stato limite di esercizio

SEZIONE RETTANGOLARE - VERIFICHE IN 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									
<i>Fessurazione</i>									
Condz. Ambientali:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive							
	Ordinarie								
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili							
	Poco sensibile								
<i>Tensioni in esercizio</i>									
	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)									
<i>Fessurazione</i>									
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>frame/nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>w_d</i>	<i>w_{lim}</i>	<i>M0 - Mf</i>		
			[kN]	[kNm]	[mm]	[mm]	[kNm]		
Caratteristica	CAR28	3	0,0	528,6	0,113	0,300	461,94	-	
<i>Tensioni in esercizio</i>									
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{s,max}$	$\sigma_{s,min}$		
			[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
Quasi permanente	QP2	2	0,0	415,9	-3,08	87,92	-34,59	Sezione parzializzata	
Caratteristica	CAR27	2	0,0	604,1	-4,48	127,70	-50,24	Sezione parzializzata	

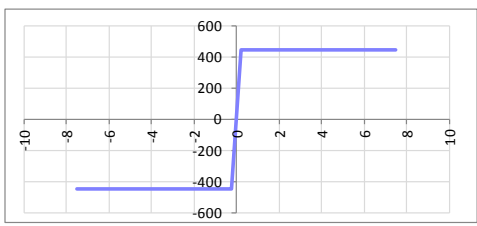
12.1.2 Soletta inferiore – sezione di mezzeria

SEZIONE RETTANGOLARE				
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	1,98			
n, lungo termine =	11,41 = 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=	900 mm			
Armature:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y_i mm	As mm²
1	5	24	72	2261,9467
2	5	24	120	2261,9467
3	10	24	828	4523,8934
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	20	50	1570,7963
inferiore	5	20	850	1570,7963
				

12.1.2.2 Verifiche allo stato limite di esercizio

SEZIONE RETTANGOLARE - VERIFICHE IN 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									
<i>Fessurazione</i>									
Condz. Ambientali:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive							
	Ordinarie								
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili							
	Poco sensibile								
<i>Tensioni in esercizio</i>									
	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)									
<i>Fessurazione</i>									
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>frame/nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>w_d</i>	<i>w_{lim}</i>	<i>M0 - Mf</i>		
			[kN]	[kNm]	[mm]	[mm]	[kNm]		
Caratteristica	CAR14	8	0,0	-359,2	Msd<Mf	0,300	-431,84	-	
<i>Tensioni in esercizio</i>									
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{s,max}$	$\sigma_{s,min}$		
			[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
Quasi permanente	QP3	8	0,0	-224,5	-1,87	70,98	-19,48	Sezione parzializzata	
Caratteristica	CAR14	8	0,0	-359,3	-3,00	113,61	-31,19	Sezione parzializzata	

12.1.3 Piedritto – sezione di incastro inferiore

SEZIONE RETTANGOLARE				
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 comportamento	EL-PL			
$k = (f_y/f_{yk})_k$	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	1,99			
n, lungo termine =	11,47 = 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=	800 mm			
Armature:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
1	10	24	72	4523,8934
2	5	24	680	2261,9467
3	10	24	728	4523,8934
4				0
5				0
6				0
7				0
8				0
9				0
10				0
Armatura di ripartizione:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
superiore	5	20	50	1570,7963
inferiore	5	20	750	1570,7963

12.1.3.2 Verifiche allo stato limite ultimo per taglio

CALCESTRUZZO		
Classe 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	800 mm			
Barre tese		numero barre	diametro barre [mm]	copriferro in asse barra [mm]	Area barre [mm ²]
strato1		10	24	72	4524
strato2		5	24	120	2262
strato3		0	0	0	0
strato4		0	0	0	0
strato5		0	0	0	0
Area barre tese	A_s	6786 mm ²			
Posizione della barra equivalente	c^*	88 mm			

SOLLECITAZIONI		
Load Case		SLV10
Frame		21
Azione assiale (+ di compressione)	N_{Ed}	141,74 kN
Taglio	V_{Ed}	816,89 kN

VERIFICA RESISTENZA SEZIONE SENZA ARMATURA A TAGLIO		
Altezza utile della sezione	d	712 mm
Coefficiente	k	1,53
Rapporto di armatura longitudinale	ρ_l	0,95%
Tensione assiale media	σ_{cp}	0,18 N/mm ²
	$0.2 \times f_{cd}$	3,48 N/mm ²
	v_{min}	0,37 N/mm ²
Resistenza al taglio minima	$V_{rd,min}$	280,27 kN
Resistenza al taglio senza armatura	V_{rd}	421,78 kN
Verifica		1,94 E' necessario prevedere armatura a taglio

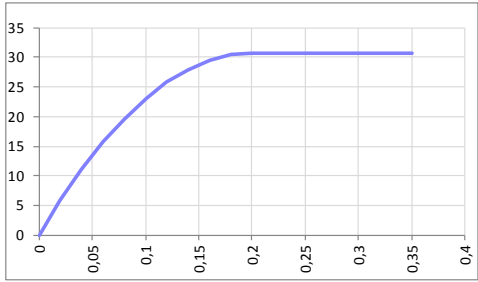
ARMATURA A TAGLIO		
Diametro staffe	ϕ	14 mm
Numero braccia	n	5
Passo staffe	s	200 mm
Inclinazione staffe (rispetto all'orizzontale)	α	90 °
Inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ	45 °
Valore minimo di inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ_{min}	24,45 °

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}	769,69 mm ²
	σ_{cp}/f_{cd}	0,010181106
Coefficiente di interazione	α_{cw}	1,010181106
Resistenza a taglio per rottura delle armature	V_{rds}	964,99 kN
Resistenza a taglio per rottura del puntone in calcestruzzo	V_{rcd}	2816,24 kN
Resistenza al taglio	V_{rd}	964,99 kN
Verifica		0,85 Verifica soddisfatta

12.1.3.3 Verifiche allo stato limite di esercizio

SEZIONE RETTANGOLARE - VERIFICHE IN 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									
<i>Fessurazione</i>									
Condz. Ambientali:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive							
	Ordinarie								
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili							
	Poco sensibile								
<i>Tensioni in esercizio</i>									
	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)									
<i>Fessurazione</i>									
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>frame/nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>w_d</i>	<i>w_{lim}</i>	<i>M0 - Mf</i>		
			[kN]	[kNm]	[mm]	[mm]	[kNm]		
Caratteristica	CAR27	21	406,5	516,7	0,094	0,300	440,23	-	
<i>Tensioni in esercizio</i>									
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{s,max}$	$\sigma_{s,min}$		
			[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
Quasi permanente	QP2	19	358,4	412,7	-4,00	75,99	-46,59	Sezione parzializzata	
Caratteristica	CAR27	19	411,0	598,3	-5,71	117,13	-65,64	Sezione parzializzata	

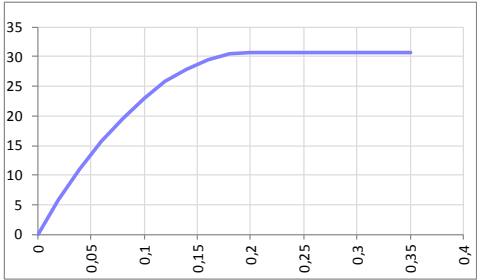
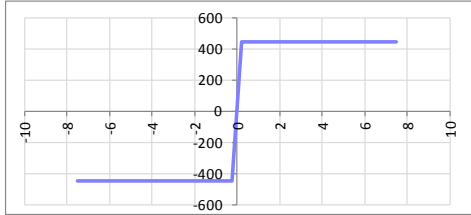
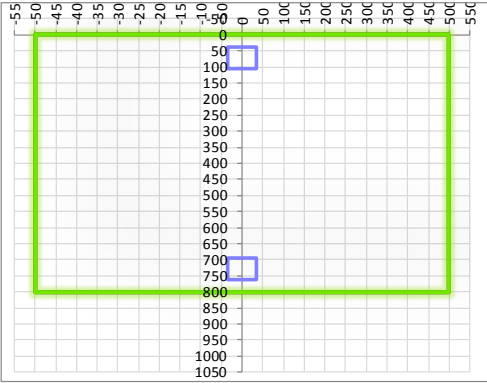
12.1.4 Piedritto – sezione di mezzeria

SEZIONE RETTANGOLARE				
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			
$k = (f_t/f_{yk})_k$	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	1,99			
n, lungo termine =	11,47 = 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=	800 mm			
Armature:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
1	10	24	72	4523,8934
2	10	24	728	4523,8934
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	A _s mm ²
superiore	5	20	50	1570,7963
inferiore	5	20	750	1570,7963

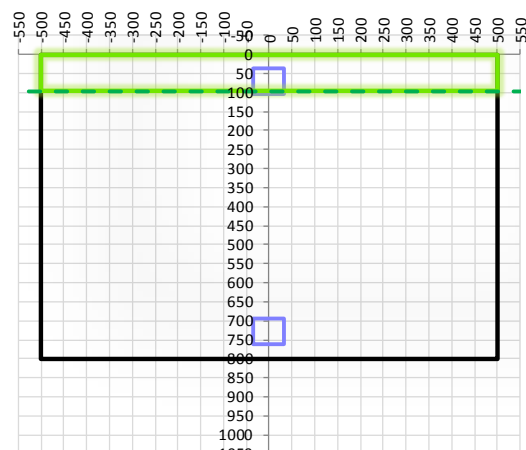
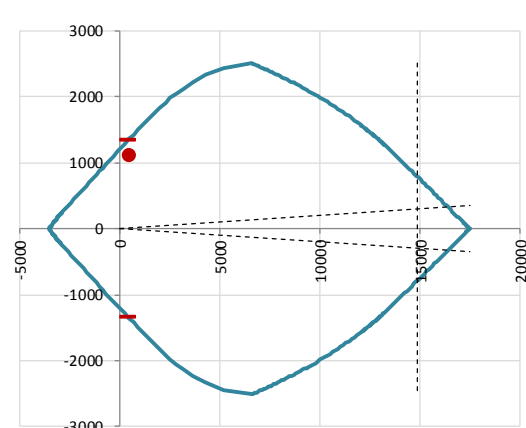
12.1.4.2 Verifiche allo stato limite di esercizio

SEZIONE RETTANGOLARE - VERIFICHE IN 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									
<i>Fessurazione</i>									
Condiz. Ambientali:		1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive						
		Ordinarie							
Armature:		2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili						
		Poco sensibile							
<i>Tensioni in esercizio</i>									
		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)									
<i>Fessurazione</i>									
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>frame/nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>w_d</i>	<i>w_{lim}</i>	<i>M0 - Mf</i>		
			[kN]	[kNm]	[mm]	[mm]	[kNm]		
Caratteristica	CAR40	25	247,5	292,9	Msd<Mf	0,300	388,87	-	
<i>Tensioni in esercizio</i>									
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{s,max}$	$\sigma_{s,min}$		
			[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
Quasi permanente	QP4	25	265,0	226,3	-2,42	50,62	-27,74	Sezione parzializzata	
Caratteristica	CAR40	25	247,5	292,9	-3,08	74,37	-34,24	Sezione parzializzata	

12.1.5 Piedritto – sezione di incastro superiore

SEZIONE RETTANGOLARE				
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 comportamer	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	1,99			
n, lungo termine =	11,47 = 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=	800 mm			
Armature:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
1	10	24	72	4523,8934
2	10	24	728	4523,8934
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	A _s mm ²
superiore	5	20	50	1570,7963
inferiore	5	20	750	1570,7963
				

12.1.5.1 Verifiche allo stato limite ultimo per flessione

VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO																																																																					
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																																																																			
ϵ_{yd}		0,196 %																																																																			
STATO LIMITE ULTIMO - PRESSOFLESSIONE																																																																					
Combinazione	frame/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]	NRd+ [kN]	NRd- [kN]	MRd+ [kNm]	MRd- [kNm]	MSd/MRd																																																													
SLV6	30	423,3	1120,9	17462,30	-3540,44	1343,32	-1343,32	83%																																																													
<u>Sezione:</u>																																																																					
				Fibre compresse Superiori $\sigma_{c,max} = 17,40$ N/mm ² $\sigma_{s,min} = -391,30$ N/mm ² $\epsilon_{c,max} = 0,35$ % $\epsilon_{s,min} = -2,27$ % $d = 728,00$ mm $x = 97,29$ mm $x/d = 0,13$																																																																	
<u>Dominio M-N</u>																																																																					
				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #90EE90;"> <th style="text-align: center;">Combinazione</th> <th style="text-align: center;">fram/nodo</th> <th style="text-align: center;">NSd [kN]</th> <th style="text-align: center;">MSd [kNm]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr style="background-color: #90EE90;"> <td style="text-align: center;">SLV6</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">423,3</td> <td style="text-align: center;">1120,9</td> </tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> </tbody> </table>						Combinazione	fram/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]	SLV6	30	423,3	1120,9																																																				
Combinazione	fram/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]																																																																		
SLV6	30	423,3	1120,9																																																																		

12.1.5.2 Verifiche allo stato limite di esercizio

SEZIONE RETTANGOLARE - VERIFICHE IN 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									
<i>Fessurazione</i>									
Condz. Ambientali:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive							
	Ordinarie								
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili							
	Poco sensibile								
<i>Tensioni in esercizio</i>									
	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)									
<i>Fessurazione</i>									
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>frame/nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>w_d</i>	<i>w_{lim}</i>	<i>M0 - Mf</i>		
			[kN]	[kNm]	[mm]	[mm]	[kNm]		
Caratteristica	CAR19	29	277,4	310,6	Msd<Mf	0,300	393,45	-	
<i>Tensioni in esercizio</i>									
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{s,max}$	$\sigma_{s,min}$		
			[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
Quasi permanente	QP3	30	186,0	233,5	-2,45	60,35	-27,08	Sezione parzializzata	
Caratteristica	CAR19	30	273,4	349,6	-3,66	90,87	-40,46	Sezione parzializzata	

Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001

Rev.
A

Foglio
74 di 144

12.1.6 Soletta superiore – sezione di incastro

SEZIONE RETTANGOLARE				
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 comportamento	EL-PL			
$k = (f_y/f_{yk})_k$	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	1,99			
n, lungo termine =	11,47 = 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=	800 mm			
Armature:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
1	5	24	72	2261,9467
2	5	24	120	2261,9467
3	5	24	728	2261,9467
4				0
5				0
6				0
7				0
8				0
9				0
10				0
Armatura di ripartizione:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
superiore	5	20	60	1570,7963
inferiore	5	20	740	1570,7963

12.1.6.2 Verifiche allo stato limite ultimo per taglio

CALCESTRUZZO		
Classe 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	800 mm			
Barre tese		numero barre	diametro barre [mm]	copriferro in asse barra [mm]	Area barre [mm ²]
strato1		10	24	80	4524
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	4524 mm ²			
Posizione della barra equivalente	c^*	80 mm			

SOLLECITAZIONI		
Load Case		SLV2
Frame		38
Azione assiale (+ di compressione)	N_{Ed}	0 kN
Taglio	V_{Ed}	397,33 kN

VERIFICA RESISTENZA SEZIONE SENZA ARMATURA A TAGLIO		
Altezza utile della sezione	d	720 mm
Coefficiente	k	1,53
Rapporto di armatura longitudinale	ρ_l	0,63%
Tensione assiale media	σ_{cp}	0,00 N/mm ²
	$0.2 \times f_{cd}$	3,48 N/mm ²
	v_{min}	0,37 N/mm ²
Resistenza al taglio minima	$V_{rd,min}$	263,52 kN
Resistenza al taglio senza armatura	V_{rd}	353,88 kN
Verifica		1,12 <i>E' necessario prevedere armatura a taglio</i>

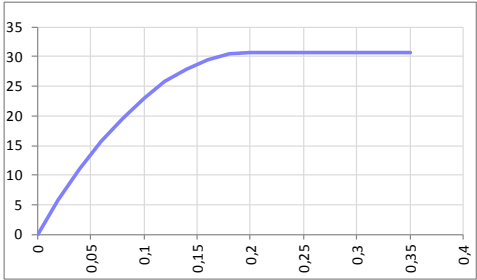
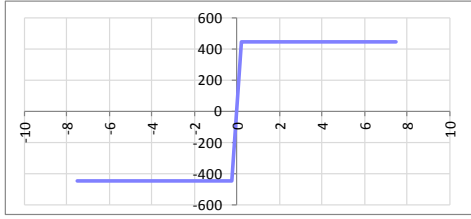
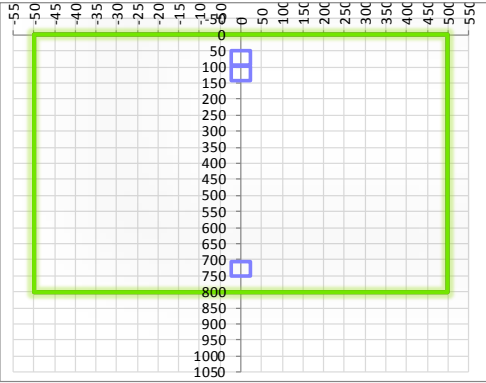
ARMATURA A TAGLIO		
Diametro staffe	ϕ	12 mm
Numero braccia	n	3,33
Passo staffe	s	200 mm
Inclinazione staffe (rispetto all'orizzontale)	α	90 °
Inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ	45 °
Valore minimo di inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ_{min}	21,80 °

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}	376,61 mm ²
	σ_{cp}/f_{cd}	0
Coefficiente di interazione	α_{cw}	1
Resistenza a taglio per rottura delle armature	V_{rds}	477,48 kN
Resistenza a taglio per rottura del puntone in calcestruzzo	V_{rcd}	2819,18 kN
Resistenza al taglio	V_{rd}	477,48 kN
Verifica		0,83 <i>Verifica soddisfatta</i>

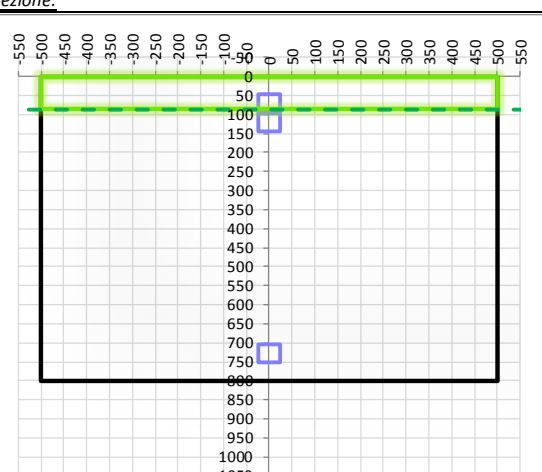
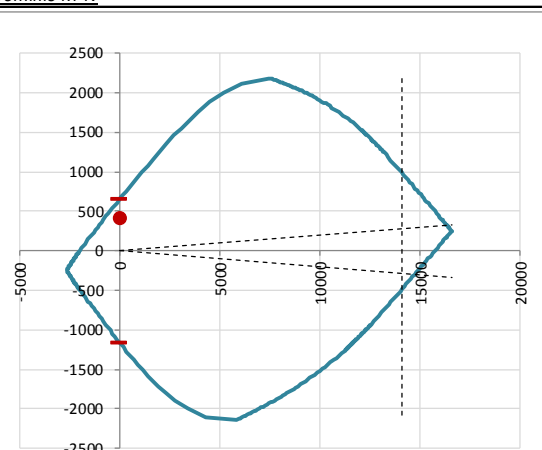
12.1.6.3 Verifiche allo stato limite di esercizio

SEZIONE RETTANGOLARE - VERIFICHE IN 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									
<i>Fessurazione</i>									
Condiz. Ambientali:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive							
	Ordinarie								
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili							
	Poco sensibile								
<i>Tensioni in esercizio</i>									
	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)									
<i>Fessurazione</i>									
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>frame/nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>w_d</i>	<i>w_{lim}</i>	<i>M0 - Mf</i>		
			[kN]	[kNm]	[mm]	[mm]	[kNm]		
Caratteristica	CAR19	38	0,0	-288,0	Msd<Mf	0,300	-313,68	-	
<i>Tensioni in esercizio</i>									
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{s,max}$	$\sigma_{s,min}$		
			[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
Quasi permanente	QP3	34	0,0	-233,6	-2,67	86,26	-27,61	Sezione parzializzata	
Caratteristica	CAR19	39	0,0	-337,5	-3,86	124,63	-39,89	Sezione parzializzata	

12.1.7 Soletta superiore – sezione di mezzeria

SEZIONE RETTANGOLARE				
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 comportamento	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	1,99			
n, lungo termine =	11,47 = 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=	800 mm			
Armature:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
1	5	24	72	2261,9467
2	5	24	120	2261,9467
3	5	24	728	2261,9467
4				0
5				0
6				0
7				0
8				0
9				0
10				0
				
Armatura di ripartizione:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
superiore	5	20	50	1570,7963
inferiore	5	20	750	1570,7963

12.1.7.1 Verifiche allo stato limite ultimo per flessione

VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO																																																								
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																																																							
ϵ_{yd}	0,196 %																																																							
STATO LIMITE ULTIMO - PRESSOFLESSIONE																																																								
Combinazione	frame/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]	NRd+ [kN]	NRd- [kN]	MRd+ [kNm]	MRd- [kNm]	MSd/MRd																																																
SLV9	34	0,0	414,3	16577,20	-2655,33	653,64	-1162,05	63%																																																
<u>Sezione:</u>																																																								
	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Fibre compresse</td> <td style="padding: 5px;">Superiori</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$\sigma_{c,max}$ =</td> <td style="padding: 5px;">17,40 N/mm²</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$\sigma_{s,min}$ =</td> <td style="padding: 5px;">-391,30 N/mm²</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$\epsilon_{c,max}$ =</td> <td style="padding: 5px;">0,35 %</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$\epsilon_{s,min}$ =</td> <td style="padding: 5px;">-2,59 %</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">d =</td> <td style="padding: 5px;">728,00 mm</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">x =</td> <td style="padding: 5px;">86,76 mm</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">x/d =</td> <td style="padding: 5px;">0,12</td> </tr> </table>				Fibre compresse	Superiori	$\sigma_{c,max}$ =	17,40 N/mm ²	$\sigma_{s,min}$ =	-391,30 N/mm ²	$\epsilon_{c,max}$ =	0,35 %	$\epsilon_{s,min}$ =	-2,59 %	d =	728,00 mm	x =	86,76 mm	x/d =	0,12																																				
Fibre compresse	Superiori																																																							
$\sigma_{c,max}$ =	17,40 N/mm ²																																																							
$\sigma_{s,min}$ =	-391,30 N/mm ²																																																							
$\epsilon_{c,max}$ =	0,35 %																																																							
$\epsilon_{s,min}$ =	-2,59 %																																																							
d =	728,00 mm																																																							
x =	86,76 mm																																																							
x/d =	0,12																																																							
<u>Dominio M-N</u>																																																								
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; background-color: #D9F0D9;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; padding: 5px;">Combinazione</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">fram/nodo</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">NSd [kN]</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">MSd [kNm]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; padding: 5px;">SLV9</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">34</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">0,0</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">414,3</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> <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]	SLV9	34	0,0	414,3																																												
Combinazione	fram/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]																																																					
SLV9	34	0,0	414,3																																																					

12.1.7.2 Verifiche allo stato limite di esercizio

SEZIONE RETTANGOLARE - VERIFICHE IN 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									
<i>Fessurazione</i>									
Condiz. Ambientali:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive							
	Ordinarie								
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili							
	Poco sensibile								
<i>Tensioni in esercizio</i>									
	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)									
<i>Fessurazione</i>									
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>frame/nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>w_d</i>	<i>w_{lim}</i>	<i>M0 - Mf</i>		
			[kN]	[kNm]	[mm]	[mm]	[kNm]		
Caratteristica	CAR26	36	0,0	158,3	Msd<Mf	0,300	313,68	-	
<i>Tensioni in esercizio</i>									
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{s,max}$	$\sigma_{s,min}$		
			[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
Quasi permanente	QP2	36	0,0	63,7	-0,85	42,43	-7,28	Sezione parzializzata	
Caratteristica	CAR26	36	0,0	158,3	-2,11	105,43	-18,08	Sezione parzializzata	

Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

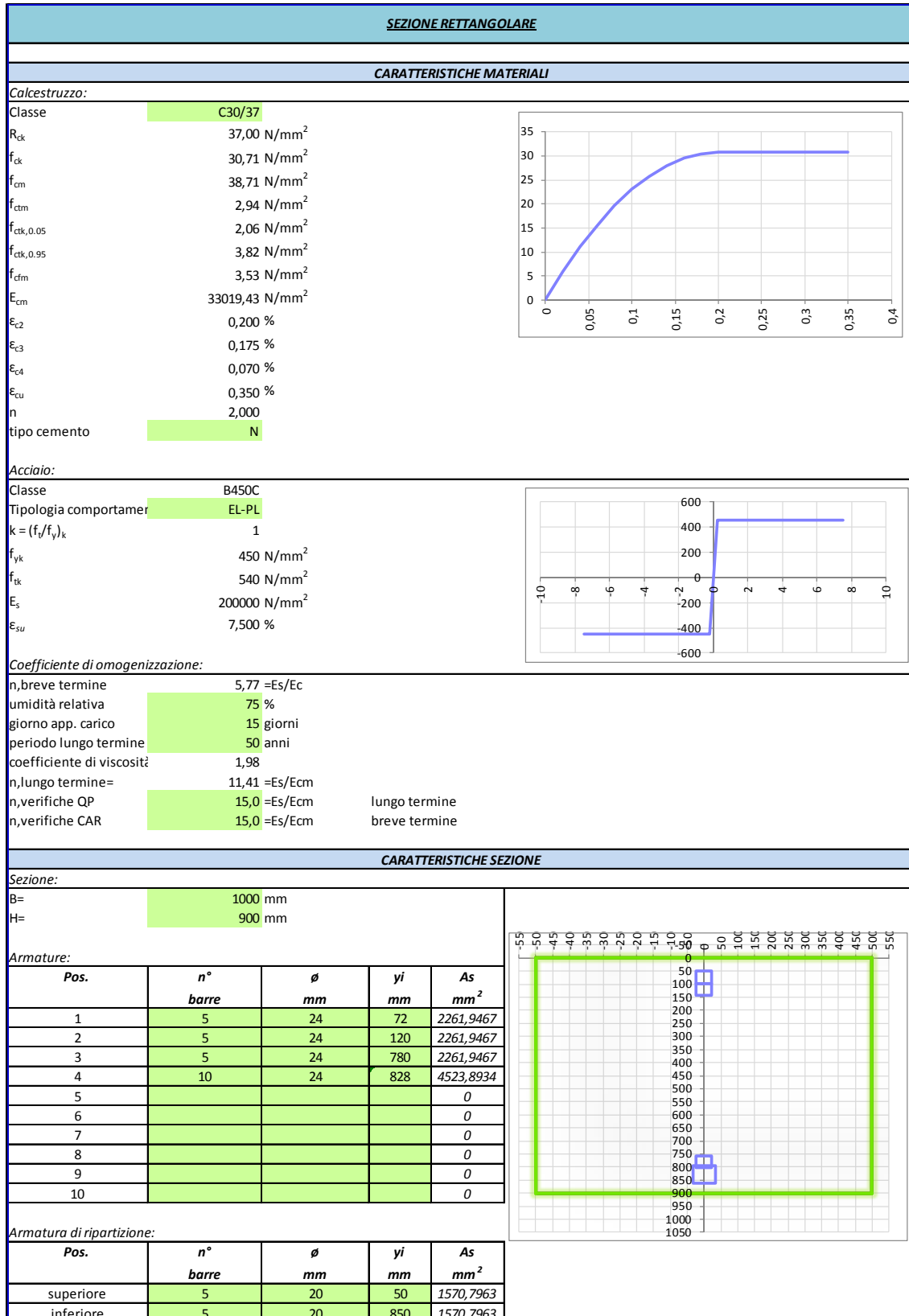
Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001

Rev.
A

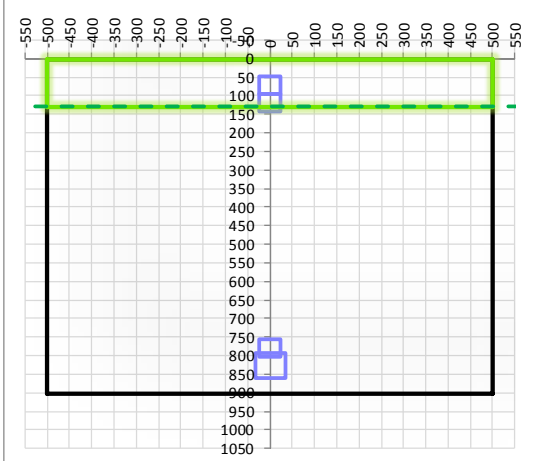
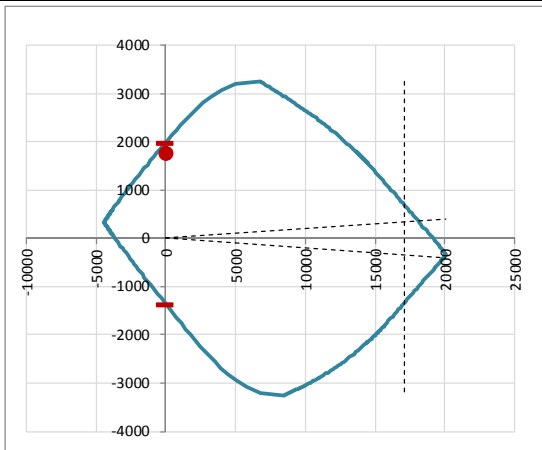
Foglio
81 di 144

12.2 Sezione tipo 2

12.2.1 Soletta inferiore – sezione di incastro



12.2.1.1 Verifiche allo stato limite ultimo per flessione

VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO																																																									
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																																																	
SLV10	2	0,0	1776,0	20087,65	-4425,55	1992,06	-1357,76	89%																																																	
<u>Sezione:</u>																																																									
				<u>Fibre compresse</u>		<u>Superiori</u>																																																			
				$\sigma_{c,max}$	17,40	N/mm ²																																																			
				$\sigma_{s,min}$	-391,30	N/mm ²																																																			
				$\epsilon_{c,max}$	0,35	%																																																			
				$\epsilon_{s,min}$	-1,88	%																																																			
				d	828,00	mm																																																			
				x	129,87	mm																																																			
				x/d	0,16																																																				
<u>Dominio M-N</u>				<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Combinazione</th> <th>fram/nodo</th> <th>NSd [kN]</th> <th>MSd [kNm]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">SLV10</td> <td style="background-color: #90EE90;">2</td> <td style="background-color: #90EE90;">0,0</td> <td style="background-color: #90EE90;">1776,0</td> </tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td><td style="background-color: #90EE90;"> </td></tr> </tbody> </table>						Combinazione	fram/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]	SLV10	2	0,0	1776,0																																								
Combinazione	fram/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]																																																						
SLV10	2	0,0	1776,0																																																						
																																																									

12.2.1.2 Verifiche allo stato limite ultimo per taglio

CALCESTRUZZO		
Calsse calcestruzzo		C30/37
Resistenza cubica caratteristica	R_{ck}	37,00 Mpa
Resistenza cilindrica caratteristica	f_{ck}	30,71 Mpa

ACCIAIO	
Tipologia	B450C
Reisitenza caratteristica allo snervamento	450 Mpa

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

GEOMETRIA SEZIONE C.A.					
Base	b	1000 mm			
Altezza	h	900 mm			
Barre tese		numero barre	diametro barre [mm]	copriferro in asse barra [mm]	Area barre [mm ²]
strato1		10	24	72	4524
strato2		5	24	120	2262
strato3		0	0	0	0
strato4		0	0	0	0
strato5		0	0	0	0
Area barre tese	A_s	6786 mm ²			
Posizione della barra equivalente	c^*	88 mm			

SOLLECITAZIONI		
Load Case		SLV9
Frame		7
Azione assiale (+ di compressione)	N_{Ed}	0 kN
Taglio	V_{Ed}	650,76 kN

VERIFICA RESISTENZA SEZIONE SENZA ARMATURA A TAGLIO		
Altezza utile della sezione	d	812 mm
Coefficiente	k	1,50
Rapporto di armatura longitudinale	ρ_l	0,84%
Tensione assiale media	σ_{cp}	0,00 N/mm ²
	$0.2 \times f_{cd}$	3,48 N/mm ²
	v_{min}	0,36 N/mm ²
Resistenza al taglio minima	$V_{rd,min}$	288,26 kN
Resistenza al taglio senza armatura	V_{rd}	430,06 kN
Verifica		1,51 <i>E' necessario prevedere armatura a taglio</i>

ARMATURA A TAGLIO		
Diametro staffe	ϕ	14 mm
Numero braccia	n	3,33
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}	512,61 mm ²
	σ_{cp}/f_{cd}	0
Coefficiente di interazione	α_{cw}	1
Resistenza a taglio per rottura delle armature	V_{rds}	732,95 kN
Resistenza a taglio per rottura del puntone in calcestruzzo	V_{rcd}	3179,41 kN
Resistenza al taglio	V_{rd}	732,95 kN
Verifica		0,89 <i>Verifica soddisfatta</i>

12.2.1.3 Verifiche allo stato limite di esercizio

SEZIONE RETTANGOLARE - VERIFICHE IN 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								
<i>Fessurazione</i>								
Condz. Ambientali:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive						
	Ordinarie							
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili						
	Poco sensibile							
<i>Tensioni in esercizio</i>								
	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)								
<i>Fessurazione</i>								
Combinazione	n. combinazione	frame/nodo	N	M	w_d	w_{lim}	M0 - Mf	
			[kN]	[kNm]	[mm]	[mm]	[kNm]	
Caratteristica	CAR28	3	0,0	521,6	0,111	0,300	461,94	-
<i>Tensioni in esercizio</i>								
Combinazione	n. combinazione	nodo	N	M	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{s,max}$	$\sigma_{s,min}$	
			[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	
Quasi permanente	QP2	2	0,0	397,5	-2,95	84,03	-33,06	Sezione parzializzata
Caratteristica	CAR27	2	0,0	589,5	-4,37	124,61	-49,02	Sezione parzializzata

Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001

Rev.
A

Foglio
85 di 144

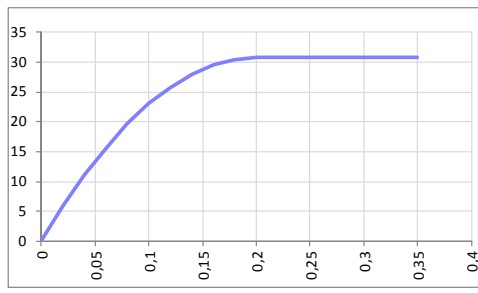
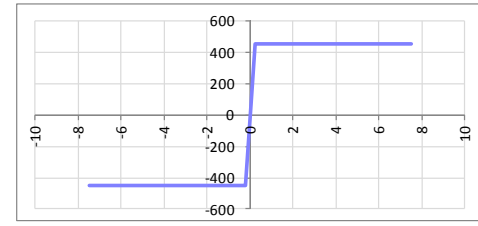
12.2.2 Soletta inferiore – sezione di mezzeria

SEZIONE RETTANGOLARE				
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			
$k = (f_u/f_y)_k$	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	5,77 = E_s/E_c			
umidità relativa	75 %			
giorno app. carico	15 giorni			
periodo lungo termine	50 anni			
coefficiente di viscosità	1,98			
n, lungo termine =	11,41 = 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=	900 mm			
Armature:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
1	5	24	72	2261,9467
2	5	24	120	2261,9467
3	10	24	828	4523,8934
4				0
5				0
6				0
7				0
8				0
9				0
10				0
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
superiore	5	20	50	1570,7963
inferiore	5	20	850	1570,7963
				

12.2.2.2 Verifiche allo stato limite di esercizio

SEZIONE RETTANGOLARE - VERIFICHE IN 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 raccomandata)							
k ₄ =	0,425	(valore raccomandata)							
CRITERI DI VERIFICA									
<i>Fessurazione</i>									
Condiz. Ambientali:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive							
	Ordinarie								
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili							
	Poco sensibile								
<i>Tensioni in esercizio</i>									
	Limite	Limite	$\sigma_{c,max}$	$\sigma_{s,max}$					
	σ_c / f_{ck}	σ_s / f_{yk}	[N/mm ²]	[N/mm ²]					
Combinazione	0,40	0,75	12,28	337,50					
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)									
<i>Fessurazione</i>									
Combinazione	n. combinazione	frame/nodo	N [kN]	M [kNm]	w _d [mm]	w _{lim} [mm]	M0 - Mf [kNm]		
Caratteristica	CAR14	8	0,0	-315,1	Msd<Mf	0,300	-431,84		
<i>Tensioni in esercizio</i>									
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	8	0,0	-179,9	-1,50	56,88	-15,61	Sezione parzializzata	
Caratteristica	CAR14	8	0,0	-315,1	-2,63	99,63	-27,35	Sezione parzializzata	

12.2.3 Piedritto – sezione di incastro inferiore

SEZIONE RETTANGOLARE				
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			
$k = (f_u/f_y)_k$	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	5,77 = E_s/E_c			
umidità relativa	75 %			
giorno app. carico	15 giorni			
periodo lungo termine	50 anni			
coefficiente di viscosità	1,99			
n ,lungo termine=	11,47 = 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=	800 mm			
Armature:				
Pos.	n° barre	ϕ mm	y_i mm	A_s mm ²
1	10	24	72	4523,8934
2	5	24	680	2261,9467
3	10	24	728	4523,8934
4				0
5				0
6				0
7				0
8				0
9				0
10				0
Armatura di ripartizione:				
Pos.	n° barre	ϕ mm	y_i mm	A_s mm ²
superiore	5	20	50	1570,7963
inferiore	5	20	750	1570,7963

12.2.3.2 Verifiche allo stato limite ultimo per taglio

CALCESTRUZZO		
Calsse 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		800 mm	
Barre tese		numero barre	diametro barre [mm]	copriferro in asse barra [mm]
strato1		10	24	72
strato2		5	24	120
strato3		0	0	0
strato4		0	0	0
strato5		0	0	0
Area barre tese	A_s		6786 mm ²	
Posizione della barra equivalente	c^*		88 mm	

SOLLECITAZIONI		
Load Case		SLV10
Frame		21
Azione assiale (+ di compressione)	N_{Ed}	115,48 kN
Taglio	V_{Ed}	784,09 kN

VERIFICA RESISTENZA SEZIONE SENZA ARMATURA A TAGLIO		
Altezza utile della sezione	d	712 mm
Coefficiente	k	1,53
Rapporto di armatura longitudinale	ρ_l	0,95%
Tensione assiale media	σ_{cp}	0,14 N/mm ²
	$0.2 \times f_{cd}$	3,48 N/mm ²
	v_{min}	0,37 N/mm ²
Resistenza al taglio minima	$V_{rd,min}$	276,77 kN
Resistenza al taglio senza armatura	V_{rd}	418,28 kN
Verifica		1,87 <i>E' necessario prevedere armatura a taglio</i>

ARMATURA A TAGLIO		
Diametro staffe	ϕ	14 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}	24,48 °

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}	769,69 mm ²
	σ_{cp}/f_{cd}	0,008294865
Coefficiente di interazione	α_{cw}	1,008294865
Resistenza a taglio per rottura delle armature	V_{rds}	964,99 kN
Resistenza a taglio per rottura del puntone in calcestruzzo	V_{rcd}	2810,98 kN
Resistenza al taglio	V_{rd}	964,99 kN
Verifica		0,81 <i>Verifica soddisfatta</i>

12.2.3.3 Verifiche allo stato limite di esercizio

SEZIONE RETTANGOLARE - VERIFICHE IN 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 raccomandata)							
k ₄ =	0,425	(valore raccomandata)							
CRITERI DI VERIFICA									
Fessurazione									
Condiz. Ambientali:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive							
	Ordinarie								
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili							
	Poco sensibile								
Tensioni in esercizio									
	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)									
Fessurazione									
Combinazione	n. combinazione	frame/nodo	N	M	w_d	w_{lim}	M0 - Mf		
			[kN]	[kNm]	[mm]	[mm]	[kNm]		
Caratteristica	CAR27	21	366,9	500,0	0,092	0,300	433,97	-	
Tensioni in esercizio									
Combinazione	n. combinazione	nodo	N	M	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{s,max}$	$\sigma_{s,min}$		
			[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
Quasi permanente	QP2	19	319,4	389,3	-3,76	72,88	-43,63	Sezione parzializzata	
Caratteristica	CAR27	19	371,4	578,8	-5,50	115,03	-63,03	Sezione parzializzata	

Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001

Rev.
A

Foglio
92 di 144

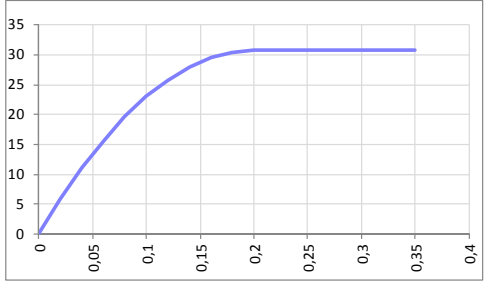
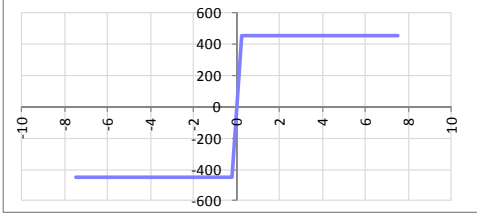
12.2.4 Piedritto – sezione di mezzeria

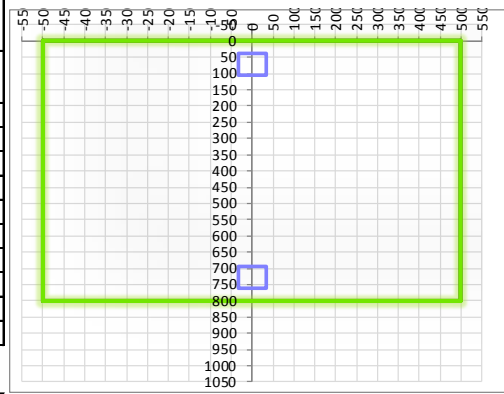
SEZIONE RETTANGOLARE				
CARATTERISTICHE MATERIALI				
Calcestruzzo:				
Classe	C30/37			
R_{ck}	37,00 N/mm ²			
f_{ck}	30,71 N/mm ²			
f_{cm}	38,71 N/mm ²			
f_{ctm}	2,94 N/mm ²			
$f_{ctk,0.05}$	2,06 N/mm ²			
$f_{ctk,0.95}$	3,82 N/mm ²			
f_{ctm}	3,53 N/mm ²			
E_{cm}	33019,43 N/mm ²			
ϵ_{c2}	0,200 %			
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			
$k = (f_y/f_{yk})_k$	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	1,99			
n, lungo termine =	11,47 = 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=	800 mm			
Armature:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
1	10	24	72	4523,8934
2	10	24	728	4523,8934
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	A _s mm ²
superiore	5	20	50	1570,7963
inferiore	5	20	750	1570,7963

12.2.4.2 Verifiche allo stato limite di esercizio

SEZIONE RETTANGOLARE - VERIFICHE IN 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								
<i>Fessurazione</i>								
Condiz. Ambientali:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive						
	Ordinarie							
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili						
	Poco sensibile							
<i>Tensioni in esercizio</i>								
	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)								
<i>Fessurazione</i>								
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>frame/nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>w_d</i>	<i>w_{lim}</i>	<i>M0 - Mf</i>	
			[kN]	[kNm]	[mm]	[mm]	[kNm]	
Caratteristica	CAR40	25	205,0	295,2	Msd<Mf	0,300	382,36	-
<i>Tensioni in esercizio</i>								
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{s,max}$	$\sigma_{s,min}$	
			[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	
Quasi permanente	QP3	23	248,0	232,4	-2,47	54,18	-28,08	Sezione parzializzata
Caratteristica	CAR40	25	205,0	295,2	-3,07	79,19	-33,66	Sezione parzializzata

12.2.5 Piedritto – sezione di incastro superiore

SEZIONE RETTANGOLARE				
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 _{dfm}	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 comportament	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	1,99			
n, lungo termine=	11,47 = 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=	800 mm			
Armature:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y_i mm	A_s mm²
1	10	24	72	4523,8934
2	10	24	728	4523,8934
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	A_s mm²
superiore	5	20	50	1570,7963
inferiore	5	20	750	1570,7963



12.2.5.2 Verifiche allo stato limite di esercizio

SEZIONE RETTANGOLARE - VERIFICHE IN 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	$\sigma_{c,max}$	$\sigma_{s,max}$				
	σ_c / f_{ck}	σ_s / f_{yk}	[N/mm ²]	[N/mm ²]				
Combinazione	0,40	0,75	12,28	337,50				
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]	M0 - Mf [kNm]	
Caratteristica	CAR19	29	236,0	286,9	Msd<Mf	0,300	387,10	-
<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	30	144,0	203,5	-2,12	54,33	-23,26	Sezione parzializzata
Caratteristica	CAR19	30	232,0	321,8	-3,35	85,52	-36,87	Sezione parzializzata

Doc. N.

Progetto
INOR

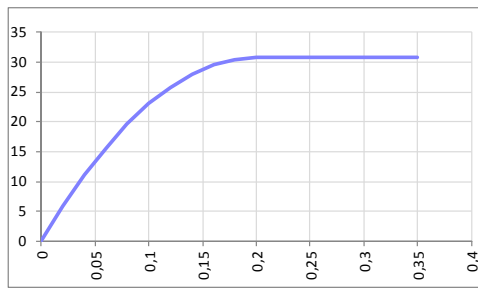
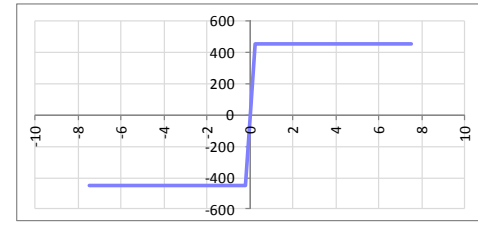
Lotto
11

Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001

Rev.
A

Foglio
98 di 144

12.2.6 Soletta superiore – sezione di incastro

SEZIONE RETTANGOLARE				
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			
$k = (f_u/f_y)_k$	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	5,77 = E_s/E_c			
umidità relativa	75 %			
giorno app. carico	15 giorni			
periodo lungo termine	50 anni			
coefficiente di viscosità	1,99			
n ,lungo termine=	11,47 = 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=	800 mm			
Armature:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
1	5	24	72	2261,9467
2	5	24	120	2261,9467
3	5	24	728	2261,9467
4				0
5				0
6				0
7				0
8				0
9				0
10				0
Armatura di ripartizione:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
superiore	5	20	50	1570,7963
inferiore	5	20	750	1570,7963



12.2.6.1 Verifiche allo stato limite ultimo per flessione

VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO																																																																																													
CRITERI DI VERIFICA																																																																																													
Coefficienti di sicurezza allo SLU																																																																																													
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																																																																																										
ϵ_{yd}			0,196 %																																																																																										
STATO LIMITE ULTIMO - PRESSOFLESSIONE																																																																																													
Combinazione	frame/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]	NRd+ [kN]	NRd- [kN]	MRd+ [kNm]	MRd- [kNm]	MSd/MRd																																																																																					
SLV6	39	0,0	-1038,9	16577,20	-2655,33	653,64	-1162,05	89%																																																																																					
Sezione:																																																																																													
				Fibre compresse $\sigma_{c,max}$ = 17,40 N/mm ² $\sigma_{s,min}$ = -391,30 N/mm ² $\epsilon_{c,max}$ = 0,35 % $\epsilon_{s,min}$ = -2,28 % d = 728,00 mm x = 96,84 mm x/d = 0,13		Inferiori N/mm ² N/mm ² % % mm mm mm																																																																																							
Dominio M-N																																																																																													
				<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #90EE90;">Combinazione</th> <th style="background-color: #90EE90;">fram/nodo</th> <th style="background-color: #90EE90;">NSd [kN]</th> <th style="background-color: #90EE90;">MSd [kNm]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">SLV6</td> <td style="background-color: #90EE90;">39</td> <td style="background-color: #90EE90;">0,0</td> <td style="background-color: #90EE90;">-1038,9</td> </tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td><td style="background-color: #90EE90;"></td></tr> </tbody> </table>						Combinazione	fram/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]	SLV6	39	0,0	-1038,9																																																																												
Combinazione	fram/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]																																																																																										
SLV6	39	0,0	-1038,9																																																																																										

12.2.6.2 Verifiche allo stato limite ultimo per taglio

CALCESTRUZZO		
Calsse calcestruzzo		C30/37
Resistenza cubica caratteristica	R_{ck}	37,00 Mpa
Resistenza cilindrica caratteristica	f_{ck}	30,71 Mpa

ACCIAIO	
Tipologia	B450C
Reisitenza caratteristica allo snervamento	450 Mpa

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

GEOMETRIA SEZIONE C.A.					
Base	b	1000 mm			
Altezza	h	800 mm			
Barre tese		numero barre	diametro barre [mm]	copriferro in asse barra [mm]	Area barre [mm ²]
strato1		10	24	80	4524
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	4524 mm ²			
Posizione della barra equivalente	c^*	80 mm			

SOLLECITAZIONI		
Load Case		SLV2
Frame		38
Azione assiale (+ di compressione)	N_{Ed}	0 kN
Taglio	V_{Ed}	343,85 kN

VERIFICA RESISTENZA SEZIONE SENZA ARMATURA A TAGLIO		
Altezza utile della sezione	d	720 mm
Coefficiente	k	1,53
Rapporto di armatura longitudinale	ρ_l	0,63%
Tensione assiale media	σ_{cp}	0,00 N/mm ²
	$0.2 \times f_{cd}$	3,48 N/mm ²
	v_{min}	0,37 N/mm ²
Resistenza al taglio minima	$V_{rd,min}$	263,52 kN
Resistenza al taglio senza armatura	V_{rd}	353,88 kN
Verifica		0,97 <i>Verifica soddisfatta</i>

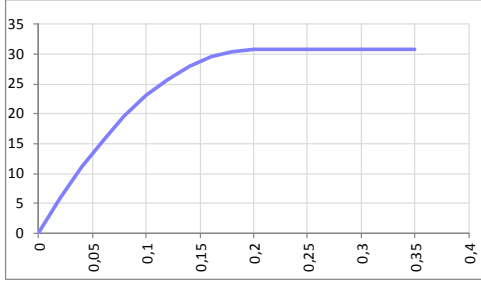
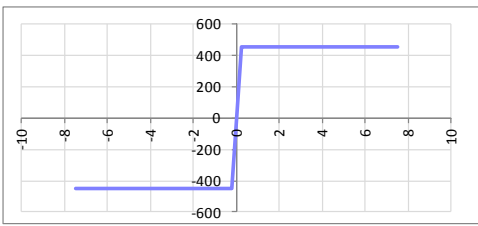
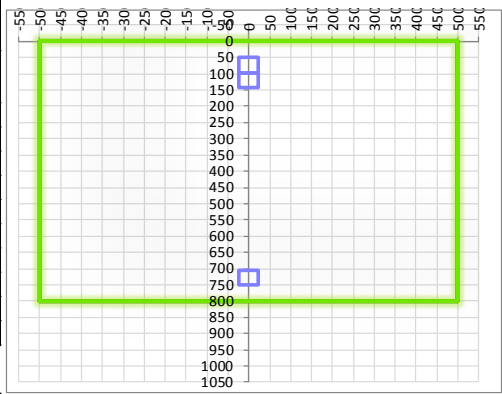
ARMATURA A TAGLIO		
Diametro staffe	ϕ	12 mm
Numero braccia	n	3,33
Passo staffe	s	200 mm
Inclinazione staffe (rispetto all'orizzontale)	α	90 °
Inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ	45 °
Valore minimo di inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ_{min}	21,80 °

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}	376,61 mm ²
	σ_{cp}/f_{cd}	0
Coefficiente di interazione	α_{cw}	1
Resistenza a taglio per rottura delle armature	V_{rds}	477,48 kN
Resistenza a taglio per rottura del puntone in calcestruzzo	V_{rd}	2819,18 kN
Resistenza al taglio	V_{rd}	477,48 kN
Verifica		0,72 <i>Verifica soddisfatta</i>

12.2.6.3 Verifiche allo stato limite di esercizio

SEZIONE RETTANGOLARE - VERIFICHE IN 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 raccomandata)						
k ₄ =	0,425	(valore raccomandata)						
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	$\sigma_{c,max}$	$\sigma_{s,max}$				
	σ_c / f_{ck}	σ_s / f_{yk}	[N/mm ²]	[N/mm ²]				
Combinazione	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]	M0 - Mf [kNm]	
Caratteristica	CAR19	38	0,0	-272,1	Msd<Mf	0,300	-313,68	-
<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	34	0,0	-208,1	-2,38	76,83	-24,59	Sezione parzializzata
Caratteristica	CAR19	39	0,0	-314,1	-3,60	115,97	-37,12	Sezione parzializzata

12.2.7 Soletta superiore – sezione di mezzeria

SEZIONE RETTANGOLARE																																																								
CARATTERISTICHE MATERIALI																																																								
Calcestruzzo:																																																								
Classe	C30/37																																																							
R _{ck}	37,00 N/mm ²																																																							
f _{dk}	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 comportament	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	1,99																																																							
n, lungo termine =	11,47 = 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=	800 mm																																																							
Armature:																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Pos.</th> <th>n° barre</th> <th>∅ mm</th> <th>y_i mm</th> <th>A_s mm²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td style="background-color: #d9ead3;">5</td><td style="background-color: #d9ead3;">24</td><td style="background-color: #d9ead3;">72</td><td style="background-color: #d9ead3;">2261,9467</td></tr> <tr><td>2</td><td style="background-color: #d9ead3;">5</td><td style="background-color: #d9ead3;">24</td><td style="background-color: #d9ead3;">120</td><td style="background-color: #d9ead3;">2261,9467</td></tr> <tr><td>3</td><td style="background-color: #d9ead3;">5</td><td style="background-color: #d9ead3;">24</td><td style="background-color: #d9ead3;">728</td><td style="background-color: #d9ead3;">2261,9467</td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td style="background-color: #d9ead3;">0</td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td style="background-color: #d9ead3;">0</td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td style="background-color: #d9ead3;">0</td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td><td style="background-color: #d9ead3;">0</td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td></td><td style="background-color: #d9ead3;">0</td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td><td></td><td style="background-color: #d9ead3;">0</td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td><td style="background-color: #d9ead3;">0</td></tr> </tbody> </table>	Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²	1	5	24	72	2261,9467	2	5	24	120	2261,9467	3	5	24	728	2261,9467	4				0	5				0	6				0	7				0	8				0	9				0	10				0	
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²																																																				
1	5	24	72	2261,9467																																																				
2	5	24	120	2261,9467																																																				
3	5	24	728	2261,9467																																																				
4				0																																																				
5				0																																																				
6				0																																																				
7				0																																																				
8				0																																																				
9				0																																																				
10				0																																																				
Armatura di ripartizione:																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Pos.</th> <th>n° barre</th> <th>∅ mm</th> <th>y_i mm</th> <th>A_s mm²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>superiore</td><td style="background-color: #d9ead3;">5</td><td style="background-color: #d9ead3;">20</td><td style="background-color: #d9ead3;">50</td><td style="background-color: #d9ead3;">1570,7963</td></tr> <tr><td>inferiore</td><td style="background-color: #d9ead3;">5</td><td style="background-color: #d9ead3;">20</td><td style="background-color: #d9ead3;">750</td><td style="background-color: #d9ead3;">1570,7963</td></tr> </tbody> </table>	Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²	superiore	5	20	50	1570,7963	inferiore	5	20	750	1570,7963																																									
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²																																																				
superiore	5	20	50	1570,7963																																																				
inferiore	5	20	750	1570,7963																																																				

12.2.7.2 Verifiche allo stato limite di esercizio

SEZIONE RETTANGOLARE - VERIFICHE IN 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 raccomandata)							
k ₄ =	0,425	(valore raccomandata)							
CRITERI DI VERIFICA									
<i>Fessurazione</i>									
Condiz. Ambientali:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive							
	Ordinarie								
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili							
	Poco sensibile								
<i>Tensioni in esercizio</i>									
	Limite	Limite	$\sigma_{c,max}$	$\sigma_{s,max}$					
<i>Combinazione</i>	σ_c / f_{ck}	σ_s / f_{yk}	[N/mm ²]	[N/mm ²]					
<i>Quasi Permanente</i>	0,40	0,75	12,28	337,50					
<i>Caratteristica</i>	0,55	0,75	16,89	337,50					
SOLLECITAZIONI SLE (N+ di compressione -- M+ tende le fibre inferiori)									
<i>Fessurazione</i>									
<i>Combinazione</i>	<i>n. combinazione</i>	<i>frame/nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>w_d</i>	<i>w_{lim}</i>	<i>M0 - Mf</i>		
			[kN]	[kNm]	[mm]	[mm]	[kNm]		
<i>Caratteristica</i>	CAR26	36	0,0	117,4	Msd<Mf	0,300	313,68	-	
<i>Tensioni in esercizio</i>									
<i>Combinazione</i>	<i>n. combinazione</i>	<i>nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{s,max}$	$\sigma_{s,min}$		
			[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
<i>Quasi permanente</i>	QP2	36	0,0	23,0	-0,31	15,32	-2,63	Sezione parzializzata	
<i>Caratteristica</i>	CAR26	36	0,0	117,4	-1,56	78,18	-13,40	Sezione parzializzata	

12.3 Verifica punzonamento dovuto all'urto sul piedritto

Nel caso del deragliamento all'interno della galleria si considera agente una forza agente ad 1,80m dal Piano Ferro agente in direzione ortogonale al piedritto pari a:

$$F_t = 750.00 \text{ kN}$$

Per la verifica a punzonamento si assumono le seguenti ipotesi cautelative:

- Impronta di impatto puntuale;
- Impatto in corrispondenza di un giunto strutturale tra 2 conci

Ne consegue che, detta $d = 736\text{mm}$ l'altezza utile media della sezione in corrispondenza della zona di impatto, il perimetro di rottura a punzonamento corrisponde ad un semicerchio di perimetro 2311mm.

L'azione tangenziale dovuta all'urto è quindi pari a:

$$\tau_{F_t} = 750000 / (736 \times 2311) = 0.44 \text{ N/mm}^2.$$

Tal azione va a combinarsi con quelle derivanti dagli altri carichi permanenti ed accidentali presenti sulla struttura che in corrispondenza della zona di impatto generano un taglio di intensità pari a 48.38 kN/m. Poiché tale azione di taglio si sviluppa lungo il piano verticale, il suo effetto andrà sommandosi solamente nella sezione ortogonale a tale piano, di larghezza 736mm.

L'incremento di azione tangenziale che ne risulta è quindi pari a $\Delta\tau = 48380 / (736 \times 736) = 0.09 \text{ N/mm}^2$

E l'azione tangenziale massima che ne deriva è pari a 0.53 N/mm².

L'azione complessiva, corrisponde ad un'azione di punzonamento di intensità pari a 901.47kN.

Si riporta di seguito la verifica a taglio-punzonamento.

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	2312 mm			
Altezza	h	800 mm			
Barre tese		numero barre	diametro barre [mm]	copriferro in asse barra [mm]	Area barre [mm ²]
strato1		7	24	72	3167
strato2		7	24	72	3167
strato3		12	20	50	3770
strato4		0	0	0	0
strato5		0	0	0	0
Area barre tese	A_s	10103 mm ²			
Posizione della barra equivalente	c*	63,79104478 mm			

SOLLECITAZIONI

Load Case		
Frame		
Azione assiale (+ di compressione)	N_{Ed}	0 kN
Taglio	V_{Ed}	901,47 kN

VERIFICA RESISTENZA SEZIONE SENZA ARMATURA A TAGLIO

Altezza utile della sezione	d	736 mm
Coefficiente	k	1,52
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}	0,36 N/mm ²
Resistenza al taglio minima	$V_{rd,min}$	619,33 kN
Resistenza al taglio senza armatura	V_{rd}	817,66 kN
Verifica		1,10 <i>E' necessario prevedere armatura a taglio</i>

ARMATURA A TAGLIO

Diametro staffe	ϕ	14 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

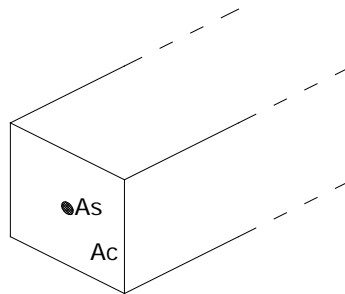
Coefficiente di riduzione per fessurazione	v_1	0,5
Resistenza cilindrica di progetto	f_{cd}	17,40233333 N/mm ²
Area armatura a taglio	A_{st}	769,69 mm ²
	σ_{cp}/f_{cd}	0
Coefficiente di interazione	α_{cw}	1
Resistenza a taglio per rottura delle armature	V_{rds}	997,80 kN
Resistenza a taglio per rottura del puntone in calcestruzzo	V_{rcd}	6663,80 kN
Resistenza al taglio	V_{rd}	997,80 kN
Verifica		0,90 <i>Verifica soddisfatta</i>

12.4 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.

12.4.1 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:

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

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

12.4.2 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 $2 \times A/u = 2 \times H = 160$ cm, ed un calcestruzzo C30/37 classe N.

Caratteristiche della sezione:

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

$$H = 80 \text{ cm}$$

$$A_{s, \text{long}} = 1 + 1\phi 20/20 = 3142 \text{ mm}^2$$

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

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

Deformazione da ritiro:

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

$$\epsilon_{ca}(t=\infty) = 2.5 \times (f_{ck} - 10) \times 10^{-6} = 2.5 \times (0.83 \times 45 - 10) \times 10^{-6} = 0.068 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{cd}(t=\infty) = k_h \times \epsilon_{cd,0} = 0.7 \times 0.30 \text{ ‰} = 0.21 \text{ ‰} \text{ (per } h_0 > 500 \text{ mm, calcestruzzo C35/45 classe N, U.R.}=75\%)$$

$$\epsilon_r = \epsilon_{ca} + \epsilon_{cd} = 0.278 \text{ ‰}$$

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:

$$\sigma_s = (1000 \times 800) \times 9434 \times 210000 \times 0.00040 / (3142 \times 210000 + 1000 \times 800 \times 9434) = 77.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = -3142 \times 9434 \times 210000 \times 0.00040 / (3142 \times 210000 + 1000 \times 800 \times 9434) = -0.30 \text{ N/mm}^2.$$

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.

13. CORDOLI DI TESTA

I cordoli di testa sono degli elementi a sbalzo, incastrati alle estremità del primo e dell'ultimo concio delle strutture scatolari che hanno la funzione di sostenere il terreno agli imbocchi.

In particolare si individuano i seguenti cordoli:

- Cordolo superiore, costituito da un piedritto verticale di altezza massima da estradosso soletta pari a 130cm;
- Cordoli laterali, costituiti da elementi a sbalzo orizzontale, fissati ai piedritti dei conci di imbocco, con sbalzo da filo piedritto pari a 140, 149, 270 e 314 cm che si estendo per un'altezza massima di 10.30m.

Il calcolo delle sollecitazioni viene effettuato considerando il cordolo al pari di una trave a sbalzo di estensione unitaria secondo le usuali formule della scienza delle costruzioni.

13.1 Calcolo delle sollecitazioni

I cordoli di testa sono soggetti al carico del terreno e alla spinta indotta dal sovraccarico accidentale.

Per il calcolo delle azioni vengono adottati i medesimi criteri adottati per gli scatolari.

13.1.1 Pressioni del terreno

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

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

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

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

$$k_{0,k} = 0.4264 \quad k_{0,M1} = 0.4264$$

$$k_{a,k} = 0.2710 \quad k_{a,M1} = 0.2710$$

Si riporta di seguito il calcolo delle pressioni agenti sulla struttura per la Combinazione 1 (A1+M1+R1).

Approccio 1 – Combinazione 1

- Pressione all'estradosso soletta superiore

$$P_1 (h_1 = 1.30\text{m}) = k_{0,M1} \times h_1 \times \gamma_t = 0.4264 \times 1.30 \times 20 = \mathbf{11.09 \text{ kN/m}^2}$$

- Pressione a 3.0m da p.c.

$$P_2 (h_2 = 3.00\text{m}) = k_{0,M1} \times h_2 \times \gamma_t = 0.4264 \times 3.00 \times 20 = \mathbf{25.58 \text{ kN/m}^2}$$

- Pressione a 6.0m da p.c.

$$P_3 (h_3 = 6.00\text{m}) = k_{0,M1} \times h_3 \times \gamma_t = 0.4264 \times 6.00 \times 20 = \mathbf{51.14 \text{ kN/m}^2}$$

- Pressione alla base dei cordoli laterali

$$P_4 (h_4 = 10.30\text{m}) = k_{0,M1} \times h_4 \times \gamma_t = 0.4264 \times 10.30 \times 20 = \mathbf{87.84 \text{ kN/m}^2}$$

13.1.2 Sovraccarichi accidentali

Il sovraccarico accidentale genera incrementi di spinta orizzontale nel terreno pari a:

Approccio 1 – Combinazione 1

$$p_1 = q \times k_{0,M1} = 20.00 \times 0.4264 = 8.53 \text{ kN/m}^2$$

13.1.3 Azione sismica

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

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

P = peso proprio;

$a_{gh} = 0.277$ g, accelerazione orizzontale;

$$\text{Piedritti: } \Delta p_{p,h} = \gamma_{c.a.} \times S_p \times a_{gh} = 25 \times 0.80 \times 0.277 = 5.54 \text{ kN/m}^2$$

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 viene considerata uniformemente distribuita su tutta l'altezza della sezione verticale rigida di riferimento h_{tot} :

$$\Delta p_d = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot h_{tot} = 0.277 \times 20.0 \times 1.44 = 7.98 \text{ kN/m}^2.$$

$$\Delta p_d = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot h_{tot} = 0.277 \times 20.0 \times 10.30 = 57.06 \text{ kN/m}^2.$$

13.2 Combinazione dei carichi

Si riportano di seguito i coefficienti di combinazione dei carichi impiegati per il calcolo delle sollecitazioni di progetto assunti in analogia a quanto previsto dalla normativa per le opere di sostegno.

n° CC	Spinta Terra	Accidentale	Sisma
	1	2	3
SLU	1.30	1.5	0
SLV	1	1	1
QP	1	0	1
CAR	1	1	0

13.3 Azioni sollecitanti

13.3.1 Codolo di testa

Le sollecitazioni vengono calcolate in asse alla soletta superiore, considerando uno sbalzo di luce 1.84m.

Le sollecitazioni allo SLU di taglio e quelle caratteristiche per la verifica a fessurazione sono calcolate al filo della soletta.

13.3.1.1 Azioni elementari

CARICO	$V_{k,filo}$ [kN/m]	$M_{k,filo}$ [kNm/m]	$M_{k,asse}$ [kNm/m]
Spinta terre	14,42	6,25	12,01
Accidentale	11,09	7,21	11,64
Sisma	16,56	10,77	17,39

13.3.1.2 Azioni di calcolo

COMBINAZIONE	$V_{Ed,filo}$ [kN/m]	$M_{Ed,filo}$ [kNm/m]	$M_{Ed,asse}$ [kNm/m]
SLU	35,37	-	33,08
SLV	30,98	-	29,40
QP	-	-	12,01
CAR	-	13,45	23,65

13.3.2 Cordolo laterale - sbalzo 150cm

Le sollecitazioni vengono calcolate in asse al piedritto, per fascia di larghezza unitaria posta a 11.00m da piano campagna, considerando uno schema statico di trave a sbalzo con luce 1.90m.

Le sollecitazioni allo SLU di taglio e quelle caratteristiche per la verifica a fessurazione sono calcolate al filo del piedritto.

13.3.2.1 Azioni elementari

Fascia unitaria a 11.00m da piano campagna:

CARICO	$V_{k,filo}$ [kN/m]	$M_{k,filo}$ [kNm/m]	$M_{k,asse}$ [kNm/m]
Spinta terre	131,76	65,88	118,58
Accidentale	12,79	9,59	14,71
Sisma	93,90	70,43	107,99

13.3.2.2 Azioni di calcolo

Fascia unitaria a 11.00m da piano campagna:

COMBINAZIONE	$V_{Ed,filo}$ [kN/m]	$M_{Ed,filo}$ [kNm/m]	$M_{Ed,asse}$ [kNm/m]
SLU	190,48	-	176,23
SLV	225,66	-	226,57
QP	-	-	118,58
CAR	-	75,47	133,29

13.3.3 Cordolo laterale - sbalzo 270cm

Le sollecitazioni vengono calcolate in asse al piedritto, per due fasce di larghezza unitaria poste rispettivamente a 6.00m e 11.00m da piano campagna, considerando uno schema statico di trave a sbalzo con luce 3.10m.

Le sollecitazioni allo SLU di taglio e quelle caratteristiche per la verifica a fessurazione sono calcolate al filo del piedritto.

13.3.3.1 Azioni elementari

Fascia unitaria a 6.00m da piano campagna:

CARICO	$V_{k,filo}$ [kN/m]	$M_{k,filo}$ [kNm/m]	$M_{k,asse}$ [kNm/m]
Spinta terre	138,16	124,34	179,61
Accidentale	23,03	31,08	40,29
Sisma	169,02	228,18	295,79

Fascia unitaria a 11.00m da piano campagna:

CARICO	$V_{k,filo}$ [kN/m]	$M_{k,filo}$ [kNm/m]	$M_{k,asse}$ [kNm/m]
Spinta terre	237,17	213,45	308,32
Accidentale	23,03	31,08	40,29
Sisma	169,02	228,18	295,79

13.3.3.2 Azioni di calcolo

Fascia unitaria a 6.00m da piano campagna:

COMBINAZIONE	$V_{Ed,filo}$ [kN/m]	$M_{Ed,filo}$ [kNm/m]	$M_{Ed,asse}$ [kNm/m]
SLU	214,15	-	293,93
SLV	307,18	-	475,39
QP	-	-	179,61
CAR	-	155,43	219,90

Fascia unitaria a 11.00m da piano campagna:

COMBINAZIONE	$V_{Ed,filo}$ [kN/m]	$M_{Ed,filo}$ [kNm/m]	$M_{Ed,asse}$ [kNm/m]
SLU	342,86	-	461,26
SLV	406,19	-	604,10
QP	-	-	308,32
CAR	-	244,54	348,61

13.3.4 Cordolo laterale - sbalzo 315cm

Le sollecitazioni vengono calcolate in asse al piedritto, per tre fasce di larghezza unitaria poste rispettivamente a 3.00m, 6.00m e 11.00m da piano campagna, considerando uno schema statico di trave a sbalzo con luce 3.55m.

Le sollecitazioni allo SLU di taglio e quelle caratteristiche per la verifica a fessurazione sono calcolate al filo del piedritto.

13.3.4.1 Azioni elementari

Fascia unitaria a 3.00m da piano campagna:

CARICO	$V_{k,filo}$ [kN/m]	$M_{k,filo}$ [kNm/m]	$M_{k,asse}$ [kNm/m]
Spinta terre	80,58	84,61	116,84
Accidentale	26,86	42,31	53,05
Sisma	197,19	310,57	389,45

Fascia unitaria a 6.00m da piano campagna:

CARICO	$V_{k,filo}$ [kN/m]	$M_{k,filo}$ [kNm/m]	$M_{k,asse}$ [kNm/m]
Spinta terre	161,19	169,24	233,72
Accidentale	26,86	42,31	53,05
Sisma	197,19	310,57	389,45

Fascia unitaria a 11.00m da piano campagna:

CARICO	$V_{k,filo}$ [kN/m]	$M_{k,filo}$ [kNm/m]	$M_{k,asse}$ [kNm/m]
Spinta terre	276,70	290,53	401,21
Accidentale	26,86	42,31	53,05
Sisma	197,19	310,57	389,45

13.3.4.2 Azioni di calcolo

Fascia unitaria a 3.00m da piano campagna:

COMBINAZIONE	$V_{Ed,filo}$ [kN/m]	$M_{Ed,filo}$ [kNm/m]	$M_{Ed,asse}$ [kNm/m]
SLU	145,04	-	231,47
SLV	277,77	-	506,29
QP	-	-	116,84
CAR	-	126,92	169,89

Fascia unitaria a 6.00m da piano campagna:

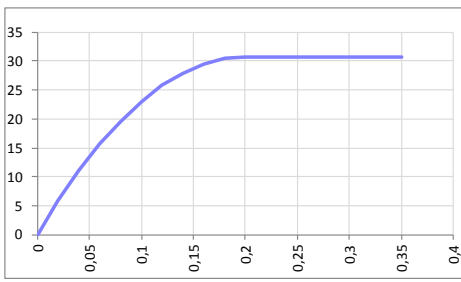
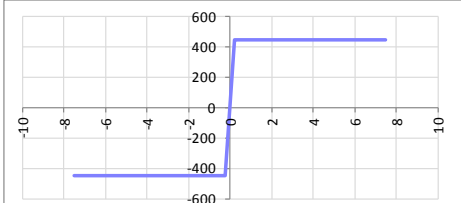
COMBINAZIONE	$V_{Ed,filo}$ [kN/m]	$M_{Ed,filo}$ [kNm/m]	$M_{Ed,asse}$ [kNm/m]
SLU	249,84	-	383,42
SLV	358,38	-	623,17
QP	-	-	233,72
CAR	-	211,55	286,77

Fascia unitaria a 11.00m da piano campagna:

COMBINAZIONE	$V_{Ed,filo}$ [kN/m]	$M_{Ed,filo}$ [kNm/m]	$M_{Ed,asse}$ [kNm/m]
SLU	400,00	-	601,15
SLV	473,89	-	790,66
QP	-	-	401,21
CAR	-	332,84	454,26

13.4 Verifiche strutturali

13.4.1 Codolo di testa

SEZIONE RETTANGOLARE				
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_{cfm}	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			
$k = (f_d/f_y)_k$	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	1,99			
n, lungo termine =	11,47 = 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=	800 mm			
Armature:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
1	5	20	50	1570,7963
2	5	20	750	1570,7963
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	A _s mm ²
superiore	5	16	68	1005,3096
inferiore	5	16	732	1005,3096

13.4.1.1 Verifiche allo stato limite ultimo per flessione

VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO																																																					
CRITERI DI VERIFICA																																																					
<i>Coefficienti di sicurezza allo SLU</i>																																																					
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																																													
SLU	-	0,0	33,1	15151,19	-1229,32	450,51	-450,51	7%																																													
<i>Sezione:</i>																																																					
				Fibre compresse $\sigma_{c,max}$ = 17,40 N/mm ² $\sigma_{s,min}$ = -391,30 N/mm ² $\epsilon_{c,max}$ = 0,35 % $\epsilon_{s,min}$ = -5,17 % d = 750,00 mm x = 47,59 mm x/d = 0,06		Superiori $\sigma_{c,max}$ = 17,40 N/mm ² $\sigma_{s,min}$ = -391,30 N/mm ² $\epsilon_{c,max}$ = 0,35 % $\epsilon_{s,min}$ = -5,17 % d = 750,00 mm x = 47,59 mm x/d = 0,06																																															
<i>Dominio M-N</i>																																																					
				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #90EE90;"> <th>Combinazione</th> <th>fram/nodo</th> <th>NSd [kN]</th> <th>MSd [kNm]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr style="background-color: #90EE90;"> <td>SLU</td> <td>-</td> <td>0,0</td> <td>33,1</td> </tr> <tr style="background-color: #90EE90;"><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr style="background-color: #90EE90;"><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr style="background-color: #90EE90;"><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr style="background-color: #90EE90;"><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr style="background-color: #90EE90;"><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr style="background-color: #90EE90;"><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr style="background-color: #90EE90;"><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr style="background-color: #90EE90;"><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr style="background-color: #90EE90;"><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>						Combinazione	fram/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]	SLU	-	0,0	33,1																																				
Combinazione	fram/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]																																																		
SLU	-	0,0	33,1																																																		

13.4.1.2 Verifiche allo stato limite ultimo per taglio

CALCESTRUZZO		
Calsse 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		800 mm	
<i>Barre tese</i>	<i>numero barre</i>	<i>diametro barre [mm]</i>	<i>copriferro in asse barra [mm]</i>	<i>Area barre [mm²]</i>
strato1	5	20	50	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*		50 mm	

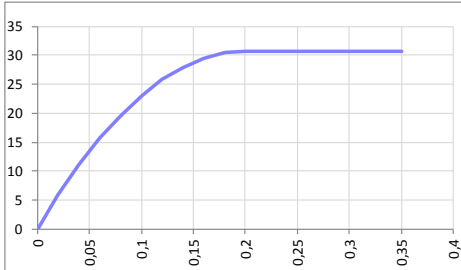
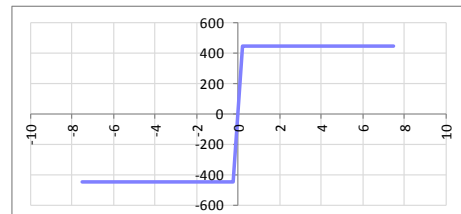
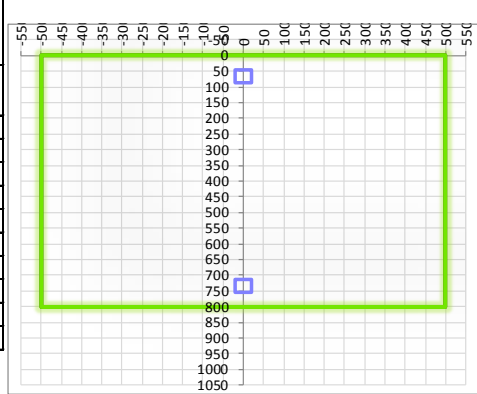
SOLLECITAZIONI		
Load Case		SLU
Frame		-
Azione assiale (+ di compressione)	N _{Ed}	0 kN
Taglio	V _{Ed}	35,37 kN

VERIFICA RESISTENZA SEZIONE SENZA ARMATURA A TAGLIO		
Altezza utile della sezione	d	750 mm
Coefficiente	k	1,52
Rapporto di armatura longitudinale	ρ _l	0,21%
Tensione assiale media	σ _{cp}	0,00 N/mm ²
	0.2 x f _{cd}	3,48 N/mm ²
	v _{min}	0,36 N/mm ²
Resistenza al taglio minima	V _{rd,min}	271,64 kN
Resistenza al taglio senza armatura	V_{rd}	271,64 kN
Verifica		0,13 Verifica soddisfatta

13.4.1.3 Verifiche allo stato limite di esercizio

SEZIONE RETTANGOLARE - VERIFICHE IN 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									
<i>Fessurazione</i>									
Condiz. Ambientali:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive							
	Ordinarie								
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili							
	Poco sensibile								
<i>Tensioni in esercizio</i>									
	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)									
<i>Fessurazione</i>									
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>frame/nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>w_d</i>	<i>w_{lim}</i>	<i>M0 - Mf</i>		
			[kN]	[kNm]	[mm]	[mm]	[kNm]		
Caratteristica	CAR	-	0,0	13,5	Msd<Mf	0,300	296,89	-	
<i>Tensioni in esercizio</i>									
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{s,max}$	$\sigma_{s,min}$		
			[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
Quasi permanente	QP	-	0,0	12,0	-0,19	10,93	-1,88	Sezione parzializzata	
Caratteristica	CAR	-	0,0	23,7	-0,37	21,53	-3,70	Sezione parzializzata	

13.4.2 Cordolo laterale - sbalzo 150cm – profondità 11.0m

SEZIONE RETTANGOLARE				
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 _{cfm}	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 comportament	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	1,99			
n, lungo termine =	11,47 = 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=	800 mm			
Armature:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
1	5	20	66	1570,7963
2	5	20	734	1570,7963
3				0
4				0
5				0
6				0
7				0
8				0
9				0
10				0
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
superiore	5	16	48	1005,3096
inferiore	5	16	752	1005,3096
				

13.4.2.2 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	800 mm		
<i>Barre tese</i>	<i>numero barre</i>	<i>diametro barre [mm]</i>	<i>copriferro in asse barra [mm]</i>	<i>Area barre [mm²]</i>
strato1	5	20	66	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^*	66 mm		

SOLLECITAZIONI		
Load Case		SLV
Frame		-
Azione assiale (+ di compressione)	N_{Ed}	0 kN
Taglio	V_{Ed}	225,66 kN

VERIFICA RESISTENZA SEZIONE SENZA ARMATURA A TAGLIO		
Altezza utile della sezione	d	734 mm
Coefficiente	k	1,52
Rapporto di armatura longitudinale	ρ_l	0,21%
Tensione assiale media	σ_{cp}	0,00 N/mm ²
	$0.2 \times f_{cd}$	3,48 N/mm ²
	v_{min}	0,36 N/mm ²
Resistenza al taglio minima	$V_{rd,min}$	267,32 kN
Resistenza al taglio senza armatura	V_{rd}	267,32 kN
Verifica		0,84 <i>Verifica soddisfatta</i>

13.4.2.3 Verifiche allo stato limite di esercizio

SEZIONE RETTANGOLARE - VERIFICHE IN 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									
<i>Fessurazione</i>									
Condiz. Ambientali:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive							
	Ordinarie								
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili							
	Poco sensibile								
<i>Tensioni in esercizio</i>									
	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)									
<i>Fessurazione</i>									
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>frame/nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>w_d</i>	<i>w_{lim}</i>	<i>M0 - Mf</i>		
			[kN]	[kNm]	[mm]	[mm]	[kNm]		
Caratteristica	CAR	-	0,0	75,5	Msd<Mf	0,300	293,73	-	
<i>Tensioni in esercizio</i>									
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{s,max}$	$\sigma_{s,min}$		
			[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
Quasi permanente	QP	-	0,0	118,6	-1,94	110,88	-16,53	Sezione parzializzata	
Caratteristica	CAR	-	0,0	133,3	-2,18	124,63	-18,58	Sezione parzializzata	

Doc. N.

Progetto
INOR

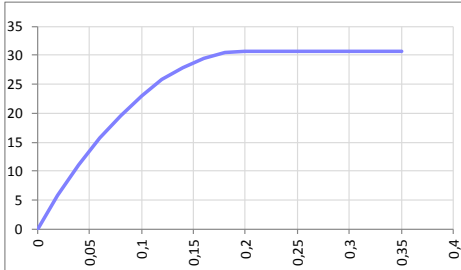
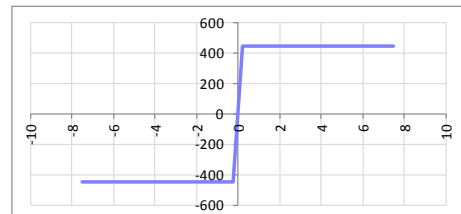
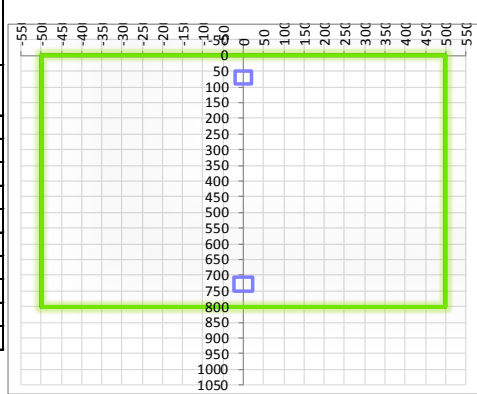
Lotto
11

Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001

Rev.
A

Foglio
123 di 144

13.4.3 Cordolo laterale - sbalzo 270cm – profondità 6.0m

SEZIONE RETTANGOLARE				
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 _{cfm}	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 _y /f _{yk}) _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	1,99			
n, lungo termine =	11,47 = 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=	800 mm			
Armature:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
1	5	20	70	1570,7963
2	5	24	728	2261,9467
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	A _s mm ²
superiore	5	20	50	1570,7963
inferiore	5	20	750	1570,7963

13.4.3.1 Verifiche allo stato limite ultimo per flessione

VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO																																																									
CRITERI DI VERIFICA																																																									
<i>Coefficienti di sicurezza allo SLU</i>																																																									
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																																																	
SLV	-	0,0	475,4	15421,64	-1499,77	622,11	-444,78	76%																																																	
<i>Sezione:</i>																																																									
				<i>Fibre compresse</i>		<i>Superiori</i>																																																			
				$\sigma_{c,max}$	17,40	N/mm ²																																																			
				$\sigma_{s,min}$	-391,30	N/mm ²																																																			
				$\epsilon_{c,max}$	0,35	%																																																			
				$\epsilon_{s,min}$	-3,47	%																																																			
				d	728,00	mm																																																			
				x/d	0,09																																																				
<i>Dominio M-N</i>																																																									
				<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #90EE90;"> <th>Combinazione</th> <th>fram/nodo</th> <th>NSd [kN]</th> <th>MSd [kNm]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr style="background-color: #90EE90;"> <td>SLV</td> <td>-</td> <td>0,0</td> <td>475,4</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> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>						Combinazione	fram/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]	SLV	-	0,0	475,4																																								
Combinazione	fram/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]																																																						
SLV	-	0,0	475,4																																																						

13.4.3.2 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	800 mm		
<i>Barre tese</i>	<i>numero barre</i>	<i>diametro barre [mm]</i>	<i>copriferro in asse barra [mm]</i>	<i>Area barre [mm²]</i>
strato1	5	24	72	2262
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	2262 mm ²		
Posizione della barra equivalente	c^*	72 mm		

SOLLECITAZIONI	
Load Case	SLV
Frame	-
Azione assiale (+ di compressione)	N_{Ed} 0 kN
Taglio	V_{Ed} 307,18 kN

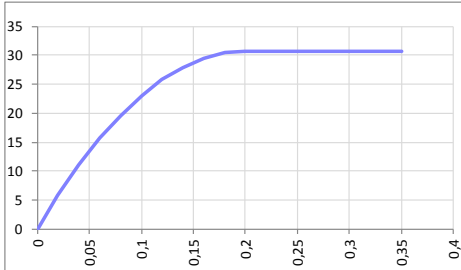
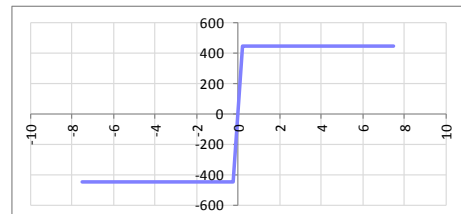
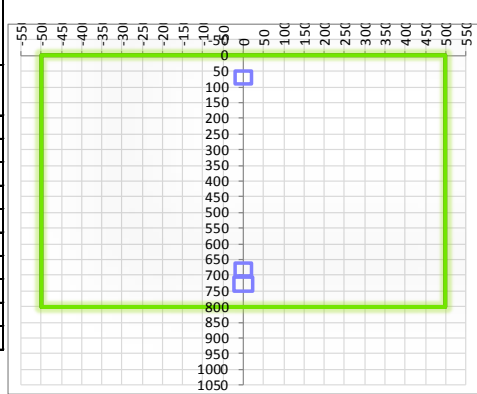
VERIFICA RESISTENZA SEZIONE SENZA ARMATURA A TAGLIO		
Altezza utile della sezione	d	728 mm
Coefficiente	k	1,52
Rapporto di armatura longitudinale	ρ_l	0,31%
Tensione assiale media	σ_{cp}	0,00 N/mm ²
	$0.2 \times f_{cd}$	3,48 N/mm ²
	v_{min}	0,36 N/mm ²
Resistenza al taglio minima	$V_{rd,min}$	265,69 kN
Resistenza al taglio senza armatura	V_{rd}	282,41 kN
Verifica		1,09 <i>E' necessario prevedere armatura a taglio</i>

La verifica a taglio risulta verificata ad una distanza da filo piedritto pari a 222mm, inferiore all'altezza utile della sezione, pertanto, secondo quanto indicato al p.to 8 del capitolo 6.2.2 della UNI EN 1992-1-1, la verifica può ritenersi comunque soddisfatta senza la necessità di prevedere armatura a taglio.

13.4.3.3 Verifiche allo stato limite di esercizio

SEZIONE RETTANGOLARE - VERIFICHE IN 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									
<i>Fessurazione</i>									
Condz. Ambientali:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive							
	Ordinarie								
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili							
	Poco sensibile								
<i>Tensioni in esercizio</i>									
	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)									
<i>Fessurazione</i>									
Combinazione	n. combinazione	frame/nodo	N [kN]	M [kNm]	w _d [mm]	w _{lim} [mm]	M0 - Mf [kNm]		
Caratteristica	CAR	-	0,0	155,4	Msd<Mf	0,300	302,49	-	
<i>Tensioni in esercizio</i>									
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	QP	-	0,0	179,6	-2,59	119,07	-23,68	Sezione parzializzata	
Caratteristica	CAR	-	0,0	219,9	-3,17	145,78	-29,00	Sezione parzializzata	

13.4.4 Cordolo laterale - sbalzo 270cm – profondità 11.0m

SEZIONE RETTANGOLARE				
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 _{cfm}	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 comportament	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	1,99			
n, lungo termine=	11,47 = 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=	800 mm			
Armature:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
1	5	20	70	1570,7963
2	5	24	728	2261,9467
3	5	20	682	1570,7963
4				0
5				0
6				0
7				0
8				0
9				0
10				0
				
Armatura di ripartizione:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
superiore	5	20	50	1570,7963
inferiore	5	20	750	1570,7963

13.4.4.1 Verifiche allo stato limite ultimo per flessione

VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO																																																																																						
CRITERI DI VERIFICA																																																																																						
<i>Coefficienti di sicurezza allo SLU</i>																																																																																						
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																																																																														
SLV	-	0,0	604,1	16036,30	-2114,43	999,89	-474,53	60%																																																																														
<i>Sezione:</i>																																																																																						
				<i>Fibre compresse</i>		<i>Superiori</i>																																																																																
				$\sigma_{c,max}$	17,40	N/mm ²																																																																																
				$\sigma_{s,min}$	-391,30	N/mm ²																																																																																
				$\epsilon_{c,max}$	0,35	%																																																																																
				$\epsilon_{s,min}$	-2,50	%																																																																																
				d	728,00	mm																																																																																
				x/d	0,12																																																																																	
<i>Dominio M-N</i>																																																																																						
				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #90EE90;"> <th>Combinazione</th> <th>fram/nodo</th> <th>NSd [kN]</th> <th>MSd [kNm]</th> <th colspan="3"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr style="background-color: #90EE90;"> <td>SLV</td> <td>-</td> <td>0,0</td> <td>604,1</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td colspan="3"></td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td colspan="3"></td></tr> </tbody> </table>						Combinazione	fram/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]				SLV	-	0,0	604,1																																																																		
				Combinazione	fram/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]																																																																															
				SLV	-	0,0	604,1																																																																															

13.4.4.2 Verifiche allo stato limite ultimo per taglio

CALCESTRUZZO		
Calsse calcestruzzo		C30/37
Resistenza cubica caratteristica	R_{ck}	37,00 Mpa
Resistenza cilindrica caratteristica	f_{ck}	30,71 Mpa

ACCIAIO	
Tipologia	B450C
Reisitenza caratteristica allo snervamento	450 Mpa

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

GEOMETRIA SEZIONE C.A.				
Base	b			1000 mm
Altezza	h			800 mm
Barre tese	numero barre	diametro barre [mm]	copriferro in asse barra [mm]	Area barre [mm²]
strato1	5	20	72	1571
strato2	5	20	118	1571
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*			95 mm

SOLLECITAZIONI		
Load Case		SLV
Frame		-
Azione assiale (+ di compressione)	N_{Ed}	0 kN
Taglio	V_{Ed}	406,19 kN

VERIFICA RESISTENZA SEZIONE SENZA ARMATURA A TAGLIO		
Altezza utile della sezione	d	705 mm
Coefficiente	k	1,53
Rapporto di armatura longitudinale	ρ_l	0,45%
Tensione assiale media	σ_{cp}	0,00 N/mm ²
	$0.2 \times f_{cd}$	3,48 N/mm ²
	v_{min}	0,37 N/mm ²
Resistenza al taglio minima	$V_{rd,min}$	259,45 kN
Resistenza al taglio senza armatura	V_{rd}	310,14 kN
Verifica		1,31 <i>E' necessario prevedere armatura a taglio</i>

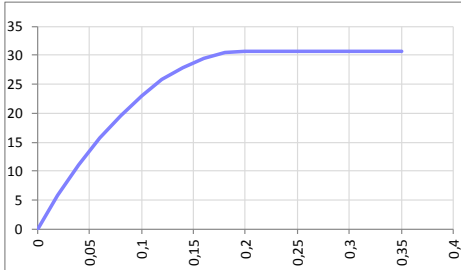
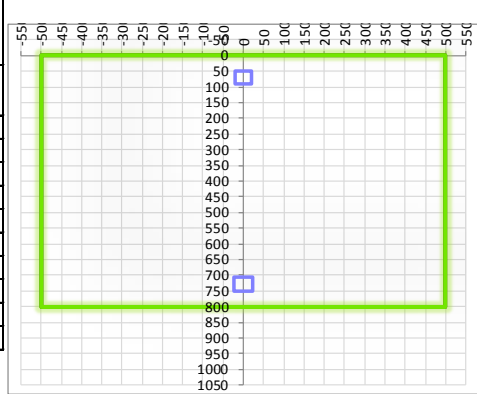
ARMATURA A TAGLIO		
Diametro staffe	ϕ	12 mm
Numero braccia	n	3,33
Passo staffe	s	200 mm
Inclinazione staffe (rispetto all'orizzontale)	α	90 °
Inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ	45 °
Valore minimo di inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ_{min}	21,80 °

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}	376,61 mm ²
	σ_{cp}/f_{cd}	0
Coefficiente di interazione	α_{cw}	1
Resistenza a taglio per rottura delle armature	V_{rds}	467,53 kN
Resistenza a taglio per rottura del puntone in calcestruzzo	V_{rcd}	2760,45 kN
Resistenza al taglio	V_{rd}	467,53 kN
Verifica		0,87 <i>Verifica soddisfatta</i>

13.4.4.3 Verifiche allo stato limite di esercizio

SEZIONE RETTANGOLARE - VERIFICHE IN 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									
<i>Fessurazione</i>									
Condz. Ambientali:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive							
	Ordinarie								
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili							
	Poco sensibile								
<i>Tensioni in esercizio</i>									
Combinazione	Limite σ_c / f_{ck}	Limite σ_s / f_{yk}	$\sigma_{c,max}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,max}$ [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)									
<i>Fessurazione</i>									
Combinazione	n. combinazione	frame/nodo	N [kN]	M [kNm]	w_d [mm]	w_{lim} [mm]	M0 - Mf [kNm]		
Caratteristica	CAR	-	0,0	244,5	Msd<Mf	0,300	319,46	-	
<i>Tensioni in esercizio</i>									
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	QP	-	0,0	308,3	-3,82	131,18	-39,17	Sezione parzializzata	
Caratteristica	CAR	-	0,0	348,6	-4,32	148,33	-44,28	Sezione parzializzata	

13.4.5 Cordolo laterale - sbalzo 315cm – profondità 3.0m

SEZIONE RETTANGOLARE				
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 _{cfm}	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 comportament	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	1,99			
n, lungo termine =	11,47 = 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=	800 mm			
Armature:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
1	5	20	70	1570,7963
2	5	24	728	2261,9467
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	A _s mm ²
superiore	5	20	50	1570,7963
inferiore	5	20	750	1570,7963

13.4.5.1 Verifiche allo stato limite ultimo per flessione

VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO																																																					
CRITERI DI VERIFICA																																																					
<i>Coefficienti di sicurezza allo SLU</i>																																																					
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																																													
SLV	-	0,0	506,3	15421,64	-1499,77	622,11	-444,78	81%																																													
<i>Sezione:</i>																																																					
				<i>Fibre compresse</i>		<i>Superiori</i>																																															
				$\sigma_{c,max}$	17,40	N/mm ²																																															
				$\sigma_{s,min}$	-391,30	N/mm ²																																															
				$\epsilon_{c,max}$	0,35	%																																															
				$\epsilon_{s,min}$	-3,47	%																																															
				d	728,00	mm																																															
				x	66,70	mm																																															
x/d	0,09																																																				
<i>Dominio M-N</i>																																																					
				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #90EE90;"> <th>Combinazione</th> <th>fram/nodo</th> <th>NSd [kN]</th> <th>MSd [kNm]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr style="background-color: #90EE90;"> <td>SLV</td> <td>-</td> <td>0,0</td> <td>506,3</td> </tr> <tr style="background-color: #90EE90;"><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr style="background-color: #90EE90;"><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr style="background-color: #90EE90;"><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr style="background-color: #90EE90;"><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr style="background-color: #90EE90;"><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr style="background-color: #90EE90;"><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr style="background-color: #90EE90;"><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr style="background-color: #90EE90;"><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr style="background-color: #90EE90;"><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>						Combinazione	fram/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]	SLV	-	0,0	506,3																																				
				Combinazione	fram/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]																																														
				SLV	-	0,0	506,3																																														

13.4.5.2 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	800 mm		
<i>Barre tese</i>	<i>numero barre</i>	<i>diametro barre [mm]</i>	<i>copriferro in asse barra [mm]</i>	<i>Area barre [mm²]</i>
strato1	5	24	72	2262
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	2262 mm ²		
Posizione della barra equivalente	c^*	72 mm		

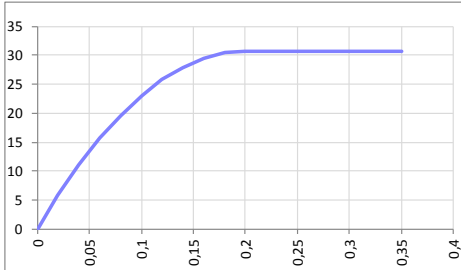
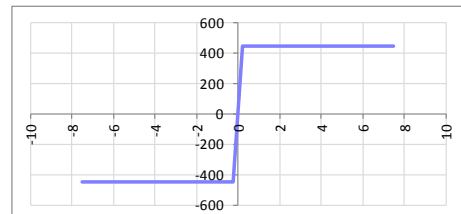
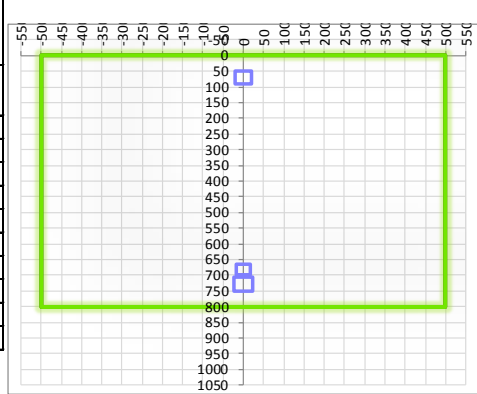
SOLLECITAZIONI		
Load Case		SLV
Frame		-
Azione assiale (+ di compressione)	N_{Ed}	0 kN
Taglio	V_{Ed}	277,77 kN

VERIFICA RESISTENZA SEZIONE SENZA ARMATURA A TAGLIO		
Altezza utile della sezione	d	728 mm
Coefficiente	k	1,52
Rapporto di armatura longitudinale	ρ_l	0,31%
Tensione assiale media	σ_{cp}	0,00 N/mm ²
	$0.2 \times f_{cd}$	3,48 N/mm ²
	v_{min}	0,36 N/mm ²
Resistenza al taglio minima	$V_{rd,min}$	265,69 kN
Resistenza al taglio senza armatura	V_{rd}	282,41 kN
Verifica		0,98 Verifica soddisfatta

13.4.5.3 Verifiche allo stato limite di esercizio

SEZIONE RETTANGOLARE - VERIFICHE IN 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									
<i>Fessurazione</i>									
Condiz. Ambientali:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive							
	Ordinarie								
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili							
	Poco sensibile								
<i>Tensioni in esercizio</i>									
	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)									
<i>Fessurazione</i>									
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>frame/nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>w_d</i>	<i>w_{lim}</i>	<i>M0 - Mf</i>		
			[kN]	[kNm]	[mm]	[mm]	[kNm]		
Caratteristica	CAR	-	0,0	126,9	Msd<Mf	0,300	302,49	-	
<i>Tensioni in esercizio</i>									
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{s,max}$	$\sigma_{s,min}$		
			[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
Quasi permanente	QP	-	0,0	116,8	-1,69	77,46	-15,41	Sezione parzializzata	
Caratteristica	CAR	-	0,0	169,9	-2,45	112,63	-22,40	Sezione parzializzata	

13.4.6 Cordolo laterale - sbalzo 315cm – profondità 6.0m

SEZIONE RETTANGOLARE				
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 _{cfm}	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 comportament	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	1,99			
n, lungo termine =	11,47 = 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=	800 mm			
Armature:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
1	5	20	70	1570,7963
2	5	24	728	2261,9467
3	2,5	24	680	1130,9734
4				0
5				0
6				0
7				0
8				0
9				0
10				0
				
Armatura di ripartizione:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
superiore	5	20	50	1570,7963
inferiore	5	20	750	1570,7963

13.4.6.2 Verifiche allo stato limite ultimo per taglio

CALCESTRUZZO		
Calsse 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		800 mm	
<i>Barre tese</i>		<i>numero barre</i>	<i>diametro barre [mm]</i>	<i>copriferro in asse barra [mm]</i>
strato1		5	24	72
strato2		2,5	24	120
strato3		0	0	0
strato4		0	0	0
strato5		0	0	0
Area barre tese	A_s		3393 mm ²	
Posizione della barra equivalente	c^*		88 mm	

SOLLECITAZIONI	
Load Case	SLV
Frame	-
Azione assiale (+ di compressione)	N_{Ed}
Taglio	V_{Ed}

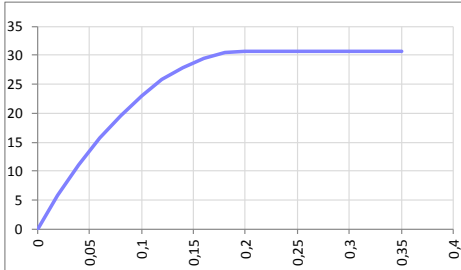
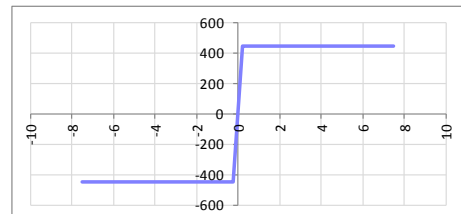
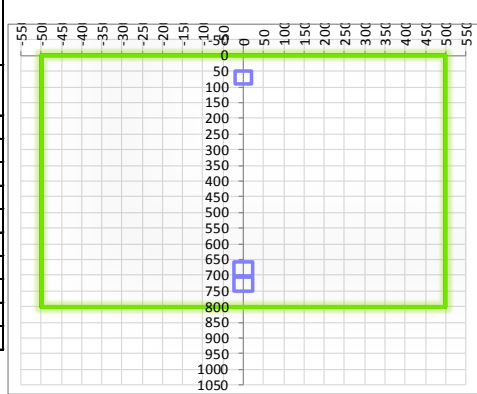
VERIFICA RESISTENZA SEZIONE SENZA ARMATURA A TAGLIO		
Altezza utile della sezione	d	712 mm
Coefficiente	k	1,53
Rapporto di armatura longitudinale	ρ_l	0,48%
Tensione assiale media	σ_{cp}	0,00 N/mm ²
	$0.2 \times f_{cd}$	3,48 N/mm ²
	v_{min}	0,37 N/mm ²
Resistenza al taglio minima	$V_{rd,min}$	261,35 kN
Resistenza al taglio senza armatura	V_{rd}	319,75 kN
Verifica		1,12 E' necessario prevedere armatura a taglio

La verifica a taglio risulta verificata ad una distanza da filo piedritto pari a 338mm, inferiore all'altezza utile della sezione, pertanto, secondo quanto indicato al p.to 8 del capitolo 6.2.2 della UNI EN 1992-1-1 , la verifica può ritenersi comunque soddisfatta senza la necessità di prevedere armatura a taglio.

13.4.6.3 Verifiche allo stato limite di esercizio

SEZIONE RETTANGOLARE - VERIFICHE IN 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									
<i>Fessurazione</i>									
Condiz. Ambientali:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive							
	Ordinarie								
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili							
	Poco sensibile								
<i>Tensioni in esercizio</i>									
Combinazione	Limite σ_c / f_{ck}	Limite σ_s / f_{yk}	$\sigma_{c,max}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,max}$ [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)									
<i>Fessurazione</i>									
Combinazione	n. combinazione	frame/nodo	N [kN]	M [kNm]	w_d [mm]	w_{lim} [mm]	M0 - Mf [kNm]		
Caratteristica	CAR	-	0,0	211,6	Msd<Mf	0,300	314,59	-	
<i>Tensioni in esercizio</i>									
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	QP	-	0,0	233,7	-3,00	110,58	-30,08	Sezione parzializzata	
Caratteristica	CAR	-	0,0	286,8	-3,68	135,68	-36,90	Sezione parzializzata	

13.4.7 Cordolo laterale - sbalzo 315cm – profondità 11.0m

SEZIONE RETTANGOLARE				
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 _{cfm}	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 comportament	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	1,99			
n, lungo termine=	11,47 = 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=	800 mm			
Armature:				
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
1	5	20	70	1570,7963
2	5	24	728	2261,9467
3	5	24	680	2261,9467
4				0
5				0
6				0
7				0
8				0
9				0
10				0
Pos.	n° barre	∅ mm	y _i mm	A _s mm ²
superiore	5	20	50	1570,7963
inferiore	5	20	750	1570,7963
				

13.4.7.1 Verifiche allo stato limite ultimo per flessione

VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO																																																					
CRITERI DI VERIFICA																																																					
<i>Coefficienti di sicurezza allo SLU</i>																																																					
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																																													
SLV	-	0,0	790,7	16306,75	-2384,88	1162,05	-483,43	68%																																													
<i>Sezione:</i>																																																					
				<i>Fibre compresse</i>		<i>Superiori</i>																																															
				$\sigma_{c,max}$	=	17,40	N/mm ²																																														
				$\sigma_{s,min}$	=	-391,30	N/mm ²																																														
				$\epsilon_{c,max}$	=	0,35	%																																														
				$\epsilon_{s,min}$	=	-2,16	%																																														
				d	=	728,00	mm																																														
				x	=	101,46	mm																																														
x/d	=	0,14																																																			
<i>Dominio M-N</i>				<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Combinazione</th> <th>fram/nodo</th> <th>NSd [kN]</th> <th>MSd [kNm]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr style="background-color: #90EE90;"> <td>SLV</td> <td>-</td> <td>0,0</td> <td>790,7</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]	SLV	-	0,0	790,7																																				
Combinazione	fram/nodo	NSd [kN]	MSd [kNm]																																																		
SLV	-	0,0	790,7																																																		

13.4.7.2 Verifiche allo stato limite ultimo per taglio

CALCESTRUZZO		
Classe 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		800 mm		
Barre tese		numero barre	diametro barre [mm]	copriferro in asse barra [mm]	Area barre [mm ²]
strato1		5	24	72	2262
strato2		5	24	120	2262
strato3		0	0	0	0
strato4		0	0	0	0
strato5		0	0	0	0
Area barre tese	A_s				4524 mm ²
Posizione della barra equivalente	c^*				96 mm

SOLLECITAZIONI		
Load Case		SLV
Frame		-
Azione assiale (+ di compressione)	N_{Ed}	0 kN
Taglio	V_{Ed}	473,89 kN

VERIFICA RESISTENZA SEZIONE SENZA ARMATURA A TAGLIO		
Altezza utile della sezione	d	704 mm
Coefficiente	k	1,53
Rapporto di armatura longitudinale	ρ_l	0,64%
Tensione assiale media	σ_{cp}	0,00 N/mm ²
	$0.2 \times f_{cd}$	3,48 N/mm ²
	v_{min}	0,37 N/mm ²
Resistenza al taglio minima	$V_{rd,min}$	259,18 kN
Resistenza al taglio senza armatura	V_{rd}	349,97 kN
Verifica		1,35 E' necessario prevedere armatura a taglio

ARMATURA A TAGLIO		
Diametro staffe	ϕ	12 mm
Numero braccia	n	3,33
Passo staffe	s	200 mm
Inclinazione staffe (rispetto all'orizzontale)	α	90 °
Inclinazione del puntone in calcestruzzo	θ	40 °
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}	376,61 mm ²
	σ_{cp}/f_{cd}	0
Coefficiente di interazione	α_{cw}	1
Resistenza a taglio per rottura delle armature	V_{rds}	556,39 kN
Resistenza a taglio per rottura del puntone in calcestruzzo	V_{rcd}	2714,65 kN
Resistenza al taglio	V_{rd}	556,39 kN
Verifica		0,85 Verifica soddisfatta

13.4.7.3 Verifiche allo stato limite di esercizio

SEZIONE RETTANGOLARE - VERIFICHE IN 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									
<i>Fessurazione</i>									
Condz. Ambientali:	1	1- Ordinarie; 2- Aggressive; 3- Molto aggressive							
	Ordinarie								
Armature:	2	1-Sensibili; 2-Poco sensibili							
	Poco sensibile								
<i>Tensioni in esercizio</i>									
	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)									
<i>Fessurazione</i>									
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>frame/nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>w_d</i>	<i>w_{lim}</i>	<i>M0 - Mf</i>		
			[kN]	[kNm]	[mm]	[mm]	[kNm]		
Caratteristica	CAR	-	0,0	332,8	0,138	0,300	326,55	-	
<i>Tensioni in esercizio</i>									
Combinazione	<i>n. combinazione</i>	<i>nodo</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{s,max}$	$\sigma_{s,min}$		
			[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
Quasi permanente	QP	-	0,0	401,2	-4,75	148,55	-50,12	Sezione parzializzata	
Caratteristica	CAR	-	0,0	454,3	-5,38	168,19	-56,75	Sezione parzializzata	

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001

Rev.
A

Foglio
143 di 144

14. VERIFICA A FUOCO

Data l'analogia tra la geometria e dell'armatura dei manufatti oggetto della presente relazione e quella dei manufatti previsti per l'asse del binario pari – opera GA22, per quanto riguarda le verifiche a fuoco della galleria, si rimanda all'elaborato prodotto per GA22 Rif [3].

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

Codifica Documento
E E2 CL GA23 00 001

Rev.
A

Foglio
144 di 144

15. RIFERIMENTI

15.1 Documenti referenziati

- Rif. [1] Cepav due, documento n° INOR 11 E E2 RB GA23 00 001, intitolato “RELAZIONE GEOTECNICA GALLERIA ARTIFICIALE IC VR MERCI B. P. DA PK 1+626.455 A PK 1+935.866”.
- Rif. [2] Cepav due, documento n° INOR 11 E E2 CL GA23 00 002, intitolato “GA23 – GALLERIA ARTIFICIALE IC VR MERCI B. P. DA PK 1+626.455 A PK 1+935.866 – ALLEGATO ALLA RELAZIONE DI CALCOLO – TABULATI DI CALCOLO”.
- Rif. [3] Cepav due, documento n° INOR 11 E E2 RO GA22 00 003, intitolato “GA22 – GALLERIA ARTIFICIALE IC VR MERCI B.P. DA PK 1+628,179 A PK 1+943,927 - RELAZIONE DI VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO”.

15.2 Documenti correlati

Non sono presenti documenti correlati.

15.3 Documenti superati

Non sono presenti documenti superati.