

S.S.291 "Della Nurra"

Lavori di costruzione del Lotto 1 da Alghero ad Olmedo, in località bivio cantoniera di Rudas (completamento collegamento Alghero-Sassari) e del Lotto 4 tra bivio Olmedo e l'aeroporto di Alghero -Fertilia (bretella per l'aeroporto)

PROGETTO ESECUTIVO

COD. CA29

PROGETTAZIONE: ATI: VIA - SERING - VDP - BRENG

PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma A27296)

RESPONSABILE D'AREA

Responsabile Tracciato stradale: *Dott. Ing. Massimo Capasso (Ord. Ing. Prov. Roma 26031)*
 Responsabile Strutture: *Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma 27296)*
 Responsabile Idraulica, Geotecnica e Impianti: *Dott. Ing. Sergio Di Maio (Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)*
 Responsabile Ambiente: *Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)*

GEOLOGO:

Dott. Geol. Enrico Curcuruto (Ord. Geo. Regione Sicilia 966)

COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Sergio Di Maio (Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)

COORDINATORE ATTIVITA' DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. MariaAntonietta Merendino (Ord. Ing. Prov. Roma A28481)

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Salvatore Campione

MANDATARIA:



MANDANTE:



MANDANTE:



MANDANTE:




GALLERIE ARTIFICIALI

**GALLERIA ARTIFICIALE FERROVIA "B" E SOTTOVIA AL KM 1+360,00 ASSE D
 RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**


CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	T01_GA02_STR_RE01_A			
DPCA00029	E 21	CODICE ELAB.	T02GA02STRRE01	A	-
D		-	-	-	-
C		-	-	-	-
B		-	-	-	-
A	EMISSIONE	Giugno 2021	E. RICCI	G. CAPOGNA	G. PIAZZA
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE


1	PREMESSA	8
2	NORME E SPECIFICHE	8
3	MATERIALI	9
	3.1 Calcestruzzo per strutture interrato	9
	3.2 Calcestruzzo per travi in c.a. prefabbricato	9
	3.3 Miscela cementizia per micropali	10
	3.4 Acciaio per barre di armatura lenta	10
	3.5 Acciaio per tubo di armatura dei micropali	10
	3.6 Classe di esposizione e copriferro	11
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI	11
5	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	12
6	DESCRIZIONE DELLE OPERE – PORTALE FERROVIARIO	14
7	ANALISI DEI CARICHI – PORTALE FERROVIARIO	15
	7.1 Peso proprio delle strutture in cemento armato	15
	7.2 Peso proprio della pavimentazione stradale	15
	7.3 Peso proprio del terreno di ricoprimento sulla soletta superiore	15
	7.4 Carichi accidentali da traffico agenti sulla soletta di copertura	16
	7.5 Spinta laterale dei terreni	20
	7.6 Spinta laterale dovuta ai sovraccarichi permanenti	20
	7.7 Spinta laterale dovuta ai sovraccarichi accidentali	20
	7.8 Azione della frenatura.....	21
	7.9 Azione centrifuga	21
	7.10 Ritiro della soletta di copertura	22
	7.11 Azione termica longitudinale	23
	7.12 Azione termica differenziale	23
	7.13 Urto da traffico ferroviario.....	23
8	AZIONE SISMICA – PORTALE FERROVIARIO	24
	8.1 Azione inerziale delle masse	24
	8.2 Sovrappinta dinamica dei terreni	24
9	COMBINAZIONI DI CARICO – PORTALE FERROVIARIO	26
	9.1 Combinazioni di carico statiche allo SLU	26
	9.2 Combinazioni di carico statiche allo SLE	27
	9.3 Combinazioni di carico sismiche	27

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	


9.1	Riepilogo delle combinazioni di carico.....	28
9.1.1	Combinazioni allo Stato Limite Ultimo.....	28
9.1.2	Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Rare.....	29
9.1.3	Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Frequenti	29
9.1.4	Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Quasi Permanenti	29
9.1.5	Combinazioni sismiche	29
10	MODELLO DI CALCOLO - PORTALE FERROVIARIO	30
10.1	Definizione del modello di calcolo	30
10.2	Applicazione dei carichi.....	35
10.2.1	Carichi permanenti dovuti al peso della pavimentazione stradale	35
10.2.2	Carichi permanenti dovuti al peso del terreno di ricoprimento.....	35
10.2.3	Spinta del terreno sul ritto sinistro + sovraspinta dovuta ai carichi permanenti	36
10.2.4	Spinta del terreno sul ritto destro + sovraspinta dovuta ai carichi permanenti.....	36
10.2.5	Azione del ritiro sulla soletta superiore	37
10.2.6	Spinta del sovraccarico accidentale sul ritto sinistro	37
10.2.7	Spinta del sovraccarico accidentale sul ritto destro.....	38
10.2.8	Azione orizzontale della frenatura sulla soletta superiore	38
10.2.9	Azione orizzontale della forza centrifuga sulla soletta superiore	39
10.2.10	Sovraspinta dinamica del terreno sul ritto sinistro (sisma +X).....	39
10.2.11	Azione inerziale orizzontale della soletta (sisma +X)	40
10.2.12	Azione inerziale orizzontale sui ritti (sisma +X).....	40
10.2.13	Azione inerziale orizzontale dei carichi permanenti portati (sisma +X).....	41
10.2.14	Sovraspinta dinamica del terreno sul ritto destro (sisma -X)	41
10.2.15	Azione inerziale orizzontale della soletta (sisma -X)	42
10.2.16	Azione inerziale orizzontale sui ritti (sisma -X).....	42
10.2.17	Azione inerziale orizzontale dei carichi permanenti portati (sisma -X)	43
10.2.18	Azione inerziale verticale della soletta (sisma +Z)	43
10.2.19	Azione inerziale verticale della soletta (sisma -Z)	44
10.2.20	Azione inerziale verticale dei carichi permanenti portati (sisma +Z).....	44
10.2.21	Azione inerziale verticale dei carichi permanenti portati (sisma -Z).....	45
11	VALUTAZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI - PORTALE FERROVIARIO.....	46
11.1	Diagramma dell'azione assiale.....	46
11.1	Diagramma del momento flettente	46
11.1	Diagramma dell'azione tagliante	47

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	


12 SOLETTA SUPERIORE - VERIFICA STRUTTURALE - PORTALE FERROVIARIO	48
12.1 Sezioni di verifica ed armatura di calcolo	48
12.2 Verifica allo Stato Limite Ultimo per flessione.....	50
12.2.1 Verifica a filo ritto (Momento negativo) – Sezione S1.....	50
12.2.2 Verifica a filo ritto (Momento positivo) – Sezione S1	51
12.2.3 Verifica in mezzeria (Momento positivo max) – Sezione S2.....	52
12.1 Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio	53
12.1 Verifica allo Stato Limite di fessurazione	54
12.1.1 Verifica a filo ritto – Sezione S1	55
12.1.2 Verifica in mezzeria (Momento positivo max) – Sezione S2.....	59
12.2 Verifiche allo stato limite di limitazione delle tensioni.....	63
12.2.1 Combinazione Rara.....	64
12.2.2 Combinazione Quasi permanente	67
13 RITTI - VERIFICA STRUTTURALE - PORTALE FERROVIARIO	69
13.1 Sezioni di verifica ed armatura di calcolo	69
13.2 Verifiche allo Stato Limite Ultimo per presso-flessione.....	70
13.2.1 Verifica Sezione di Testa (P1)	70
13.2.2 Verifica Sezione di Mezzeria (P2).....	71
13.2.3 Verifica Sezione di Base (P3)	72
13.2.4 Riepilogo degli esiti delle verifiche	73
13.3 Verifiche allo Stato Limite Ultimo per taglio.....	74
13.3.1 Verifica Sezione di Testa (P1)	74
13.3.2 Verifica Sezione di Base (P3)	75
13.3.3 Riepilogo degli esiti delle verifiche	76
13.4 Verifiche allo Stato Limite di fessurazione	77
13.4.1 Sollecitazioni di calcolo.....	77
13.4.2 Verifica sezione di testa (P1) - Momento negativo	78
13.4.3 Verifica sezione di mezzeria (P2) - Momento negativo	80
13.4.4 Verifica sezione di mezzeria (P2) - Momento positivo.....	82
13.4.5 Verifica sezione di base (P3) - Momento negativo	84
13.4.6 Verifica sezione di base (P3) - Momento positivo	86
13.5 Verifiche allo stato limite di limitazione delle tensioni.....	88
14 ZATTERA DI FONDAZIONE – VERIFICHE STRUTTURALI – PORTALE FERROVIARIO	91
14.1 Verifica “tirante-puntone”	91

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	


14.2	Verifica a taglio.....	93
15	VERIFICA DEI MICROPALI DI FONDAZIONE – PORTALE FERROVIARIO	95
15.1	Individuazione delle stratigrafie di riferimento delle opere d’arti	95
15.2	Verifiche geotecniche e strutturali	95
15.2.1	Verifica a carico limite.....	95
15.2.2	Capacità portante per instabilità dell’equilibrio elastico	98
15.2.3	Verifiche alle forze orizzontali e verifica strutturale del micropalo	99
15.2.4	Verifica per forze orizzontali	102
16	DESCRIZIONE DELLE OPERE - SOTTOVIA.....	104
17	ANALISI DEI CARICHI – SOTTOVIA.....	105
17.1	Peso proprio delle strutture in cemento armato.....	105
17.2	Peso proprio della pavimentazione stradale	105
17.3	Peso proprio del terreno di ricoprimento sulla soletta superiore	105
17.4	Carichi accidentali da traffico agenti sulla soletta di copertura	105
17.5	Spinta laterale dei terreni	110
17.6	Spinta laterale dovuta ai sovraccarichi permanenti	110
17.7	Spinta laterale dovuta ai sovraccarichi accidentali.....	110
17.8	Azione della frenatura.....	111
17.9	Azione centrifuga	111
17.10	Ritiro della soletta di copertura.....	112
17.11	Azione termica longitudinale.....	113
17.12	Azione termica differenziale.....	113
18	AZIONE SISMICA – SOTTOVIA	114
18.1	Azione inerziale delle masse	114
18.2	Sovrappinta dinamica dei terreni	114
19	COMBINAZIONI DI CARICO – SOTTOVIA	116
19.1	Combinazioni di carico statiche allo SLU.....	116
19.2	Combinazioni di carico statiche allo SLE	117
19.3	Combinazioni di carico sismiche	117
19.4	Riepilogo delle combinazioni di carico.....	118
19.4.1	Combinazioni allo Stato Limite Ultimo.....	118
19.4.2	Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Rare.....	119
19.4.3	Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Frequenti	119
19.4.4	Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Quasi Permanenti	119

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	


19.4.5	Combinazioni sismiche	119
20	MODELLO DI CALCOLO - SOTTOVIA	120
20.1	Definizione del modello di calcolo	120
20.2	Applicazione dei carichi.....	122
20.2.1	Carichi permanenti dovuti al peso della pavimentazione stradale	122
20.2.2	Carichi permanenti dovuti al peso del terreno di ricoprimento.....	122
20.2.3	Spinta del terreno sul ritto sinistro + sovraspinta dovuta ai carichi permanenti	123
20.2.4	Spinta del terreno sul ritto destro + sovraspinta dovuta ai carichi permanenti.....	123
20.2.5	Azione del ritiro sulla soletta superiore	124
20.2.6	Spinta del sovraccarico accidentale sul ritto sinistro	124
20.2.7	Spinta del sovraccarico accidentale sul ritto destro.....	125
20.2.8	Azione orizzontale della frenatura sulla soletta superiore	125
20.2.9	Azione orizzontale della forza centrifuga sulla soletta superiore	126
20.2.10	Sovraspinta dinamica del terreno sul ritto sinistro (sisma +X).....	126
20.2.11	Azione inerziale orizzontale della soletta (sisma +X)	127
20.2.12	Azione inerziale orizzontale della fondazione (sisma +X)	127
20.2.13	Azione inerziale orizzontale sui ritti (sisma +X).....	128
20.2.14	Azione inerziale orizzontale dei carichi permanenti portati (sisma +X).....	128
20.2.15	Sovraspinta dinamica del terreno sul ritto destro (sisma -X)	129
20.2.16	Azione inerziale orizzontale della soletta (sisma -X)	129
20.2.17	Azione inerziale orizzontale della fondazione (sisma -X)	130
20.2.18	Azione inerziale orizzontale sui ritti (sisma -X).....	130
20.2.19	Azione inerziale orizzontale dei carichi permanenti portati (sisma -X)	131
20.2.20	Azione inerziale verticale della soletta (sisma +Z)	131
20.2.21	Azione inerziale verticale della soletta (sisma -Z)	132
20.2.22	Azione inerziale verticale della fondazione (sisma +Z)	132
20.2.23	Azione inerziale verticale della fondazione (sisma -Z)	133
20.2.24	Azione inerziale verticale dei carichi permanenti portati (sisma +Z).....	133
20.2.25	Azione inerziale verticale dei carichi permanenti portati (sisma -Z).....	134
21	VALUTAZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI - SOTTOVIA.....	135
21.1	Diagramma dell'azione assiale.....	135
21.2	Diagramma del momento flettente.....	135
21.3	Diagramma dell'azione tagliante	136
22	SOLETTA SUPERIORE - VERIFICA STRUTTURALE - SOTTOVIA.....	137

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

22.1	Sezioni di verifica ed armatura di calcolo	137
22.2	Verifica allo Stato Limite Ultimo per flessione.....	138
22.2.1	Verifica a filo ritto (Momento negativo) – Sezione S1.....	138
22.2.2	Verifica a filo ritto (Momento positivo) – Sezione S1	139
22.2.3	Verifica in campata (Momento positivo max) – Sezione S2	140
22.3	Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio.....	141
22.4	Verifica allo Stato Limite di fessurazione	142
22.4.1	Verifica a filo ritto (Momento negativo) – Sezione S1.....	143
22.4.2	Verifica in campata (Momento positivo max) – Sezione S2	145
22.5	Verifiche allo stato limite di limitazione delle tensioni.....	147
22.5.1	Combinazione Rara.....	148
22.5.2	Combinazione Quasi permanente	150
23	RITTI - VERIFICA STRUTTURALE - SOTTOVIA	152
23.1	Sezioni di verifica ed armatura di calcolo	152
23.2	Verifiche allo Stato Limite Ultimo per presso-flessione.....	153
23.2.1	Verifica Sezione di Testa (P1)	153
23.2.2	Verifica Sezione di Mezzeria (P2).....	154
23.2.3	Verifica Sezione di Base (P3)	155
23.2.4	Riepilogo degli esiti delle verifiche	156
23.3	Verifiche allo Stato Limite Ultimo per taglio.....	157
23.3.1	Verifica Sezione di Base (P3)	157
23.3.2	Verifica Sezione di Testa (P1)	158
23.3.3	Riepilogo degli esiti delle verifiche	159
23.4	Verifiche allo Stato Limite di fessurazione.....	160
23.4.1	Sollecitazioni di calcolo.....	160
23.4.2	Verifica sezione di testa (P1) - Momento negativo.....	161
23.4.3	Verifica sezione di mezzeria (P2) - Momento negativo	163
23.4.4	Verifica sezione di base (P3) - Momento negativo	165
23.5	Verifiche allo stato limite di limitazione delle tensioni.....	168
24	SOLETTA DI FONDAZIONE - VERIFICA STRUTTURALE - SOTTOVIA.....	171
24.1	Sezioni di verifica ed armatura di calcolo	171
24.2	Verifica allo Stato Limite Ultimo per flessione.....	172
24.2.1	Verifica a filo ritto (Momento positivo)- Sezione F1	172
24.2.2	Verifica a filo ritto (Momento negativo) – Sezione F1.....	173

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

24.2.3 Verifica in campata (Momento negativo max) -Sezione F2	174
24.3 Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio	175
24.4 Verifica allo Stato Limite di fessurazione	176
24.4.1 Verifica a filo ritto (Momento positivo) – Sezione F1	177
24.4.2 Verifica in campata (Momento negativo max) – Sezione F2	179
24.5 Verifiche allo stato limite di limitazione delle tensioni.....	181
24.5.1 Combinazione Rara.....	182
24.5.2 Combinazione Quasi permanente	184

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	


1 PREMESSA

La presente relazione riporta il dimensionamento e le verifiche delle strutture in cemento armato della galleria artificiale ferroviaria "B" con dimensioni nette pari a 13.00 x 7.35 m ed il sottovia affiancato al km 1+360 (Asse D) con dimensioni nette pari a 8.00 x 6.75 m nell'ambito del progetto esecutivo "S.S. 291 "Della Nurra" - Lavori di costruzione del Lotto 1 da Alghero a Olmedo, in località bivio cantoniera di Rudas (completamento collegamento Alghero-Sassari) e del Lotto 4 tra bivio Olmedo e l'aeroporto di Alghero-Fertilia (bretella per l'aeroporto)".

2 NORME E SPECIFICHE

La redazione dei calcoli avverrà secondo le prescrizioni della seguente normativa ed in particolare:

- Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni approvate con D.M del 14.1.2008;
- Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" approvate con D.M del 14.1.2008" - Circolare 02.2.2009;
- UNI EN 1992-1-1:2005, Eurocodice 2: "Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Parte 1.1: Regole generali e regole per gli edifici";
- UNI EN 1998-2:2006, "Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 2: Ponti";
- Norma UNI EN 206-1:2006 "Calcestruzzo - Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità";
- UNI EN 1997-1 "Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali"
- Legge 5.11.71 n.1086 "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

3 MATERIALI

3.1 Calcestruzzo per strutture interrato


Per le strutture interrato è stato considerato un calcestruzzo con classe di resistenza **C32/40** con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Classe di resistenza del calcestruzzo	C32/40	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	R_{ck}	40 N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	f_{ck}	32 N/mm ²
Resistenza cilindrica media a compressione a 28 gg	f_{cm}	40.0 N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	18.13 N/mm ²
Resistenza media a trazione	f_{ctm}	3.02 N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione	f_{ctk}	2.12 N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione	f_{ctd}	1.41 N/mm ²
Modulo elastico medio	E_{cm}	33345.8 N/mm ²
Coefficiente di Poisson	ν	0.2 -
Coefficiente di dilatazione termica	α	1.00E-05 °C ⁻¹

3.2 Calcestruzzo per travi in c.a. prefabbricato

Per le travi in c.a. prefabbricato è stato considerato un calcestruzzo con classe di resistenza **C40/50** con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Classe di resistenza del calcestruzzo	C40/50	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	R_{ck}	50 N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	f_{ck}	40 N/mm ²
Resistenza cilindrica media a compressione a 28 gg	f_{cm}	48.0 N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	22.67 N/mm ²
Resistenza media a trazione	f_{ctm}	3.51 N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione	f_{ctk}	2.46 N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione	f_{ctd}	1.64 N/mm ²
Modulo elastico medio	E_{cm}	35220.5 N/mm ²
Coefficiente di Poisson	ν	0.2 -
Coefficiente di dilatazione termica	α	1.00E-05 °C ⁻¹

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

3.3 Miscela cementizia per micropali

Per la miscela cementizia dei micropali è stata considerata una classe di resistenza **C25/30** con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Classe di resistenza del calcestruzzo	C25/30	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	R_{ck}	30 N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	f_{ck}	25 N/mm ²
Resistenza cilindrica media a compressione a 28 gg	f_{cm}	33.0 N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	14.17 N/mm ²
Resistenza media a trazione	f_{ctm}	2.56 N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione	f_{ctk}	1.80 N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione	f_{ctd}	1.20 N/mm ²
Modulo elastico medio	E_{cm}	31475.8 N/mm ²
Coefficiente di Poisson	ν	0.2 -
Coefficiente di dilatazione termica	α	1.00E-05 °C ⁻¹


3.4 Acciaio per barre di armatura lenta

Per le armature lente delle strutture in cemento armato è stato considerato un acciaio tipo **B450C** con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Tipologia di acciaio	B450C	
Resistenza caratteristica a rottura	f_{tk}	540 N/mm ²
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	450 N/mm ²
Tensione di snervamento di calcolo ($\gamma_c = 1.15$)	f_{yd}	391.3 N/mm ²
Modulo elastico istantaneo	E_s	210000.00 N/mm ²

3.5 Acciaio per tubo di armatura dei micropali

Acciaio in profili a sezione cava	EN 10210-1 S355 JOH+N	
Resistenza caratteristica a rottura	f_{tk}	510 N/mm ²
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	355 N/mm ²
Modulo elastico istantaneo	E_s	210000.00 N/mm ²

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

3.6 Classe di esposizione e copriferro

Per le parti d'opera contro terra (bordo esterno della struttura) si assume una classe di esposizione XA1, corrispondente a condizioni ambientali "aggressive".

Per le parti d'opera fuori terra (bordo interno della struttura), si assume una classe di esposizione XC3, corrispondente a condizioni ambientali "ordinarie".

Si adotta un valore del copriferro pari a 45 mm per le elevazioni, le solette e i getti integrativi; si adotta un valore del copriferro pari a 30 mm per le travi prefabbricate.

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

I parametri geotecnici presi a riferimento per i terreni sono:

- **Terreno di ricoprimento**

$$\phi = 35^\circ$$

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 0 \text{ kN/m}^2$$

- **Terreno di rinfilanco**

$$\phi = 35^\circ$$

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 0 \text{ kN/m}^2$$

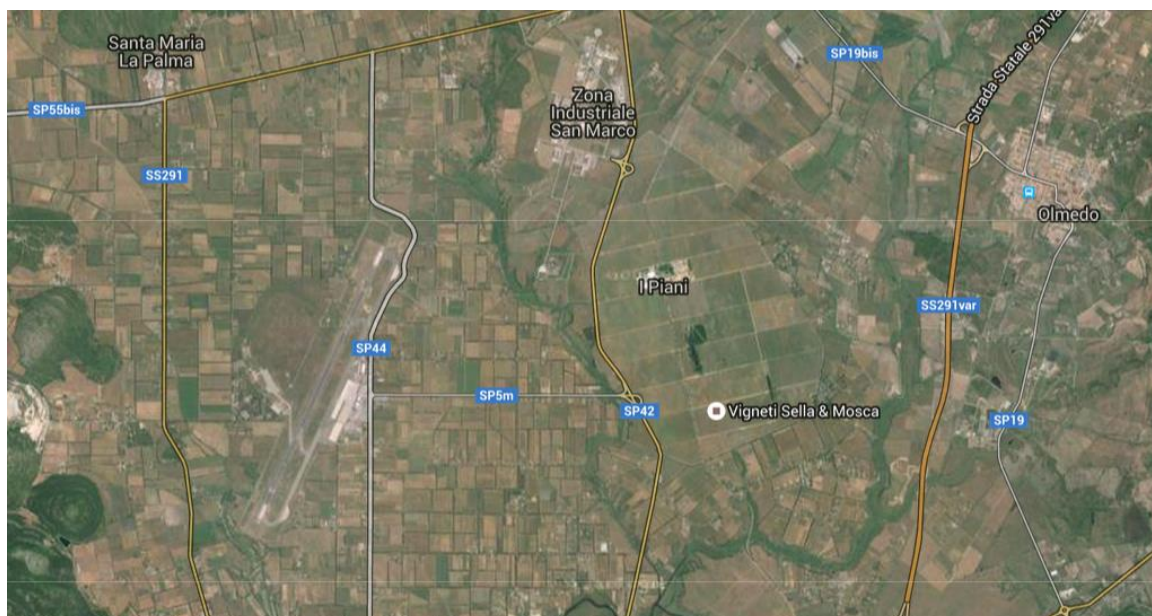
Per la valutazione dell'interazione tra terreno e struttura è stata considerata una costante di sottofondo orizzontale del terreno pari a $k_{\text{orizz}} = 18750 \text{ kN/m}^3$, ed una costante di sottofondo verticale pari a $k_{\text{vert}} = 20000 \text{ kN/m}^3$.

Il valore di k è stato considerato costante lungo l'intero sviluppo longitudinale del manufatto.

Sono state considerate condizioni di falda assente.

5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

L'area oggetto del presente intervento ricade all'interno del territorio del Comune di Alghero.




Secondo quanto riportato nel D.M. 14.01.2008 “Nuove norme Tecniche per le Costruzioni”, par. 2.4, sono stati definiti i seguenti parametri sismici della struttura:

- Vita nominale della struttura: $V_N = 50$ anni
- Classe d'uso della struttura: **IV**
- Coefficiente d'uso della struttura: $C_U = 2,00$
- Periodo di ritorno per l'azione sismica: $V_R = V_N \times C_U = 50 \times 2,00 = 100$ anni

Di seguito sono riportati i valori dei principali parametri sismici caratteristici del sito in oggetto e del periodo di ritorno dell'evento sismico:

<u>PARAMETRI DI PERICOLOSITA' SISMICA</u>				
Stato limite	T_r	a_g/g	F_o	T_c
	[anni]	[-]	[-]	[s]
Operatività	60	0.025	2.67	0.299
Danno	101	0.031	2.73	0.307
Salvaguardia Vita	949	0.060	2.98	0.371
Prevenzione Collasso	1950	0.071	3.06	0.393

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Sulla base della relazione geologica il terreno di fondazione è stato classificato come di **classe B**, cui corrisponde un coefficiente stratigrafico **S_S = 1.20**.

Categoria sottosuolo	S _S
A	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$

Dal punto di vista topografico il sito rientra nella categoria topografica **T1**, cui corrisponde un coefficiente topografico **S_T = 1,00**.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S _T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Si ipotizza un comportamento elastico della struttura, cioè un comportamento non dissipativo, che non richiede i particolari costruttivi di cui al capitolo 7 delle NTC 2008; per le verifiche strutturali vengono, di conseguenza, utilizzate le regole espresse nel capitolo 4 delle NTC 2008.

6 DESCRIZIONE DELLE OPERE – PORTALE FERROVIARIO

Il portale è composto da piedritti in cemento armato gettato in opera ed una soletta composta da travi prefabbricate a “T” con un getto di completamento in cemento armato. Presenta una sezione retta con dimensioni nette pari a 1300 x 735 cm. I ritri presentano uno spessore pari a 130 cm, mentre la soletta superiore presenta uno spessore complessivo pari a 110 cm (90 cm è l’altezza delle travi prefabbricate e 20 cm lo spessore del getto di completamento superiore). L’opera di fondazione della galleria ferroviaria è realizzata con un plinto su micropali di diametro $\phi=300\text{mm}$ che si sviluppa lungo i due muri per tutta la lunghezza del manufatto. Il plinto è largo 3.60 m ed alto 1.50 m. L’interasse fra i micropali è pari a 0.90 m.

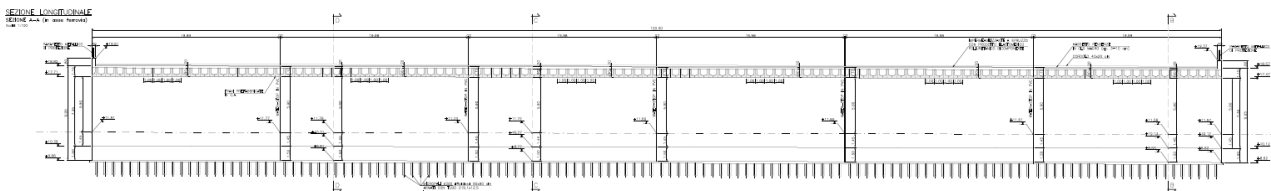


Figura 6-1: Sezione longitudinale

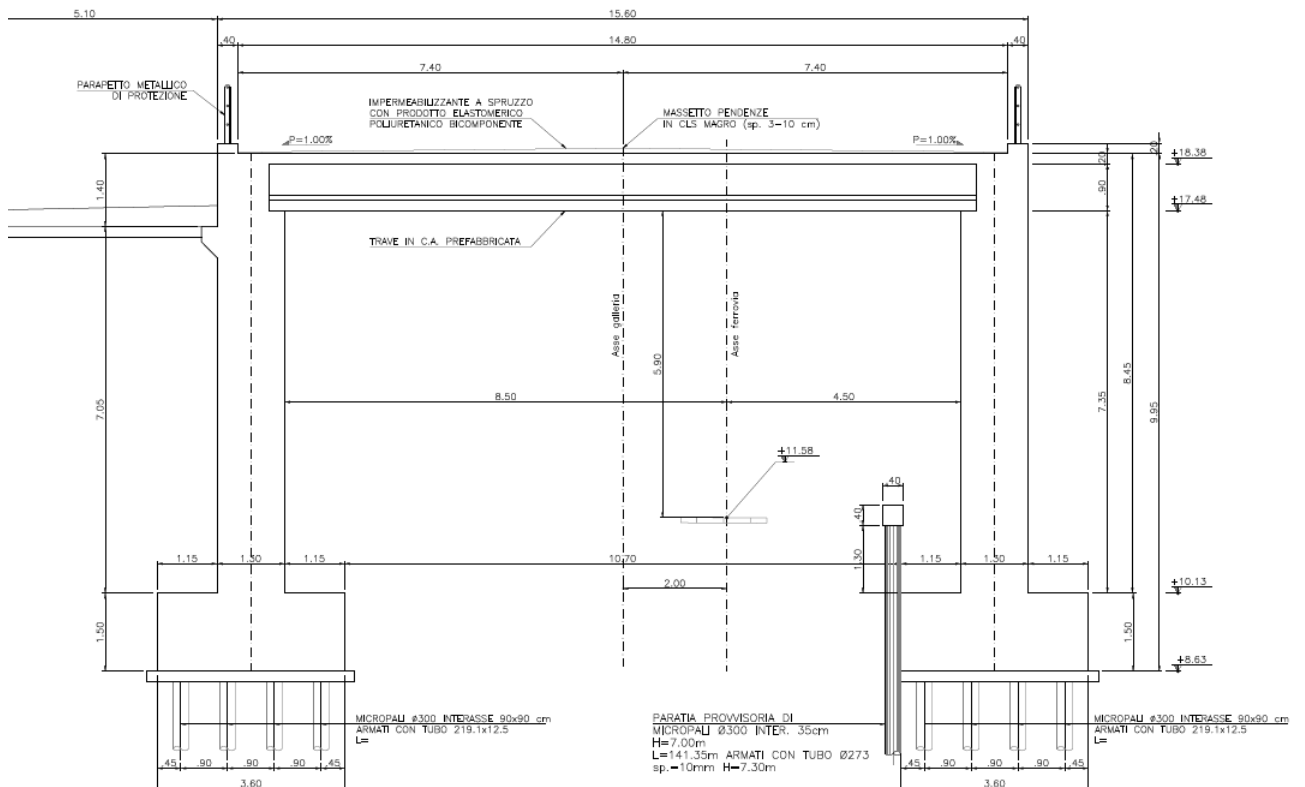


Figura 6-2: Sezione trasversale

La galleria è attraversata superiormente da un'arteria stradale, come mostrato nella figura seguente.
L'angolo di inclinazione tra l'asse della galleria e l'asse della strada è di circa 25°.

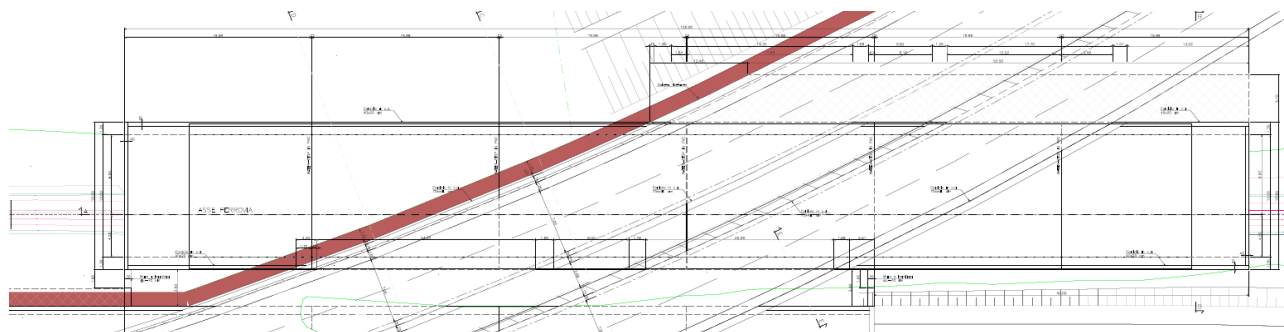


Figura 6-3: Planimetria galleria

7 ANALISI DEI CARICHI – PORTALE FERROVIARIO

7.1 Peso proprio delle strutture in cemento armato

Il peso per unità di volume delle strutture in cemento armato è assunto pari a $\gamma_{ca} = 25.0 \text{ kN/m}^3$.
Il peso proprio degli elementi strutturali è assegnato automaticamente dal programma di calcolo agli elementi finiti sulla base delle reali caratteristiche geometriche.

7.2 Peso proprio della pavimentazione stradale

Lo spessore medio della pavimentazione stradale è assunto pari a **50 cm**. Il peso per unità di volume della pavimentazione stradale è assunto pari a $\gamma_{pav} = 24.0 \text{ kN/m}^3$; conseguentemente, il peso per unità di superficie della pavimentazione risulta pertanto pari a:

$$p_{pav} = 0.50 \times 24.00 = 12.00 \text{ kN/m}^2.$$

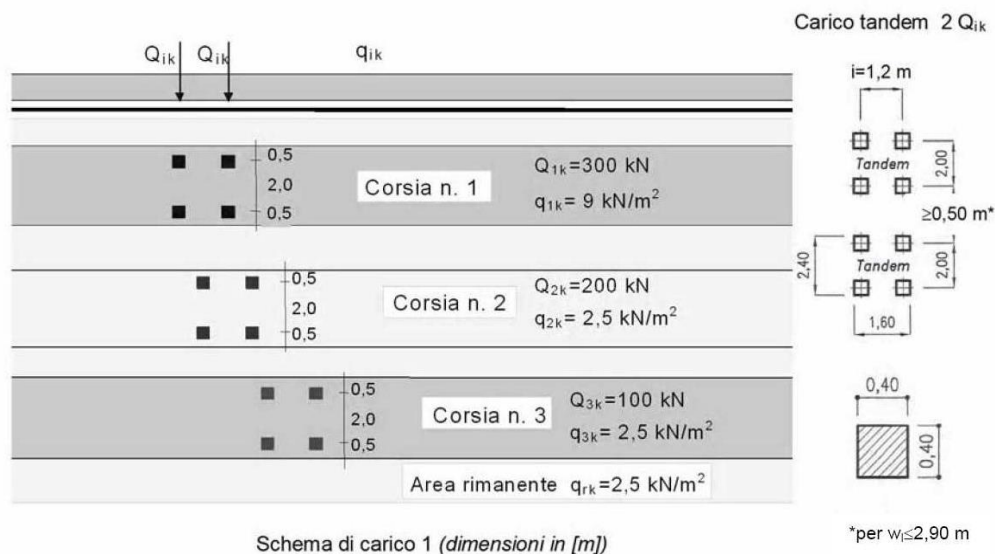
7.3 Peso proprio del terreno di ricoprimento sulla soletta superiore

Lo spessore medio dello strato di ricoprimento risulta pari a **120 cm**. Il peso per unità di volume del terreno di ricoprimento è assunto pari a $\gamma_{terreno} = 18.0 \text{ kN/m}^3$; conseguentemente, il peso per unità di superficie del terreno di ricoprimento risulta pertanto pari a:

$$p_{terreno} = 1.20 \times 18.00 = 21.60 \text{ kN/m}^2.$$

7.4 Carichi accidentali da traffico agenti sulla soletta di copertura

I carichi accidentali da traffico agenti sulla soletta di copertura sono stati valutati secondo lo schema n.1 proposto dal D.M. 14.01.2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni al paragrafo 5.1.3.3.5 e riportato nell’immagine seguente.




Con riferimento a tale schema, le azioni variabili da traffico, comprensive degli effetti dinamici, sono descritte nel seguito:

- corsia n.1 costituita da un automezzo convenzionale Q_{1k} di 600 kN dotato di 2 assi di 2 ruote ciascuno, distanti 1.20 m in senso longitudinale e con interasse delle ruote in senso trasversale di 2.00 m e un carico ripartito q_{1k} di 9 kN/m²;
- corsia n.2, analoga alla precedente, ma con carichi pari rispettivamente a 400 kN (automezzo convenzionale Q_{2k}) e 2.5 kN/m² (carico ripartito q_{2k});
- zona rimanente, occupata da una colonna di carico $q_{rk} = 2.5 \text{ kN/m}^2$ nella zona di carreggiata non impegnata dai carichi precedenti.

La larghezza delle corsie convenzionali è pari a 3.00 m. Nel caso in esame, sulla soletta superiore dell’opera in esame, transita una strada costituita da due carreggiate, ciascuna larga circa 7.00 m, e separate da una zona centrale larga circa 5.60 m. Il numero di corsie convenzionali, per ciascuna carreggiata, è quindi pari a 2, più una zona rimanente.

I carichi concentrati (carichi tandem) vengono diffusi fino alla linea media della soletta superiore secondo i seguenti angoli:

- pavimentazione stradale: 45°

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

- terreno di ricoprimento: 30°
- soletta di copertura in cemento armato: 45°

Valutazione della diffusione dei carichi mobili concentrati stradali - corsia convenzionale n° 1

Q_{k1}	600	kN	Carico concentrato stradale
a	1.6	m	Dimensione dell'area di impronta in direzione parallela al traffico
b	2.4	m	Dimensione dell'area di impronta in direzione perpendicolare al traffico
h_1	0.5	m	Spessore della pavimentazione
α_1	45	°	Angolo di diffusione del carico attraverso la pavimentazione stradale
h_2	1.2	m	Spessore del terreno di ricoprimento
α_2	30	°	Angolo di diffusione del carico attraverso il terreno di ricoprimento
h_3	1.1	m	Spessore della soletta superiore
α_3	45	°	Angolo di diffusione attraverso la soletta superiore
$Q_{k1,diff}$	39.3	kN/m ²	Carico concentrato stradale diffuso fino alla linea media della soletta superiore
a_{diff}	5.09	m	Dimensione dell'area di diffusione in direzione parallela al traffico
b_{diff}	3.00	m	Dimensione dell'area di diffusione in direzione perpendicolare al traffico

Valutazione della diffusione dei carichi mobili concentrati stradali - corsia convenzionale n° 2

Q_{k2}	400	kN	Carico concentrato stradale
a	1.6	m	Dimensione dell'area di impronta in direzione parallela al traffico
b	2.4	m	Dimensione dell'area di impronta in direzione perpendicolare al traffico
h_1	0.5	m	Spessore della pavimentazione
α_1	45	°	Angolo di diffusione del carico attraverso la pavimentazione stradale
h_2	1.2	m	Spessore del terreno di ricoprimento
α_2	30	°	Angolo di diffusione del carico attraverso il terreno di ricoprimento
h_3	1.1	m	Spessore della soletta superiore
α_3	45	°	Angolo di diffusione attraverso la soletta superiore
$Q_{k2,diff}$	26.2	kN/m ²	Carico concentrato stradale diffuso fino alla linea media della soletta superiore
a_{diff}	5.09	m	Dimensione dell'area di diffusione in direzione parallela al traffico
b_{diff}	3.00	m	Dimensione dell'area di diffusione in direzione perpendicolare al traffico

La superficie di diffusione, valutata in corrispondenza del piano medio della soletta di copertura, presenta una lunghezza pari a **5.09 m** ed una larghezza pari a **3.00 m** (la dimensione della superficie di diffusione in direzione perpendicolare al traffico è stata limitata a 3.00 m a favore di sicurezza). Sulla base di tale diffusione il carico concentrato Q_{k1} produce un carico per unità di superficie sul piano medio della soletta di

copertura pari a **39.3 kN/m²**; il carico concentrato Q_{k2} produce un carico per unità di superficie pari a **26.2 kN/m²**.

Poiché la strada attraversa in modo obliquo la galleria (l'angolo tra l'asse della galleria e l'asse stradale è pari a circa 25°), ne consegue che su una striscia di larghezza unitaria della soletta superiore della galleria possano gravare contemporaneamente più carichi tandem, come mostrato nella figura seguente.

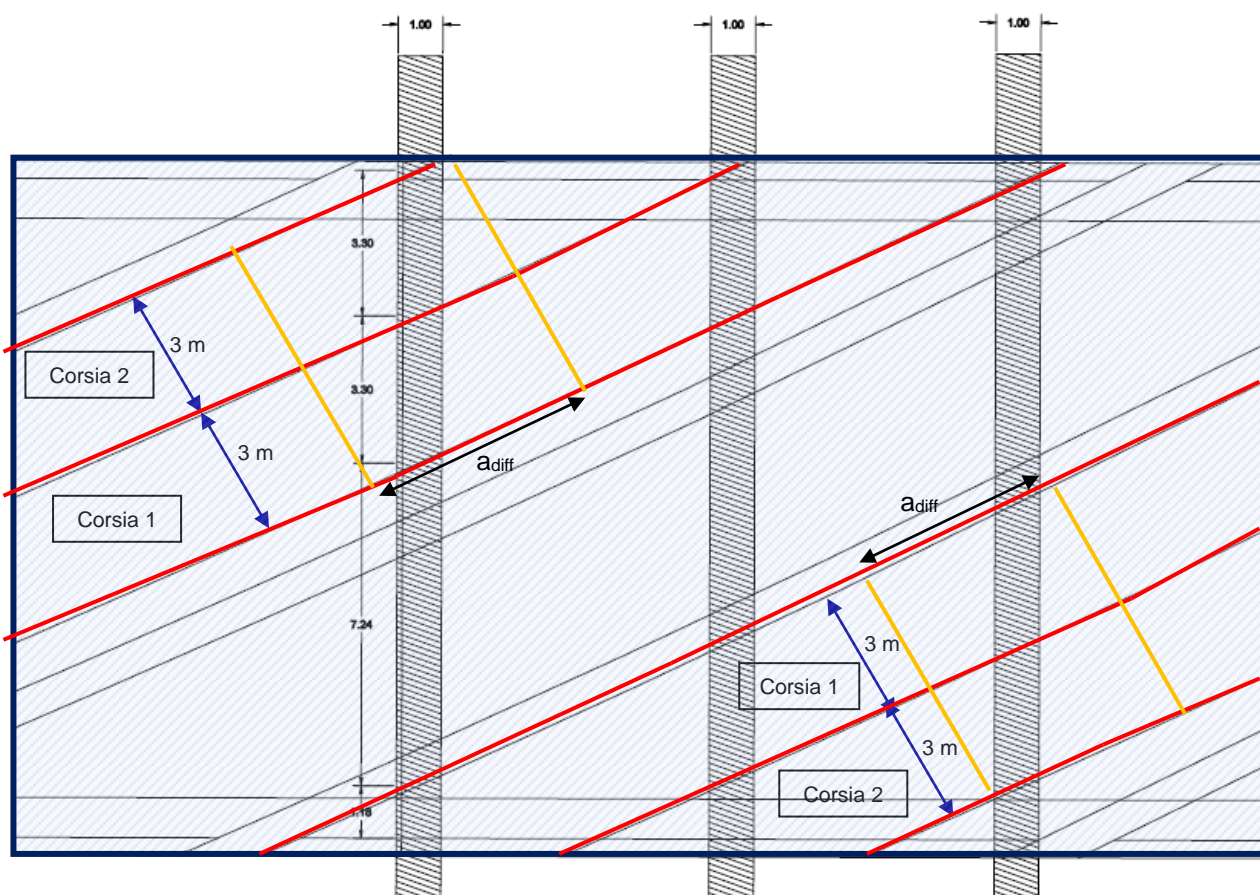


Figura 7-1: Individuazione della possibile contemporaneità dei carichi tandem sulla struttura

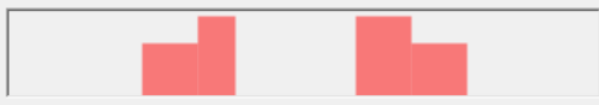
Per tenere conto della possibile contemporaneità di più carichi tandem a seconda della posizione della striscia unitaria considerata, tali carichi sono stati introdotti nel modello come carichi mobili, secondo lo schema mostrato in figura 8-2.

Ai carichi concentrati diffusi, su ciascuna delle corsie convenzionali, si aggiungono i carichi distribuiti $q_{1k} = 9.00 \text{ kN/m}^2$ e $q_{2k} = 2.5 \text{ kN/m}^2$, più il carico distribuito sulla zona rimanente pari anch'esso a **2.5 kN/m²**. La zona centrale tra le due carreggiate viene considerata altresì caricata, a favore di sicurezza, con un carico distribuito pari a **2.5 kN/m²**.

Per le stesse considerazioni relative ai carichi tandem, anche i carichi distribuiti sono stati introdotti nel modello come carichi mobili, secondo lo schema mostrato in figura 8-3.

S Vehicle Data ×

Vehicle name: Carichi_TS Units: KN, m, C

Load Elevation: 

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	3.3		39.3	0.
Leading Load	Infinite		0.	0.
Fixed Length	3.3		26.2	0.
Fixed Length	2.2		39.3	0.
Fixed Length	7.25		0.	0.
Fixed Length	3.3		39.3	0.
Fixed Length	3.3		26.2	0.
Trailing Load	Infinite		0.	0.

Buttons: Add, Insert, **Modify**, Delete

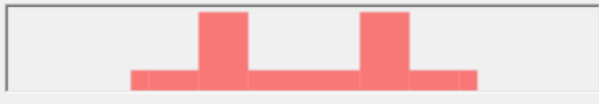
Vehicle Remains Fully In Path

Buttons: OK, Cancel

Figura 7-2: Definizione dei carichi tandem nel modello di calcolo

S Vehicle Data ×

Vehicle name: Carichi_UDL Units: KN, m, C

Load Elevation: 

Loads


Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Leading Load	Infinite		0.	0.
Leading Load	Infinite		0.	0.
Fixed Length	1.2		2.5	0.
Fixed Length	3.3		2.5	0.
Fixed Length	3.3		9.	0.
Fixed Length	7.25		2.5	0.
Fixed Length	3.3		9.	0.
Fixed Length	3.3		2.5	0.

Buttons: Add, Insert, **Modify**, Delete

Vehicle Remains Fully In Path

Buttons: **OK**, Cancel

Figura 7-3: Definizione dei carichi distribuiti nel modello di calcolo

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

7.5 Spinta laterale dei terreni

La spinta del terreno sulle pareti laterali del sottovia è stata calcolata mediante la seguente relazione:

$$S_t = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot k \cdot H^2$$

dove:

- γ è il peso per unità di volume del terreno;
- k è il coefficiente di spinta del terreno;
- H è l'altezza complessiva del tratto di struttura sottoposto all'azione di spinta.

Per la valutazione della spinta dei terreni sulle pareti verticali del sottovia sono state considerate condizioni di riposo; viene quindi assunto per la determinazione della spinta il coefficiente di spinta a riposo k_0 , calcolato mediante la seguente relazione:

$$k_0 = 1 - \text{sen}(\varphi) = 1 - \text{sen}(35^\circ) = 0.426$$

Relativamente all'applicazione della spinta, nei calcoli si considerano due possibili scenari: spinta agente solo da un lato e spinta agente da entrambi i lati della struttura.

7.6 Spinta laterale dovuta ai sovraccarichi permanenti

La spinta dovuta ai sovraccarichi permanenti viene valutata mediante la seguente relazione:

$$S_{cp} = p \cdot k \cdot H$$

dove:

- p è l'entità del sovraccarico permanente agente sul piano medio della soletta di copertura (peso della pavimentazione e del terreno di ricoprimento) pari a **33.60 kN/m²**;
- k è il coefficiente di spinta del terreno.

Il coefficiente di spinta viene determinato come mostrato nel paragrafo precedente in funzione delle condizioni del terreno assunte.


7.7 Spinta laterale dovuta ai sovraccarichi accidentali

La spinta dovuta ai sovraccarichi accidentali viene valutata mediante la seguente relazione:

$$S_{cq} = q \cdot k \cdot H$$

dove:

- q è l'entità del sovraccarico uniforme equivalente al carico variabile stradale sul rilevato assunto pari a **$\Delta q = 20 \text{ kN/m}^2$** ;

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

- k è il coefficiente di spinta del terreno.

Il coefficiente di spinta viene determinato come mostrato nel paragrafo precedente in funzione delle condizioni del terreno assunte.

7.8 Azione della frenatura

L'azione della frenatura è stata valutata mediante la seguente relazione:

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0,6 \cdot (2 \cdot Q_{1k}) + 0,10 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN}$$

Nel caso in esame, si ha:

$$q_3 = 0.6 \times (2 \times 300) + 0.10 \times 9 \times 3 \times 22.1 = 419.6 \text{ kN},$$

avendo considerato una lunghezza L della zona caricata pari a 22.1 m, ottenuta proiettando la lunghezza di un singolo blocco del portale ferroviario (20.00 m) lungo l'asse stradale, considerando un angolo di 25° tra l'asse della galleria e quello della strada.

L'azione frenante viene quindi diffusa trasversalmente all'asse stradale su una larghezza di 3.00 m e poi scomposta nelle componenti parallela e ortogonale all'asse ferroviario. L'opera viene dimensionata tenendo conto solo dell'azione ortogonale al portale.

$$q_{3_orto} = (q_3 / 3.00 \text{ m}) \times \sin(25^\circ) = 59.11 \text{ kN/m}$$

Infine, si divide q_{3_orto} per la larghezza del portale (15.60 m), ottenendo:

$$q_{frenatura} = 59.11 / 15.60 = 3.79 \text{ kN/m}^2.$$


7.9 Azione centrifuga

L'azione centrifuga è stata valutata mediante la seguente relazione:

$$q_4 = 40 Q_v / R$$

dove:

- Q_v è il carico totale degli assi tandem dello schema di carico 1 agente sul ponte;
- R è il raggio di curvatura, assunto pari a circa 590m.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Raggio di curvatura [m]	q_4 [kN]
$R < 200$	$0,2 Q_v$
$200 \leq R \leq 1500$	$40 Q_v/R$
$1500 \leq R$	0

Si ottiene $q_4 = 40 \times (600+400)/590 = 67.80$ kN.

L'azione centrifuga, agente in direzione normale rispetto all'asse stradale, viene diffusa parallelamente a quest'ultimo su una larghezza di 5.09 m (si ipotizza che la diffusione avvenga con la stessa larghezza calcolata per il carico tandem) e poi scomposta nelle componenti parallela e ortogonale all'asse ferroviario. L'opera viene dimensionata tenendo conto solo dell'azione ortogonale al portale.

$$q_{4_orto} = (q_4 / 5.09 \text{ m}) \times \cos(25^\circ) = 12.08 \text{ kN/m}$$

Infine, si divide q_{4_orto} per la larghezza del portale (15.60 m), ottenendo:

$$q_{centrifuga} = 12.08/15.60 = 0.85 \text{ kN/m}^2.$$

7.10 Ritiro della soletta di copertura

Si riporta il calcolo della deformazione da ritiro della soletta di copertura.

Ambiente


RH = umidità relativa % 75

Materiale

f_{ck} = resistenza caratteristica cilindrica soletta MPa 32
 E = modulo elastico calcestruzzo MPa 33346
 tipo di cemento N

Geometria

L =	larghezza dell'impalcato	m	15.6
s =	spessore medio della soletta	m	1.1
A_c =	area della sezione trasversale del getto di cls	m ²	17.16
u =	perimetro della soletta a contatto con l'atmosfera	m	13.00
h_0 =	dimensione fittizia dell'elemento	mm	2640
k_h =	coefficiente di influenza di h_0		0.70

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Ritiro

$\epsilon_{cd,0}$ =	deformazione da ritiro per essiccamento	0.000311
β_{RH} =	coefficiente di influenza dell'umidità relativa	0.90
α_{ds1} =	coefficiente 1 di influenza del tipo di cemento	4
α_{ds2} =	coefficiente 2 di influenza del tipo di cemento	0.12
ϵ_{cd} =	deformazione da ritiro per essiccamento della soletta	0.00022
ϵ_{ca} =	deformazione da ritiro autogeno	0.00006
ϵ_{cs} =	deformazione da ritiro	0.00027

Il ritiro viene applicato alla soletta come una contrazione termica uniforme equivalente.

Il coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo è assunto pari a:

$$\alpha_T = 10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}.$$

Il gradiente termico associato alla deformazione finale da ritiro risulta pari a:

$$\Delta T = \epsilon_{cs}(t-t_s) / \alpha_T = -0.00027 / (10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}) = -27.27^{\circ}.$$

Poiché il fenomeno del ritiro è un fenomeno molto lento, si considera un gradiente termico equivalente pari a 1/3 del gradiente termico precedentemente determinato. Si ottiene pertanto:

$$\Delta T_{\text{ritiro}} = -27.27^{\circ} / 3 = -9.1^{\circ}$$

7.11 Azione termica longitudinale

Viene considerata un'azione termica uniforme agente sulla soletta di copertura del sottovia pari a **+/- 15°C**.

7.12 Azione termica differenziale


Si considera un'azione termica differenziale agente sulla soletta di copertura del sottovia pari a **+5°C**, assumendo che l'estradosso della soletta si mantenga sempre più caldo dell'intradosso.

7.13 Urto da traffico ferroviario

Le pareti laterali della galleria si trovano ad una distanza $d = 4.50 \text{ m} < 5 \text{ m}$ dall'asse del binario, per cui seguendo il § 3.6.3.4 delle NTC08 relativo agli urti da traffico ferroviario, si deve considerare una forza di 1500 kN in direzione perpendicolare alla direzione di marcia dei convogli ferroviari ed una forza di 4000 kN in direzione parallela.

Tali forze devono essere applicate a 1.80m dal piano ferro e non devono essere considerate agenti simultaneamente.

Tale azione è considerata come azione eccezionale.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

8 AZIONE SISMICA – PORTALE FERROVIARIO

Le sollecitazioni agenti sulla struttura in fase sismica vengono determinate attraverso un'analisi pseudo-statica, secondo quanto riportato nel DM 14.01.2008 "Nuove norme tecniche per le costruzioni".

8.1 Azione inerziale delle masse

Le azioni inerziali, orizzontali e verticali, dovute alle accelerazioni subite in fase sismica dalle masse degli elementi strutturali vengono valutate moltiplicando il peso degli elementi strutturali per i coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v .

Tali coefficienti sono valutati mediante le seguenti espressioni:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

in cui:

- β_m è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (nel caso in esame $\beta_m = 1$);
- a_{\max} è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- g è l'accelerazione di gravità.

Allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), si ha dunque:

- $k_h = 0.060 \times S = 0.060 \times 1.2 = 0.072$;
- $k_v = \pm 0.036$.

Oltre alle masse degli elementi strutturali, si devono portare in conto anche quelle associate ai carichi permanenti non strutturali (pavimentazione e terreno di ricoprimento) di pertinenza della soletta superiore del portale, pari a 33.6 kN/m².


8.2 Sovrappinta dinamica dei terreni

L'incremento dinamico di spinta del terreno, valutato con la formula di Wood, viene calcolato come:

$$\Delta P = \gamma \cdot a_g \cdot S \cdot H^2$$

dove:

- γ è il peso per unità di volume del terreno;
- a_g è l'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido nel sito in esame;
- S è pari al prodotto tra il coefficiente stratigrafico S_s e il coefficiente topografico S_T ;
- H è l'altezza della struttura soggetta alla spinta del terreno.


Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Allo Stato Limite di Salvaguardia della vita, si ha:

a_g	0.060	g
S	1.2	-
H	10.95	m

ΔP [kN/m]	155.39
q_{sismico} [kN/m²]	14.19

Questa pressione si considera applicata su un solo ritto, a seconda del verso in cui agisce l'azione sismica.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

9 COMBINAZIONI DI CARICO – PORTALE FERROVIARIO

9.1 Combinazioni di carico statiche allo SLU

Per le combinazioni di carico statiche relative alla struttura in oggetto si è fatto riferimento a quanto riportato nel capitolo 6 nel D.M. 14.01.2008 “Nuove norme tecniche per le costruzioni”. Sulla base di ciò sono state individuate due combinazioni di carico statiche allo Stato Limite Ultimo, ottenute tramite la relazione generale:

$$F_d = \sum_{j=1}^m (\gamma_{Gj} \cdot G_{kj}) + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{0i} \cdot \gamma_{Qi} \cdot Q_{ki})$$

dove:

- γ_G e γ_Q rappresentano i coefficienti parziali di amplificazione dei carichi;
- G_{kj} rappresenta il valore caratteristico della j-esima azione permanente;
- Q_{k1} rappresenta il valore caratteristico dell'azione variabile di base in ogni combinazione;
- Q_{ki} rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile;
- ψ_{0i} rappresentano i coefficienti di combinazione per tener conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i loro valori caratteristici.

I coefficienti di amplificazione dei carichi e di riduzione dei parametri geotecnici per le combinazioni di carico A1-M1 (usate per le verifiche strutturali), secondo il D.M. 14.01.2008 “Nuove norme tecniche per le costruzioni”, capitolo 5 e 6, punti 5.1.3.12 e 6.2.II, sono riepilogati nelle seguenti tabelle:

		Coefficiente	EQU ^(a)	A1	A2
Azioni permanenti g_1 e g_3	favorevoli	γ_{G1} e γ_{G3}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾ g_2	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}$, $\gamma_{\epsilon 3}$, $\gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

^(a) Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

⁽²⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente Ψ_0 di combi- nazione	Coefficiente Ψ_1 (valori frequentissimi)	Coefficiente Ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	--	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	γ_φ	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

9.2 Combinazioni di carico statiche allo SLE

Per le combinazioni di carico statiche relative allo stato limite di esercizio si è fatto riferimento a quanto riportato dal D.M. 14.01.2008 "Nuove Norme tecniche per le Costruzioni" al paragrafo 2.5.3.

9.3 Combinazioni di carico sismiche

In fase sismica è stata ipotizzata un'unica combinazione di carico allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, ottenuta tramite la relazione generale:

$$F_d = \gamma_E \cdot E + \sum_{j=1}^m (\gamma_{Gj} \cdot G_{kj}) + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{0i} \cdot \gamma_{Qi} \cdot Q_{ki})$$

dove:

- γ_E rappresenta il coefficiente parziale di amplificazione del carico sismico (posto pari a 1);
- E rappresenta il carico sismico;
- γ_G e γ_Q rappresentano i coefficienti parziali di amplificazione dei carichi;
- G_{kj} rappresenta il valore caratteristico della j-esima azione permanente;

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

- Q_{k1} rappresenta il valore caratteristico dell'azione variabile di base;
- Q_{ki} rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile;
- Ψ_{0i} rappresentano i coefficienti di combinazione per tener conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i loro valori caratteristici.

In condizioni sismiche, i coefficienti parziali sui parametri geotecnici del terreno sono unitari.

9.1 Riepilogo delle combinazioni di carico

9.1.1 Combinazioni allo Stato Limite Ultimo

COMBINAZIONI	AZIONI																	
	Peso proprio	Sovraccarico permanente	Spinta terre		Spinta sovracc perm		Ritiro	Carico mobile tandem	Carico mobile distribuito	Centrifuga	Frenatura	Spinta carico mobile		Termica	Sisma_Hsx	Sisma_Hdx	Sisma_V+	Sisma_V-
			sx	dx	sx	dx						sx	dx					
SLU01	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU02	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU03	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.35	1.35	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU04	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.0125	0.54	0	1.35	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU05	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.0125	0.54	1.35	0	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU06	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.0125	0.54	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0
SLU07	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU08	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU09	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.35	1.35	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU10	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	0	1.35	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU11	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	1.35	0	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU12	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0
SLU13	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.35	1.35	0	0	1.35	0	0.9	0	0	0	0
SLU14	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.0125	0.54	0	1.35	1.35	0	0.9	0	0	0	0
SLU15	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.0125	0.54	1.35	0	1.35	0	0.9	0	0	0	0
SLU16	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.0125	0.54	0	0	1.01	0	1.5	0	0	0	0
SLU17	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.35	1.35	0	0	1.35	1.35	0.9	0	0	0	0
SLU18	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	0	1.35	1.35	0.9	0	0	0	0	0
SLU19	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	1.35	0	1.35	1.35	0.9	0	0	0	0
SLU20	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	0	0	1.0125	1.0125	1.5	0	0	0	0
SLU21	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	0	0	0	0	1.35	0	0.9	0	0	0	0
SLU22	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	0	0	0	0	1.0125	0	1.5	0	0	0	0
SLU23	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	0	0	0	0	1.35	1.35	0.9	0	0	0	0
SLU24	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	0	0	0	0	1.0125	1.0125	1.5	0	0	0	0
SLU25	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	1.35	1.35	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU26	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	1.0125	0.54	0	1.35	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU27	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	1.0125	0.54	1.35	0	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU28	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	1.0125	0.54	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0
SLU29	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.35	1.35	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU30	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.0125	0.54	0	1.35	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU31	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.0125	0.54	1.35	0	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU32	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.0125	0.54	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0
SLU33	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	1.35	1.35	0	0	1.35	0	0.9	0	0	0	0
SLU34	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	1.0125	0.54	0	1.35	1.35	0	0.9	0	0	0	0
SLU35	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	1.0125	0.54	1.35	0	1.35	0	0.9	0	0	0	0
SLU36	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	1.0125	0.54	0	0	1.01	0	1.5	0	0	0	0
SLU37	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.35	1.35	0	0	1.35	1.35	0.9	0	0	0	0
SLU38	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.0125	0.54	0	1.35	1.35	1.35	0.9	0	0	0	0
SLU39	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.0125	0.54	1.35	0	1.35	1.35	0.9	0	0	0	0
SLU40	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.0125	0.54	0	0	1.0125	1.0125	1.5	0	0	0	0
SLU41	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	0	0	0	0	1.35	0	0.9	0	0	0	0
SLU42	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	0	0	0	0	1.0125	0	1.5	0	0	0	0
SLU43	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	0	0	0	0	1.35	1.35	0.9	0	0	0	0
SLU44	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	0	0	0	0	1.0125	1.0125	1.5	0	0	0	0
SLU45	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU46	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.0125	0.54	0	1.35	0	0	0	0	0	0	0
SLU47	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.0125	0.54	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU48	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU49	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	0	1.35	0	0	0	0	0	0	0
SLU50	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU51	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.35	1.35	0	0	1.35	0	0	0	0	0	0
SLU52	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.0125	0.54	0	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0
SLU53	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.0125	0.54	1.35	0	1.35	0	0	0	0	0	0
SLU54	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.35	1.35	0	0	1.35	1.35	0	0	0	0	0
SLU55	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	0	1.35	1.35	1.35	0	0	0	0	0
SLU56	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	1.35	0	1.35	1.35	0	0	0	0	0
SLU57	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	0	0	0	0	1.35	0	0	0	0	0	0
SLU58	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	0	0	0	0	1.35	0	0	0	0	0	0
SLU59	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	0	0	0	0	1.35	1.35	0	0	0	0	0

9.1.2 Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Rare

COMBINAZIONI	Peso proprio	Sovraccarico permanente	AZIONI															
			Spinta terre		Spinta sovracc perm		Ritiro	Carico mobile tandem	Carico mobile distribuito	Centrifuga	Frenatura	Spinta carico mobile		Termica	Sisma_H sx	Sisma_Hdx	Sisma_V+	Sisma_V-
			sx	dx	sx	dx						sx	dx					
SLE_rara_1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_2	1	1	1	0	1	0	1	0.75	0.4	0	1	0	0	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_3	1	1	1	0	1	0	1	0.75	0.4	1	0	0	0	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_4	1	1	1	0	1	0	1	0.75	0.4	0	0	0	0	1	0	0	0	0
SLE_rara_5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_6	1	1	1	1	1	1	1	0.75	0.4	0	1	0	0	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_7	1	1	1	1	1	1	1	0.75	0.4	1	0	0	0	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_8	1	1	1	1	1	1	1	0.75	0.4	0	0	0	0	1	0	0	0	0
SLE_rara_9	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_10	1	1	1	0	1	0	1	0.7500	0.4	0	1	1	0	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_11	1	1	1	0	1	0	1	0.7500	0.4	1	0	1	0	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_12	1	1	1	0	1	0	1	0.7500	0.4	0	0	0.75	0	1	0	0	0	0
SLE_rara_13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_14	1	1	1	1	1	1	1	0.7500	0.4	0	1	1	1	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_15	1	1	1	1	1	1	1	0.7500	0.4	1	0	1	1	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_16	1	1	1	1	1	1	1	0.7500	0.4	0	0	0.75	0.75	1	0	0	0	0

9.1.3 Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Frequenti


COMBINAZIONI	Peso proprio	Sovraccarico permanente	AZIONI															
			Spinta terre		Spinta sovracc perm		Ritiro	Carico mobile tandem	Carico mobile distribuito	Centrifuga	Frenatura	Spinta carico mobile		Termica	Sisma_H sx	Sisma_Hdx	Sisma_V+	Sisma_V-
			sx	dx	sx	dx						sx	dx					
SLE_frequente_1	1	1	1	0	1	0	1	0.75	0.4	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0
SLE_frequente_2	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0
SLE_frequente_3	1	1	1	1	1	1	1	0.75	0.4	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0
SLE_frequente_4	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0
SLE_frequente_5	1	1	1	0	1	0	1	0.75	0.4	0	0	0.75	0	0.5	0	0	0	0
SLE_frequente_6	1	1	1	1	1	1	1	0.75	0.4	0	0	0.75	0.75	0.5	0	0	0	0

9.1.4 Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Quasi Permanenti

COMBINAZIONI	Peso proprio	Sovraccarico permanente	AZIONI															
			Spinta terre		Spinta sovracc perm		Ritiro	Carico mobile tandem	Carico mobile distribuito	Centrifuga	Frenatura	Spinta carico mobile		Termica	Sisma_H sx	Sisma_Hdx	Sisma_V+	Sisma_V-
			sx	dx	sx	dx						sx	dx					
SLE_q_perm_1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0
SLE_q_perm_2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0

9.1.5 Combinazioni sismiche

COMBINAZIONI	Peso proprio	Sovraccarico permanente	AZIONI															
			Spinta terre		Spinta sovracc perm		Ritiro	Carico mobile tandem	Carico mobile distribuito	Centrifuga	Frenatura	Spinta carico mobile		Termica	Sisma_H sx	Sisma_Hdx	Sisma_V+	Sisma_V-
			sx	dx	sx	dx						sx	dx					
SLV01	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0	1	0
SLV02	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0	0	1
SLV03	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	1	1	0
SLV04	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	1	0	1
SLV05	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0	1	0
SLV06	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0	0	1
SLV07	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	1	1	0
SLV08	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	1	0	1

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

10 MODELLO DI CALCOLO - PORTALE FERROVIARIO

10.1 Definizione del modello di calcolo

Per il portale ferroviario è stato predisposto un modello di calcolo piano agli elementi finiti relativo ad una striscia di larghezza unitaria.

La modellazione è stata realizzata mediante il software SAP2000 v.21.2.0 (Computers & Structures, Inc.).

Gli elementi del portale sono stati modellati mediante elementi monodimensionali tipo “beam”.

È stato inserito nel modello anche il sistema di fondazione del portale, costituito da una zattera di fondazione su micropali, modellati anch’essi tramite elementi di tipo “beam”, con un vincolo di carrello alla base. Ipotizzando per il terreno di fondazione un comportamento alla Winkler, a tali elementi sono state inoltre assegnate delle molle laterali uniformemente distribuite con rigidità pari alla costante di Winkler orizzontale, assunta pari a 18750 kN/m³.

Il sistema di riferimento adottato è di tipo cartesiano ortogonale destro, con l’asse X allineato secondo la direzione trasversale del manufatto, l’asse Y in direzione longitudinale e l’asse verticale Z orientato positivo verso l’alto.

Si riportano di seguito alcune viste del modello, con individuazione dei nodi e degli elementi.

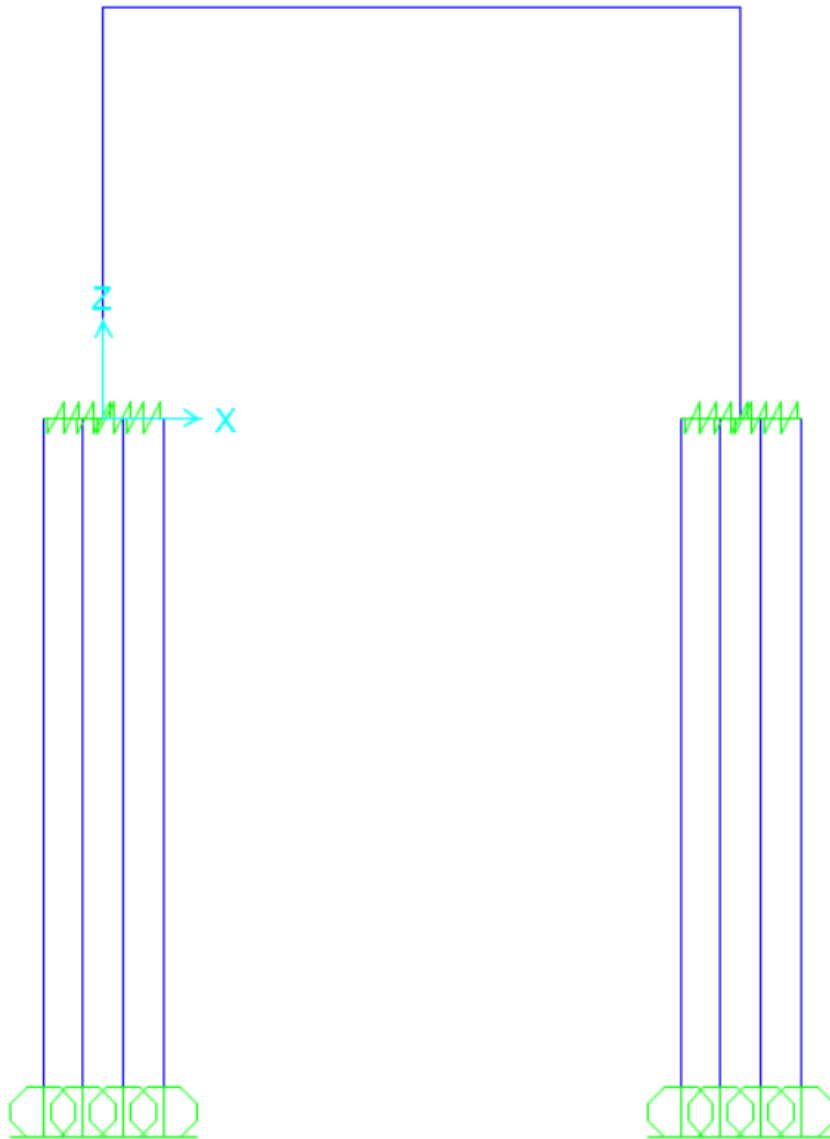



Figura 10-1: Modello di calcolo agli elementi finiti - vista sul piano XZ

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

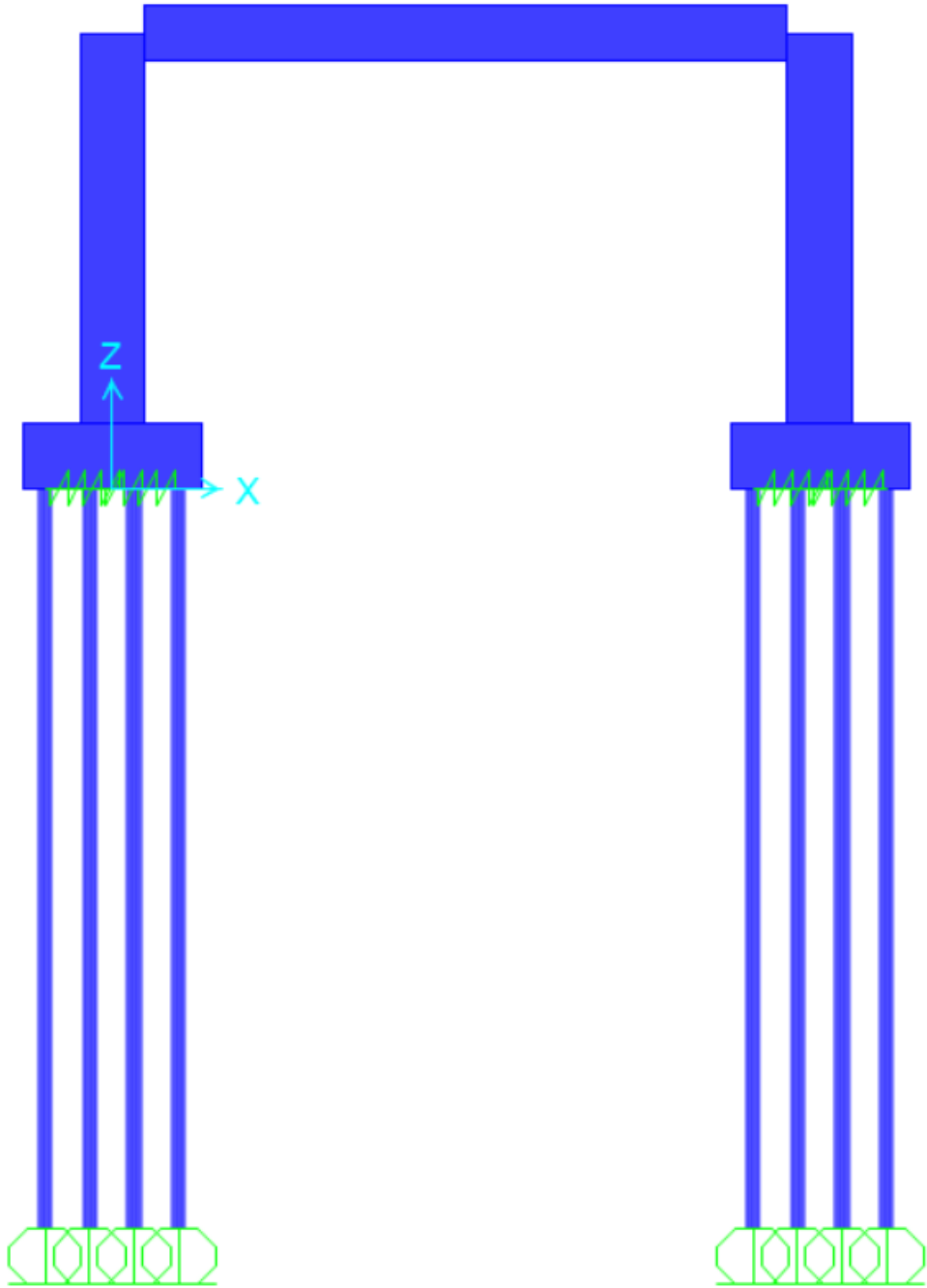


Figura 10-2: Modello di calcolo agli elementi finiti - vista estrusa sul piano XZ

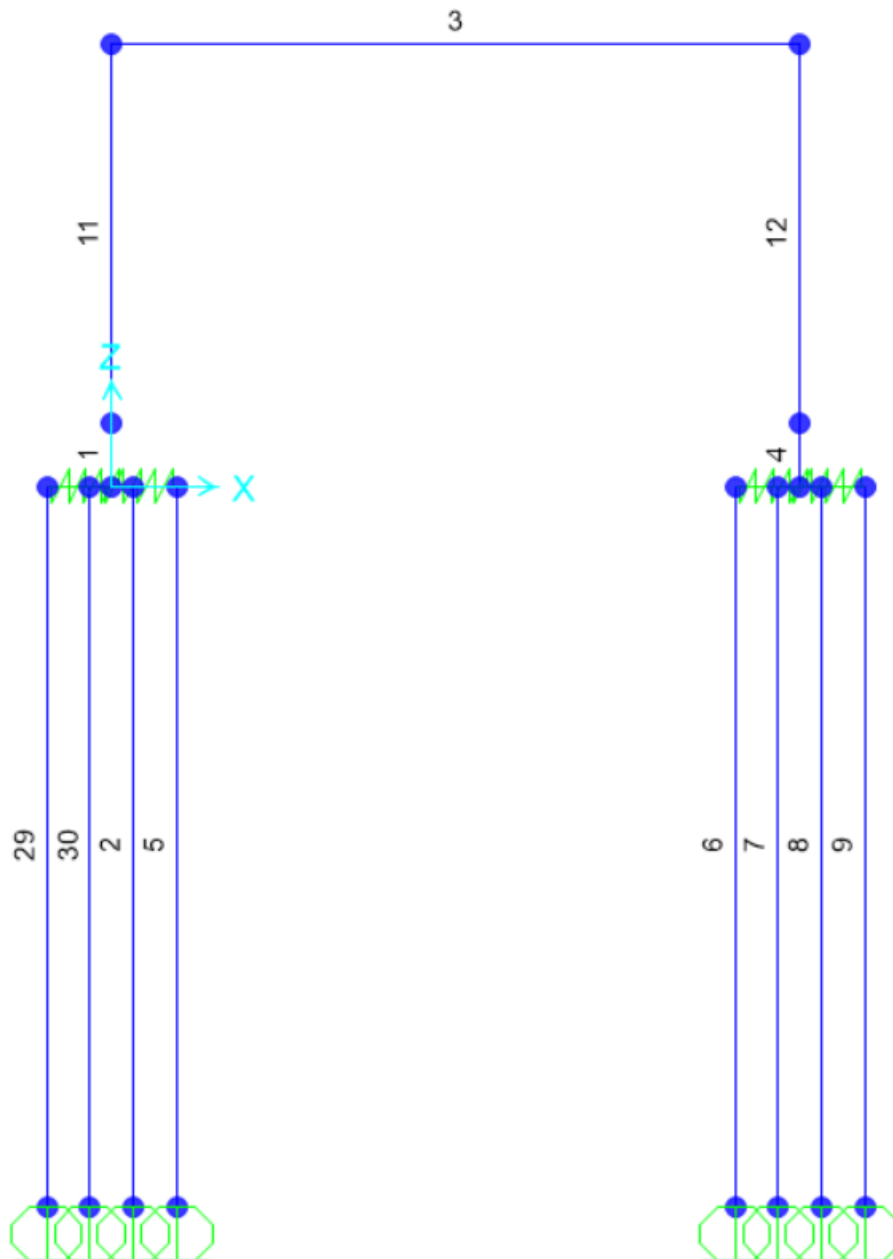


Figura 10-3: Numerazione degli elementi strutturali tipo beam

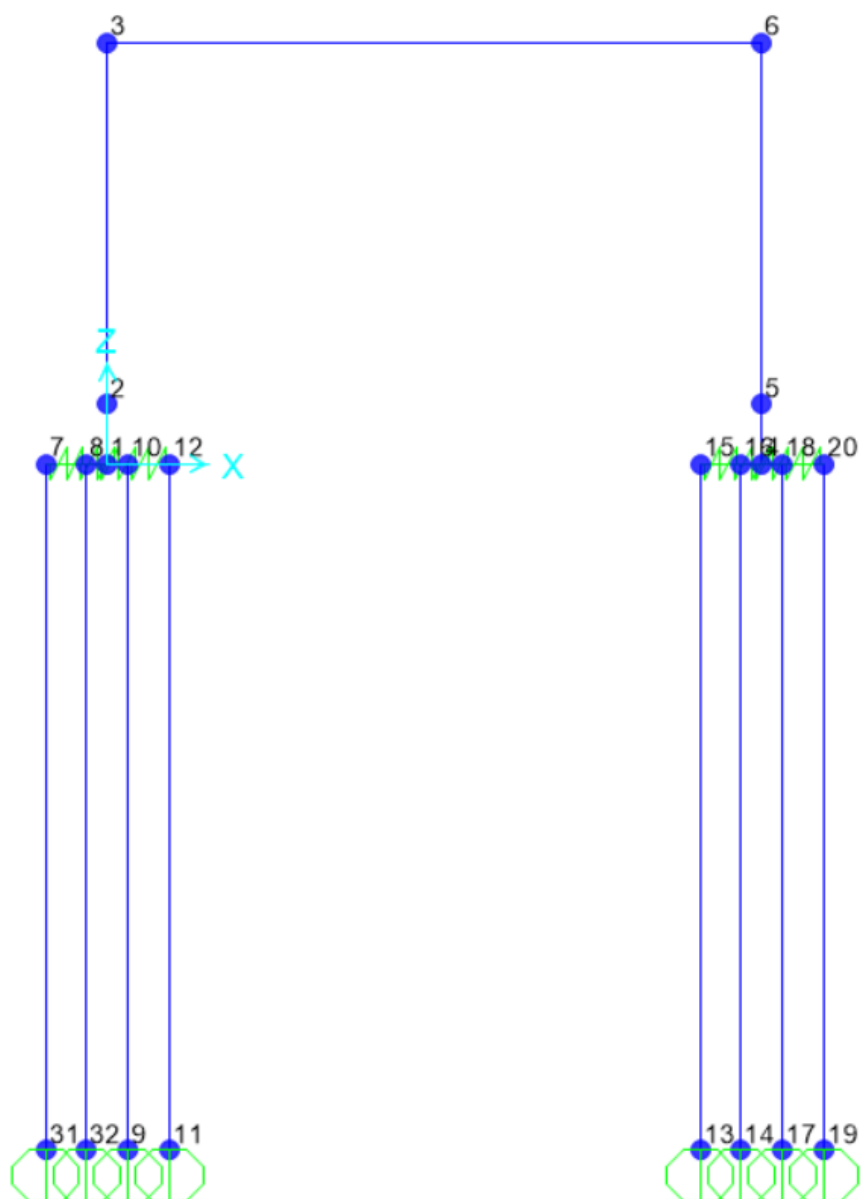
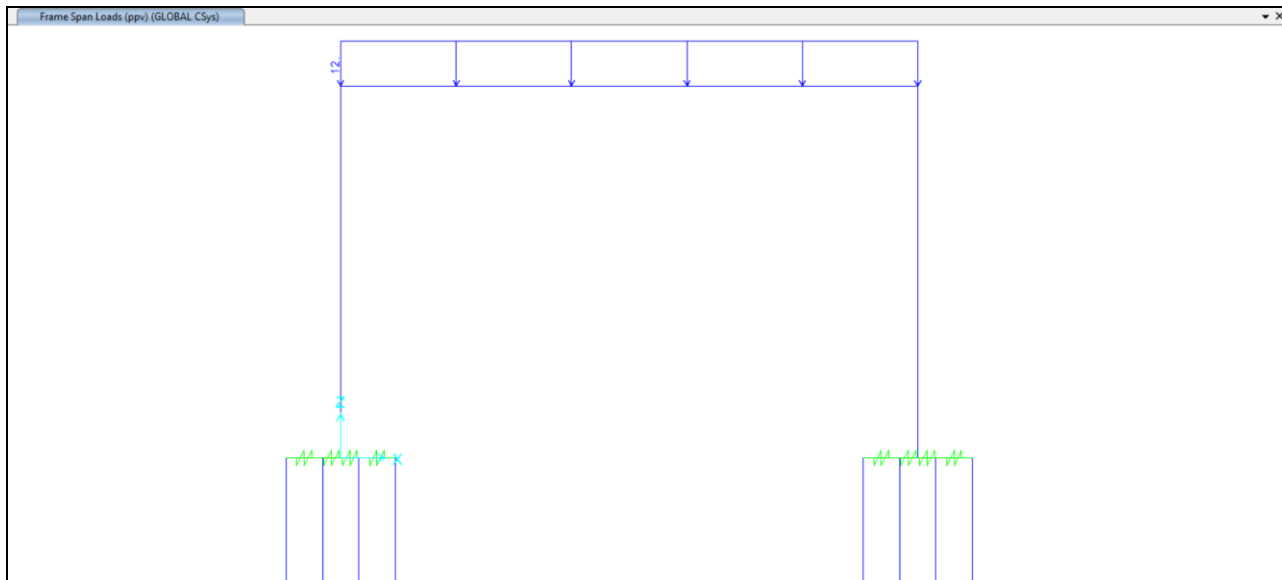


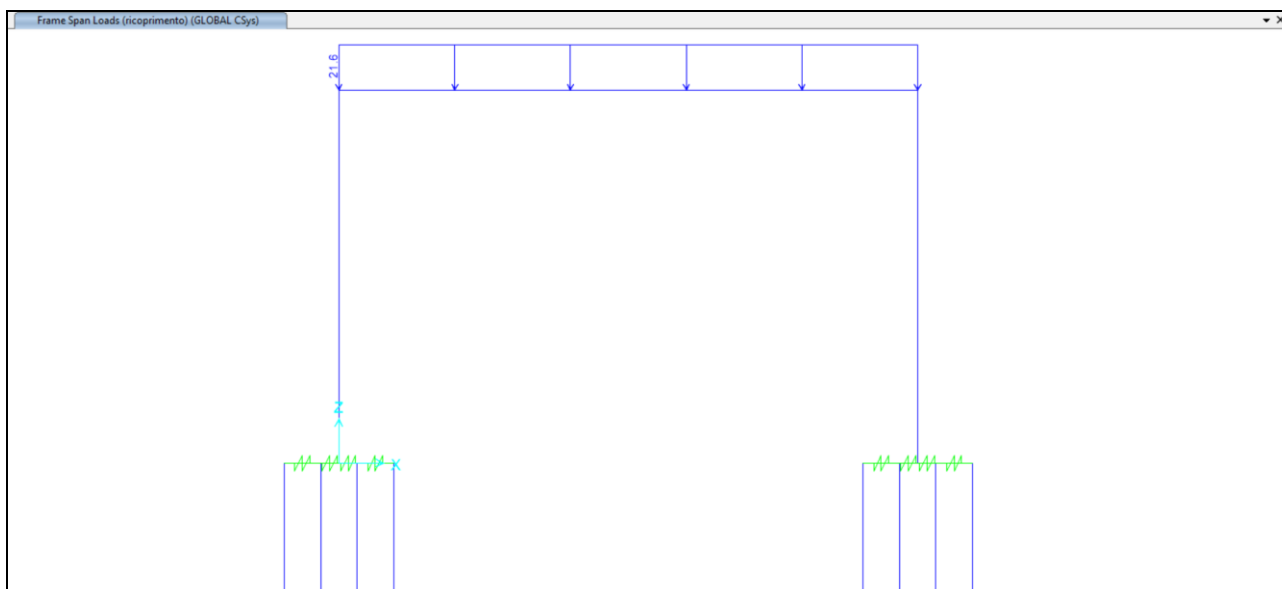
Figura 10-4: Numerazione dei nodi del modello

10.2 Applicazione dei carichi

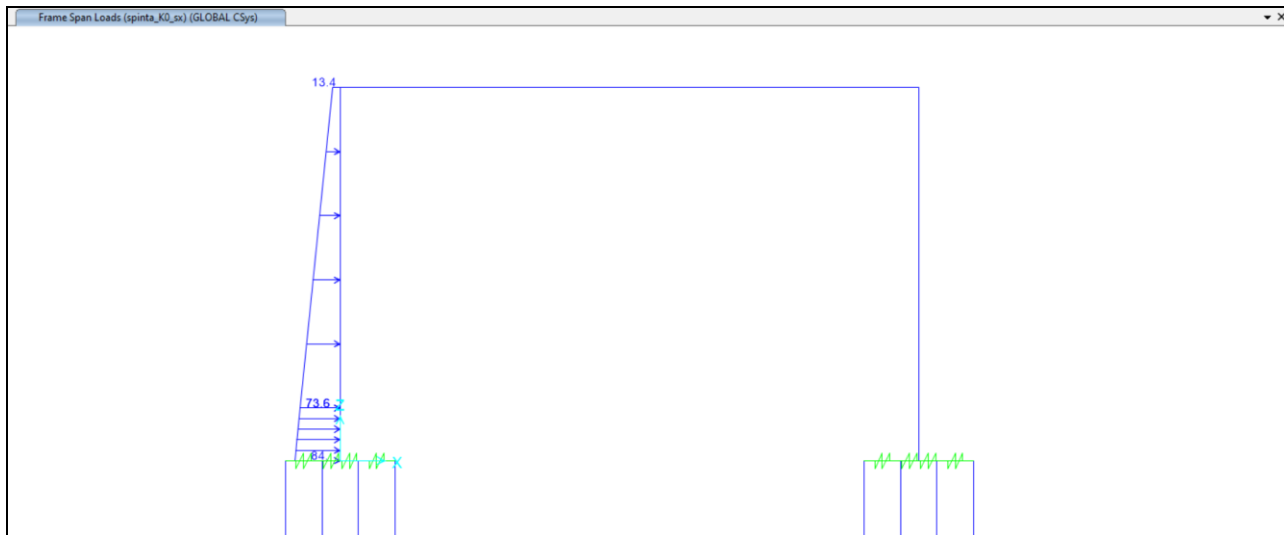
10.2.1 Carichi permanenti dovuti al peso della pavimentazione stradale



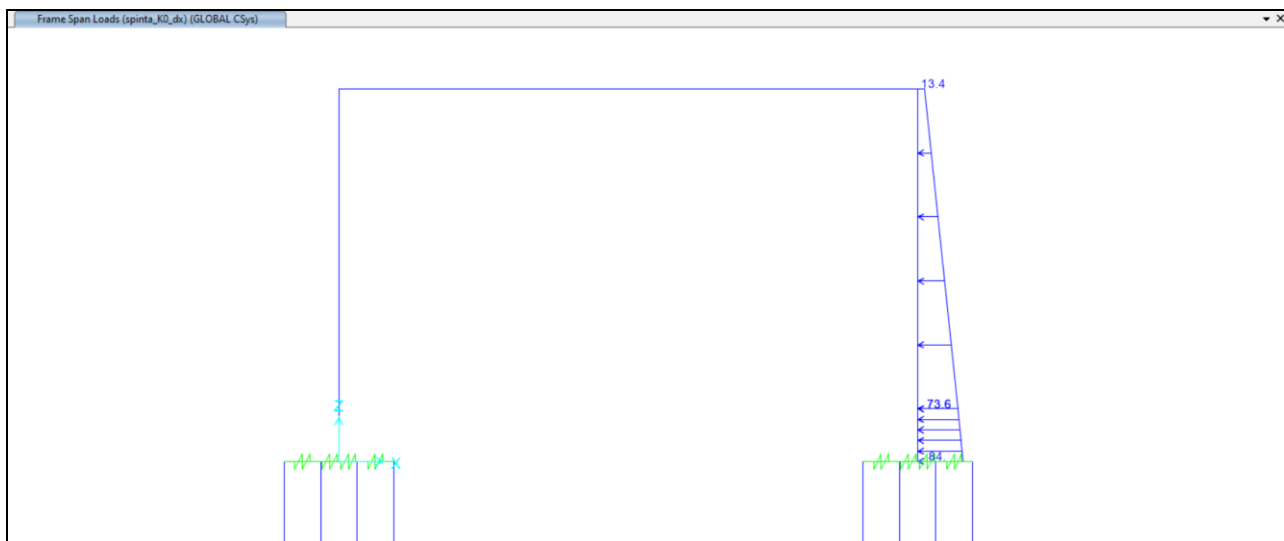
10.2.2 Carichi permanenti dovuti al peso del terreno di ricoprimento



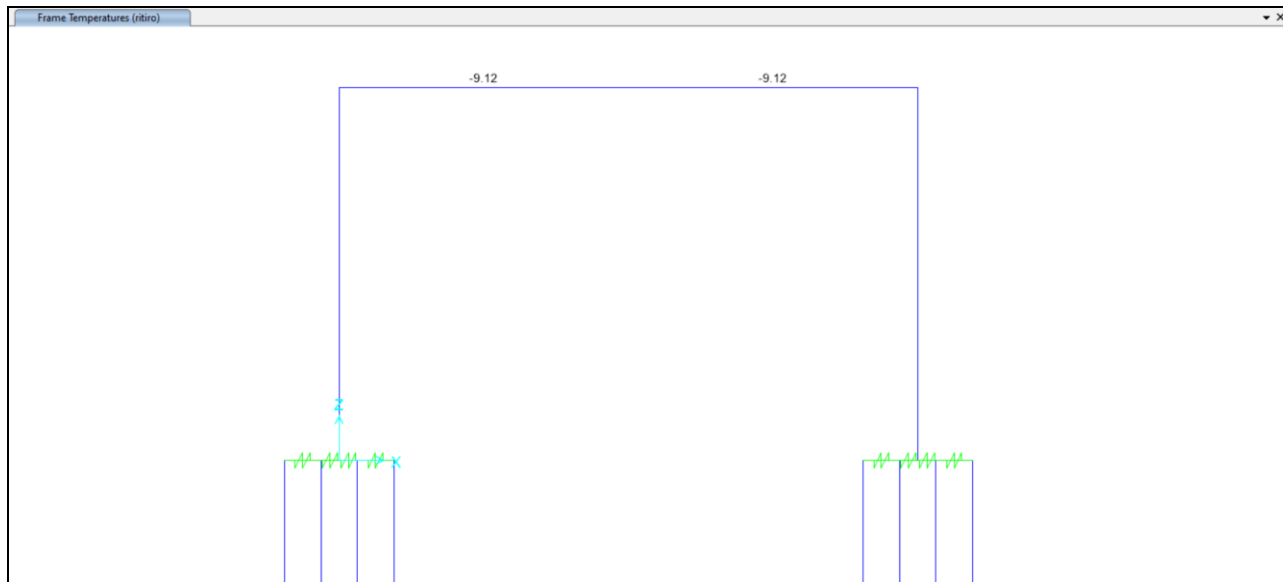
10.2.3 Spinta del terreno sul ritto sinistro + sovraspinta dovuta ai carichi permanenti



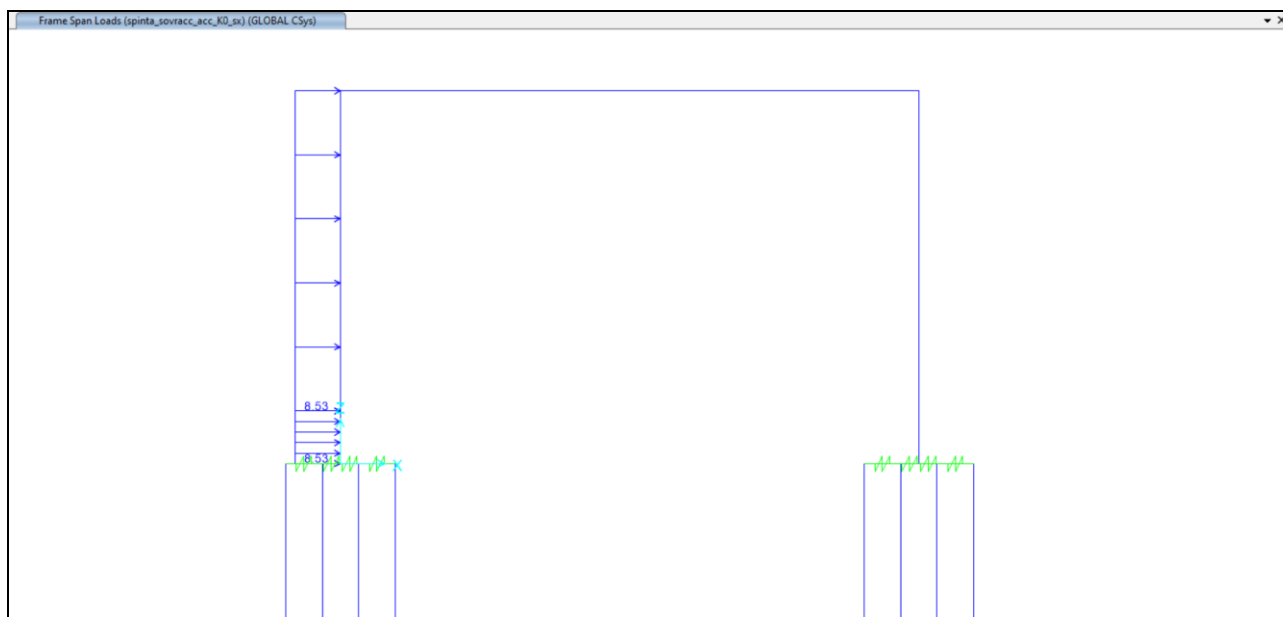
10.2.4 Spinta del terreno sul ritto destro + sovraspinta dovuta ai carichi permanenti



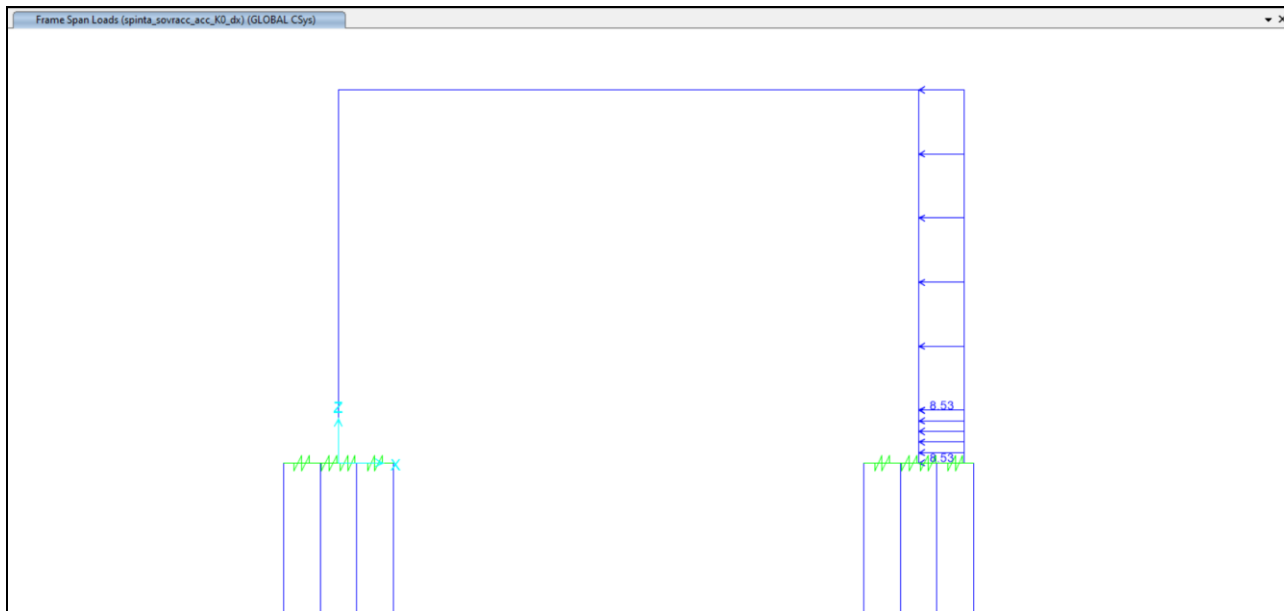
10.2.5 Azione del ritiro sulla soletta superiore



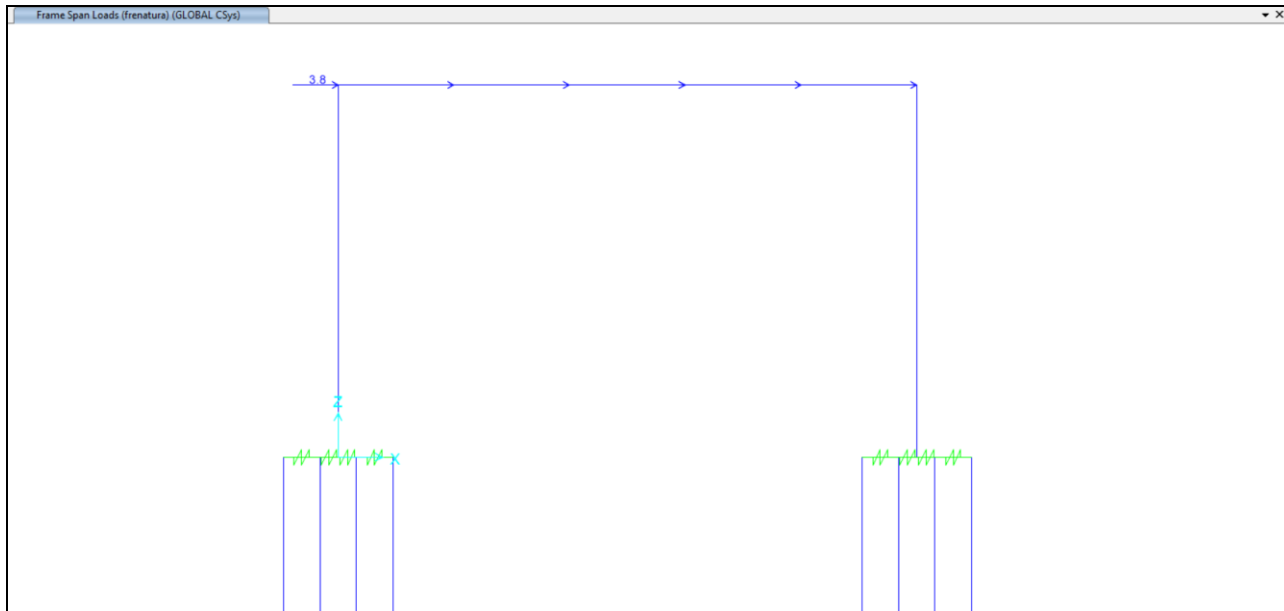
10.2.6 Spinta del sovraccarico accidentale sul ritto sinistro



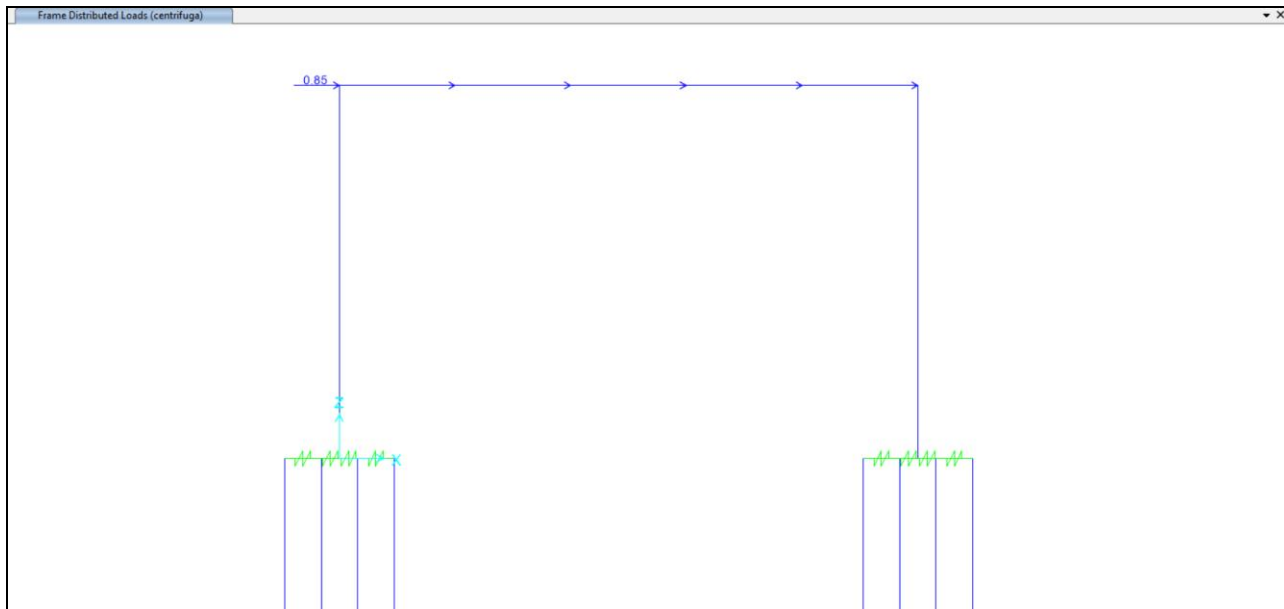
10.2.7 Spinta del sovraccarico accidentale sul ritto destro



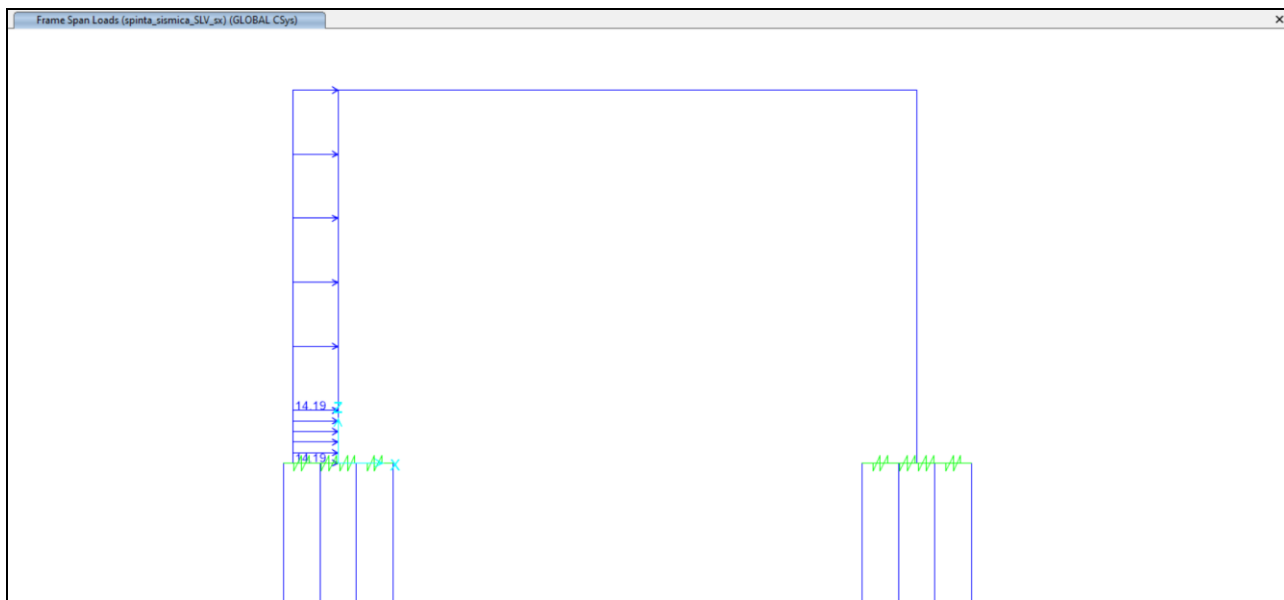
10.2.8 Azione orizzontale della frenatura sulla soletta superiore



10.2.9 Azione orizzontale della forza centrifuga sulla soletta superiore

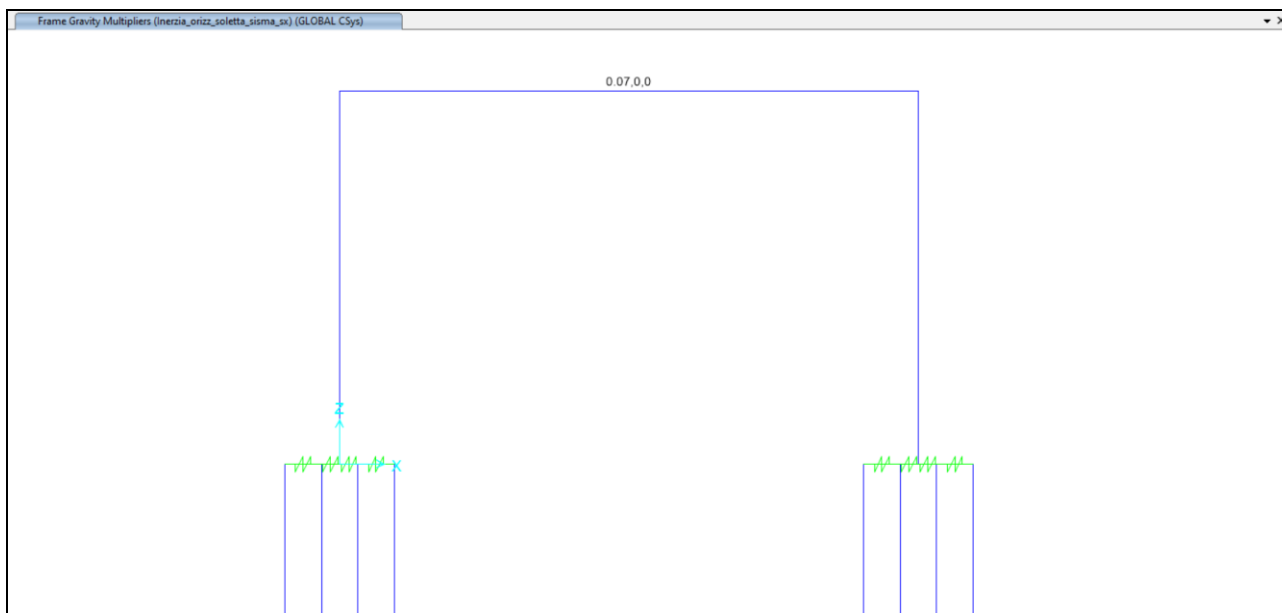


10.2.10 Sovrappinta dinamica del terreno sul ritto sinistro (sisma +X)

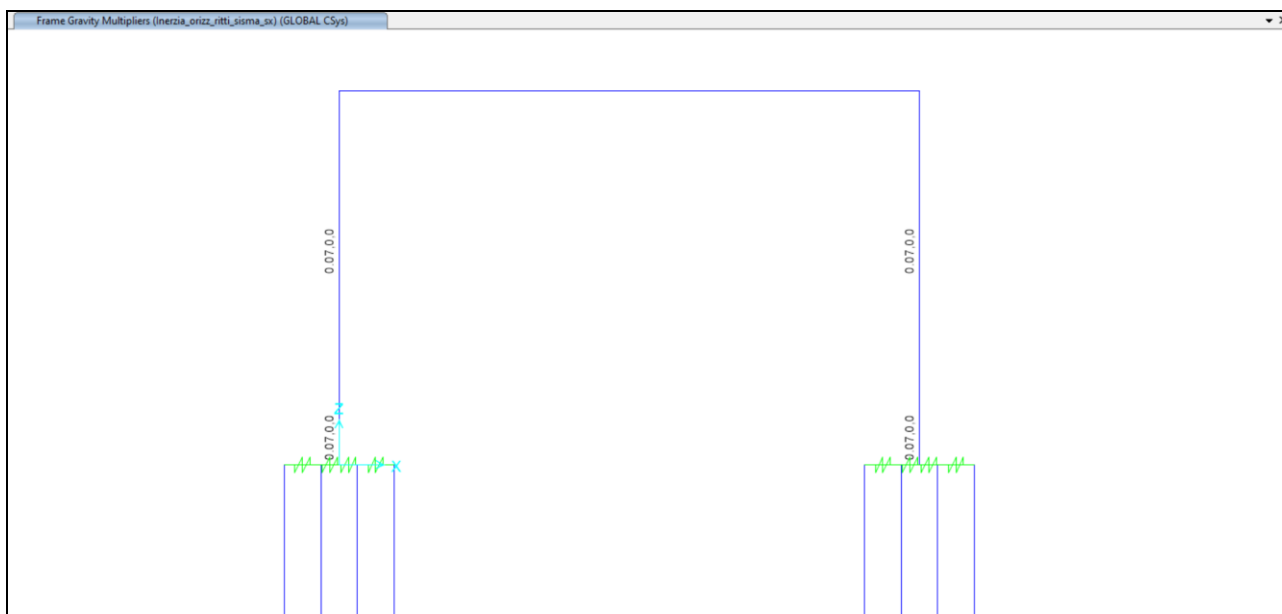


10.2.11 Azione inerziale orizzontale della soletta (sisma +X)

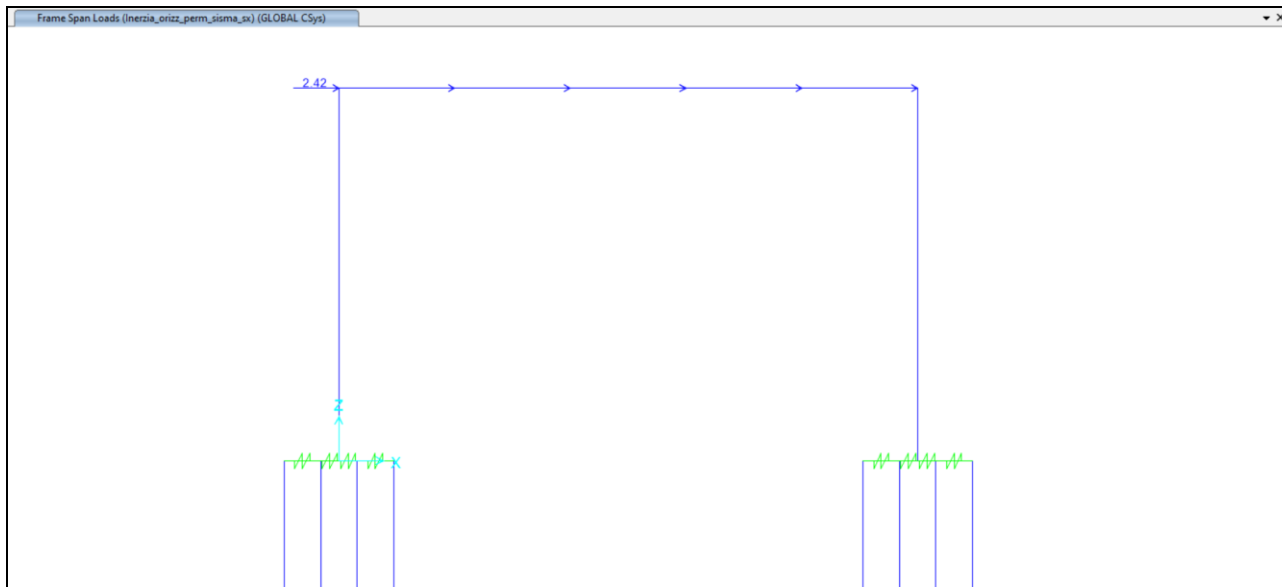
L'azione inerziale è stata applicata agli elementi del modello attraverso l'uso dei Gravity Multipliers. Nel caso dell'inerzia orizzontale, è stato inserito un Gravity Multipliers in direzione X pari a $k_n = \pm 0.072$, a seconda del verso dell'azione sismica.



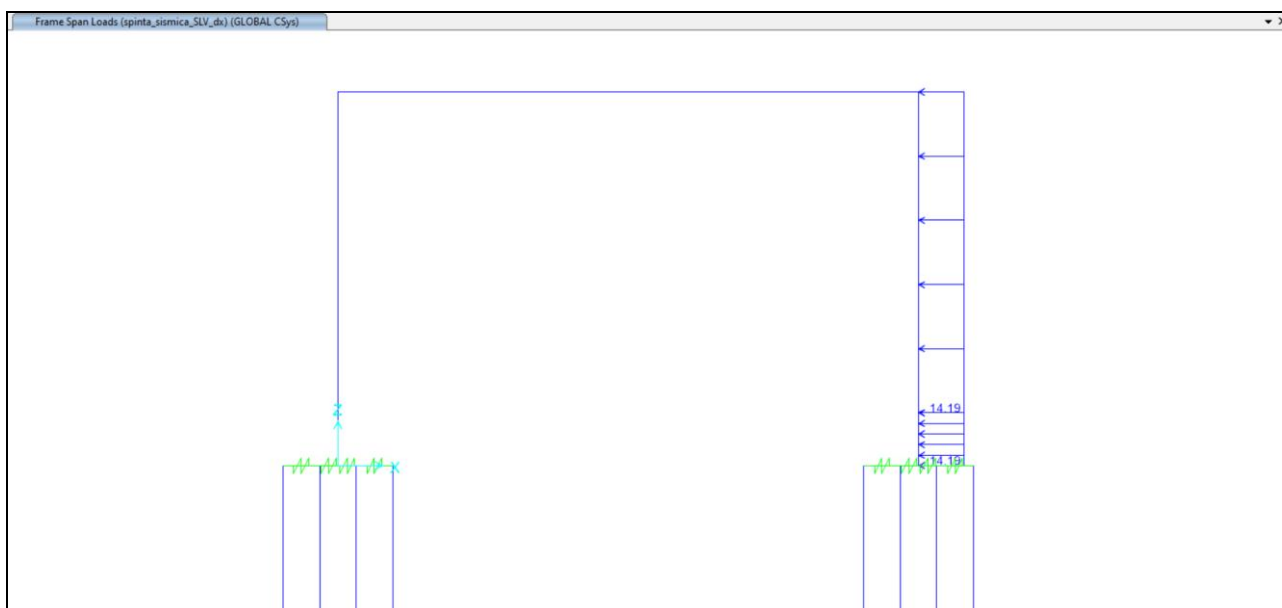
10.2.12 Azione inerziale orizzontale sui ritti (sisma +X)



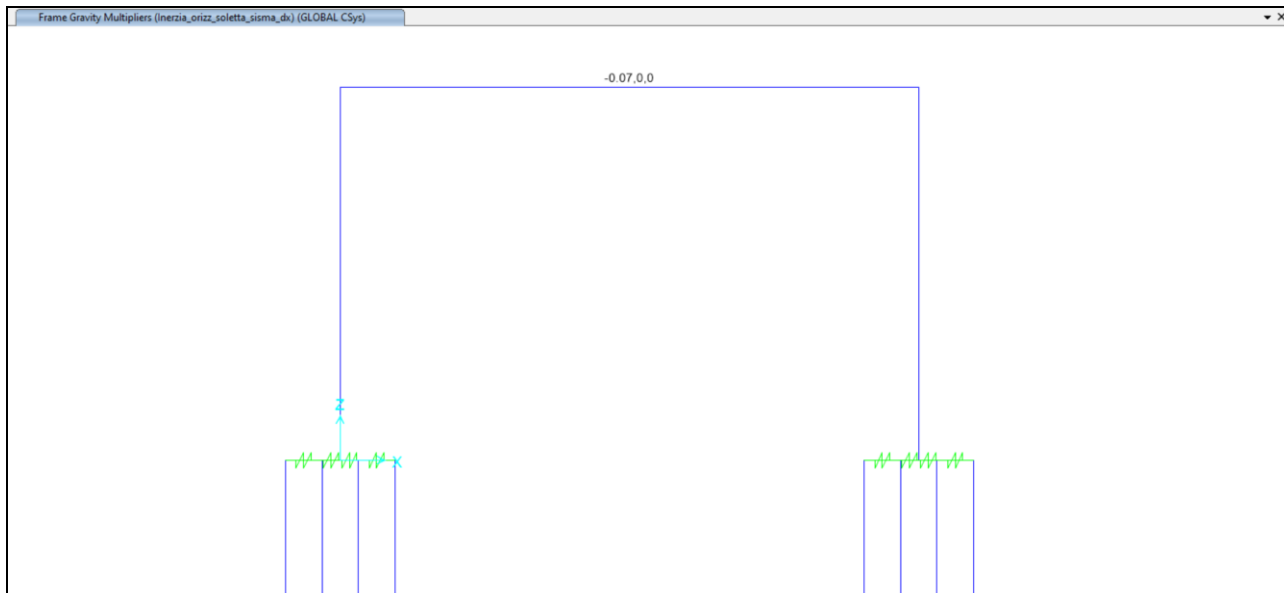
10.2.13 Azione inerziale orizzontale dei carichi permanenti portati (sisma +X)



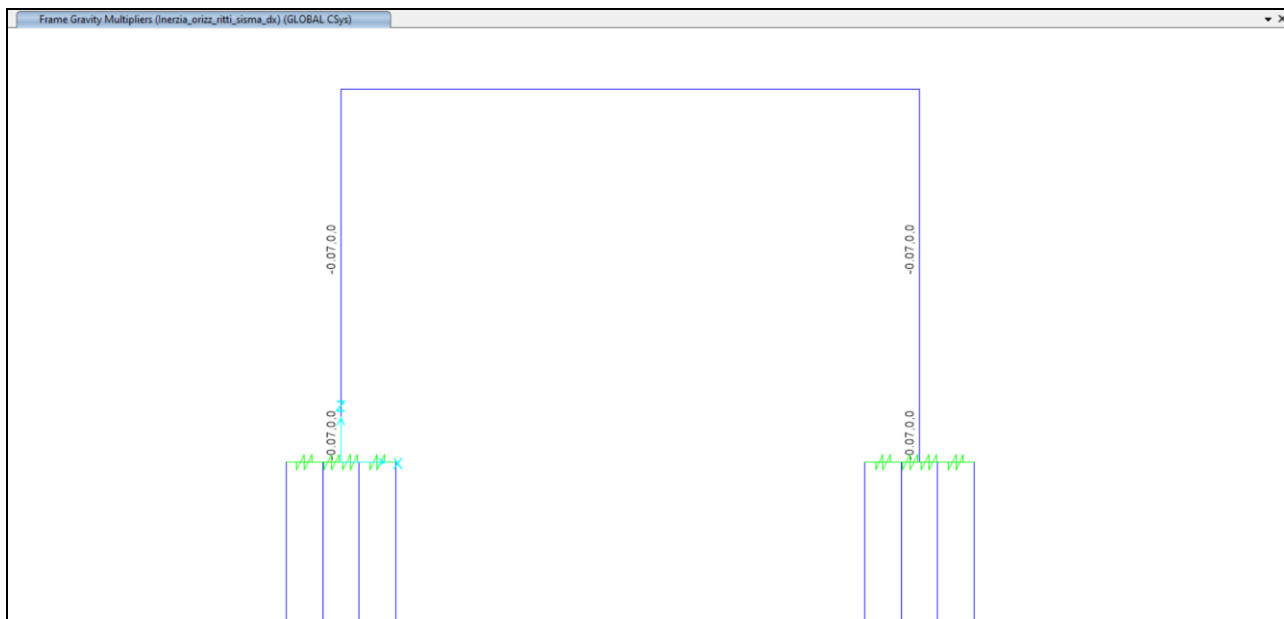
10.2.14 Sovrappinta dinamica del terreno sul ritto destro (sisma -X)



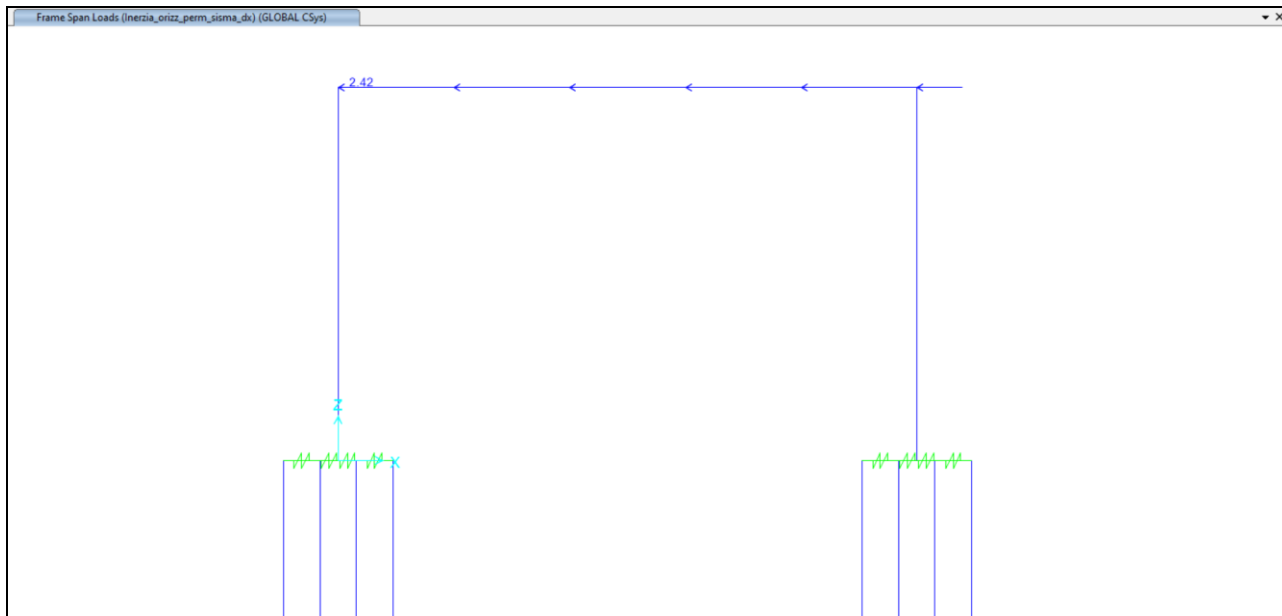
10.2.15 Azione inerziale orizzontale della soletta (sisma -X)



10.2.16 Azione inerziale orizzontale sui ritri (sisma -X)

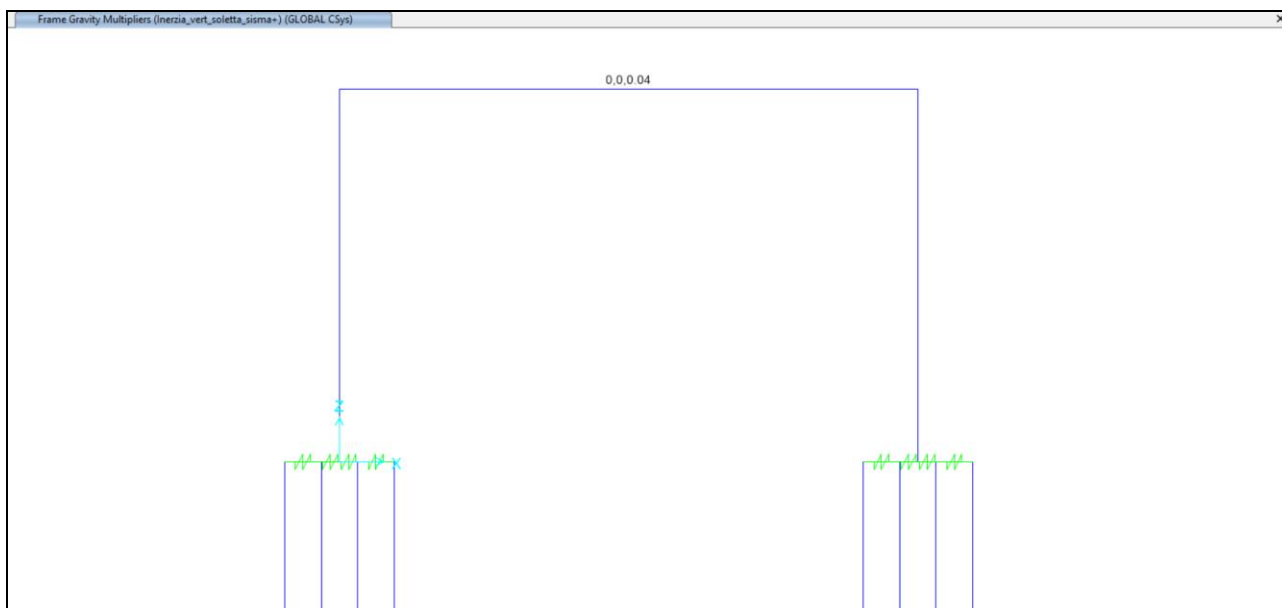


10.2.17 Azione inerziale orizzontale dei carichi permanenti portati (sisma -X)

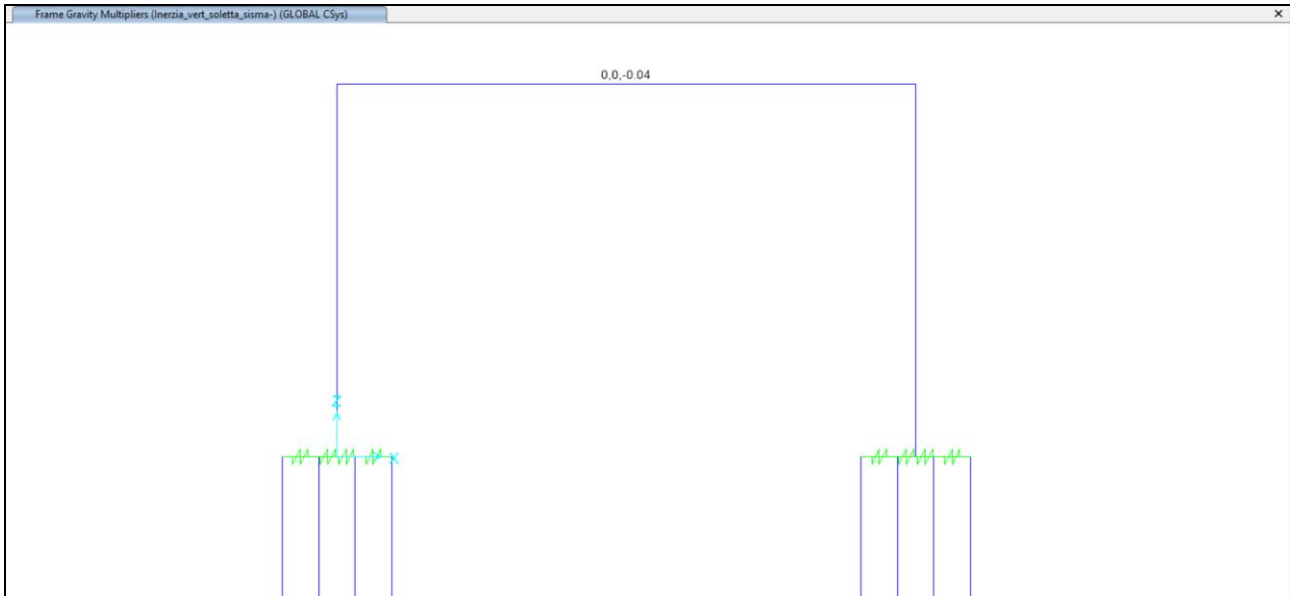


10.2.18 Azione inerziale verticale della soletta (sisma +Z)

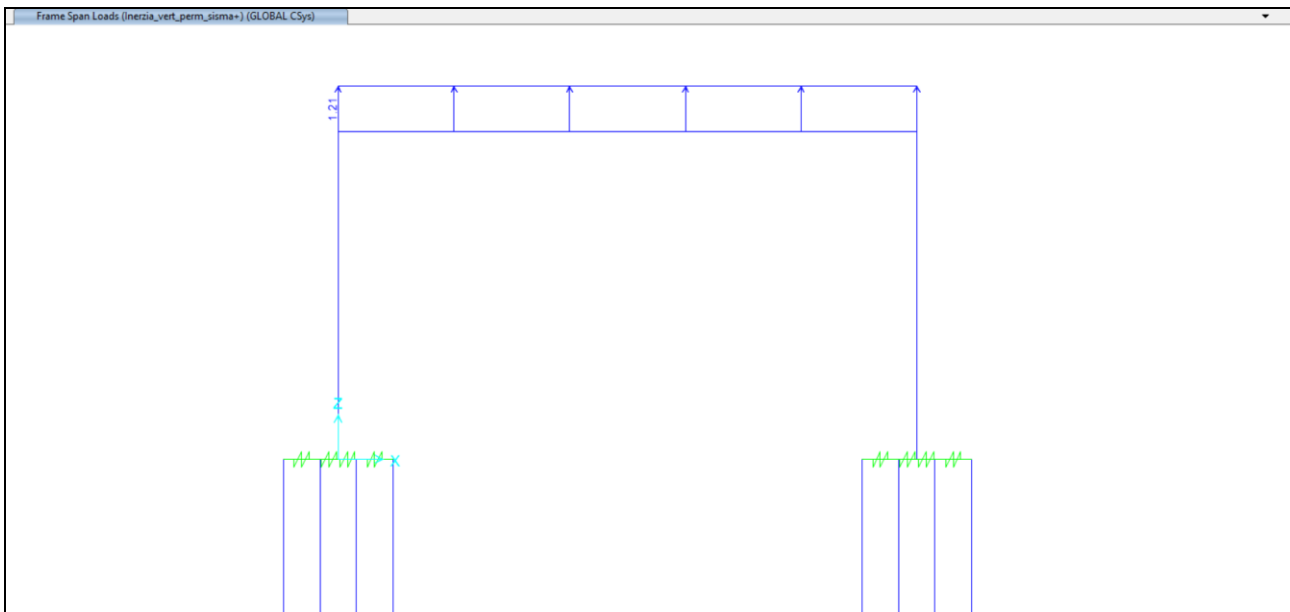
L'azione inerziale è stata applicata agli elementi del modello attraverso tramite l'uso dei Gravity Multipliers. Nel caso dell'inerzia verticale, è stato inserito un Gravity Multipliers in direzione Z pari a $k_v = \pm 0.036$, a seconda del verso dell'azione sismica.




10.2.19 Azione inerziale verticale della soletta (sisma -Z)

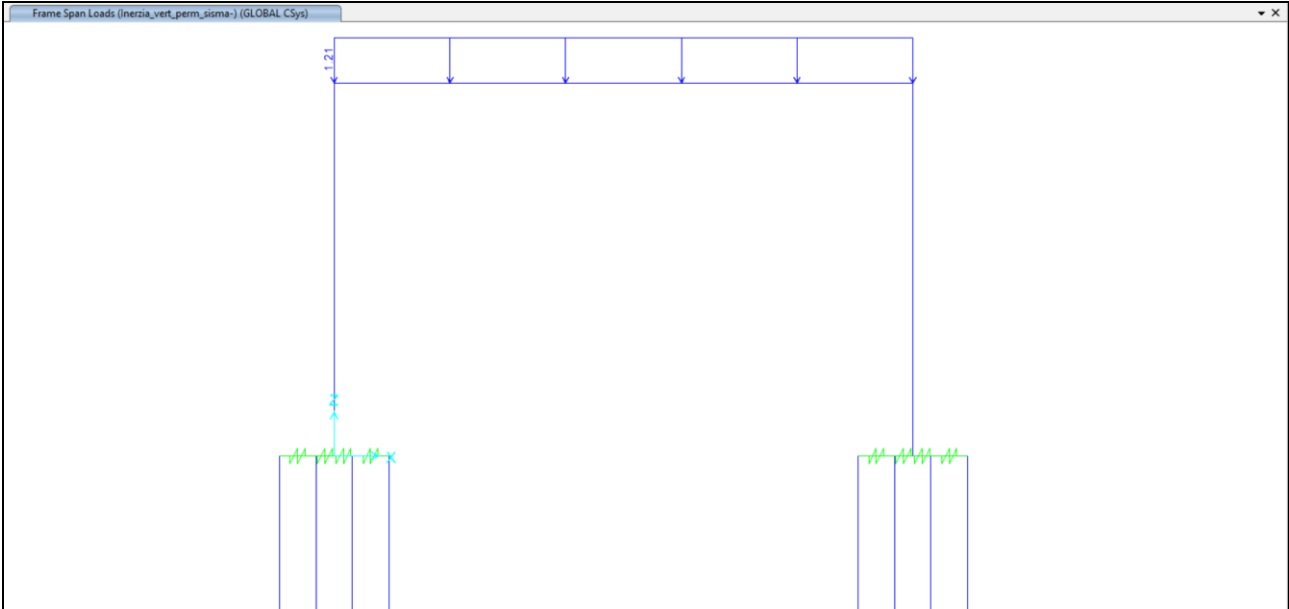



10.2.20 Azione inerziale verticale dei carichi permanenti portati (sisma +Z)



Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

10.2.21 Azione inerziale verticale dei carichi permanenti portati (sisma -Z)

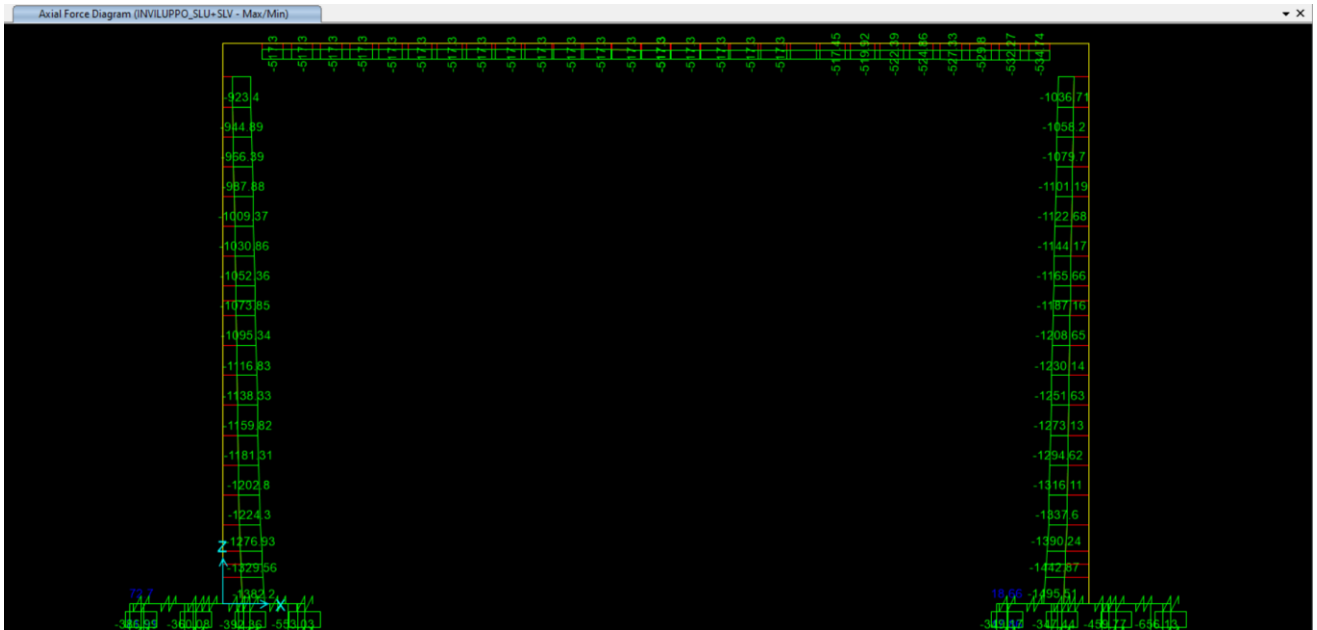


Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

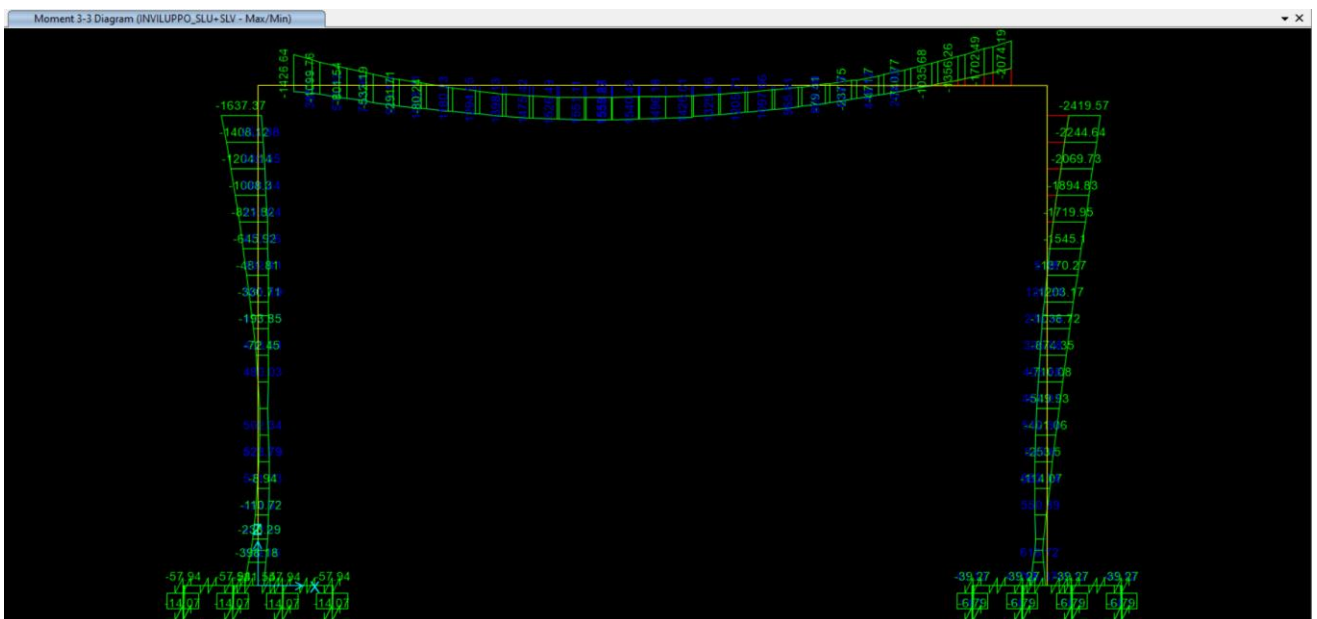
11 VALUTAZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI - PORTALE FERROVIARIO

Di seguito sono riportati i diagrammi delle sollecitazioni riferite alla combinazione involuppo delle combinazioni allo stato limite ultimo statiche (STR) e sismiche (SISMA).

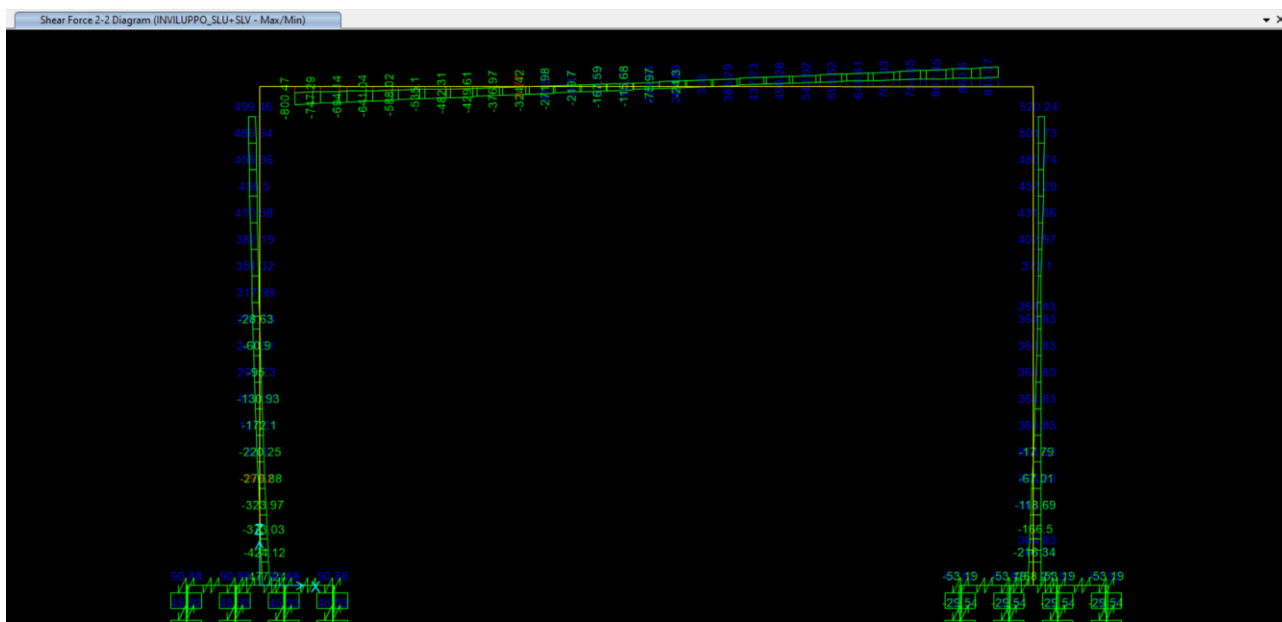
11.1 Diagramma dell'azione assiale




11.1 Diagramma del momento flettente



11.1 Diagramma dell'azione tagliante



Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

12 SOLETTA SUPERIORE - VERIFICA STRUTTURALE - PORTALE FERROVIARIO

La soletta di copertura è realizzata con travi prefabbricate a “T” e completata con un getto di cemento armato in opera per realizzare la sezione finale. Si è considerata una sezione totalmente in C32/40, trascurando a favore di sicurezza la superiore resistenza del calcestruzzo prefabbricato delle travi.

Per tenere in considerazione la fase del getto di completamento della soletta di copertura quando la trave prefabbricata non è ancora vincolata al resto della struttura si è valutato il Δ tra il momento in mezzzeria (momento positivo max) determinato dal modello al SAP (incastrato) e il momento nel caso di trave semplicemente appoggiata per il carico da peso proprio. Il valore risultante è stato sommato alle sollecitazioni del modello per le diverse combinazioni, avendo cura di moltiplicarlo per $\gamma_G = 1.35$ per le combinazioni a stato limite ultimo.

Sezione in mezzzeria

M_{DEAD}	604.41 kNm/m	Trave semplicemente appoggiata
M_{DEAD}	332.28 kNm/m	Modello SAP (soletta incastrata alle estremità)
ΔM_{DEAD}	272.13 kNm/m	

Inoltre, nella sezione della soletta a filo ritto, oltre a momenti negativi, si possono verificare anche momenti positivi (che tendono le fibre inferiori). In tal caso il momento negativo dovuto al peso proprio determinato dal modello al SAP (incastrato) va ridurre il momento positivo, che risulta sottostimato rispetto al valore reale: occorre dunque incrementare il momento positivo che si legge nel modello con il momento negativo (in valore assoluto) dovuto al peso proprio letto nel modello, e pari a $M_{DEAD} = -247$ kNm/m.

12.1 Sezioni di verifica ed armatura di calcolo

La sezione di verifica è rettangolare con base pari a 100 cm ed altezza pari a 110 cm.

Le sezioni di verifica sono riportate nella figura seguente.

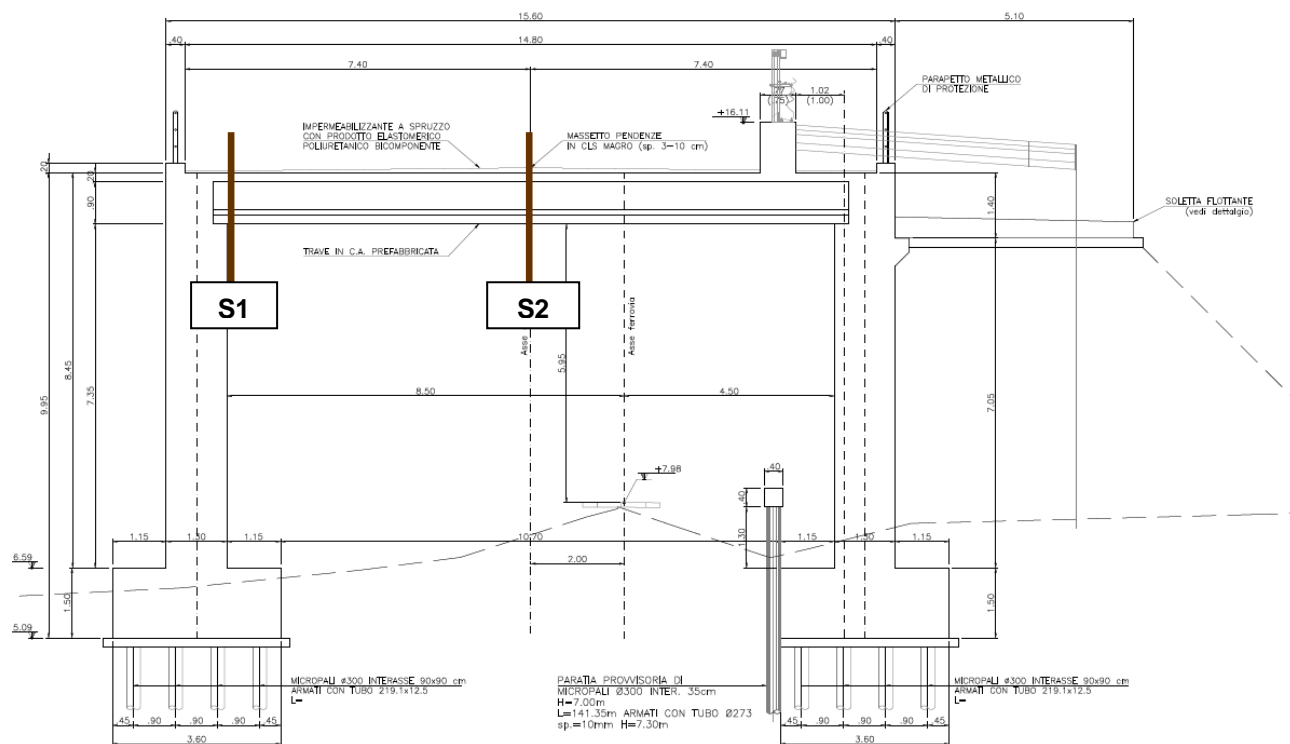


Figura 12-1: Sezioni di verifica

Nella tabella seguente si riportano le armature di calcolo assunte per ogni sezione e i momenti sollecitanti. Per la verifica nella sezione S1 a momento positivo, si considera come armatura tesa inferiore i soli ferri posizionati nel getto di completamento della soletta al di sopra delle ali inferiori della trave prefabbricata a T.

Sezione	Posizione	M _{max} (INV_SLU+SLV) [kNm/m]	Armatura superiore	Armatura inferiore
S1	A filo ritto (M-)	-2074.2	φ26 /20 + φ26 /20 + φ20 /20	4+4 φ 26*
S1	A filo ritto (M+)	662.9	φ26 /20 + φ26 /20 + φ20 /20	φ26 /20
S2	Mezzeria (M+ max)	2037.8	φ26 /20+ φ20 /20	8+6 φ 26*

* armatura posizionata nella trave prefabbricata

Tabella 12-1: Sezioni di verifica - Momenti sollecitanti ed armatura di calcolo

12.2 Verifica allo Stato Limite Ultimo per flessione

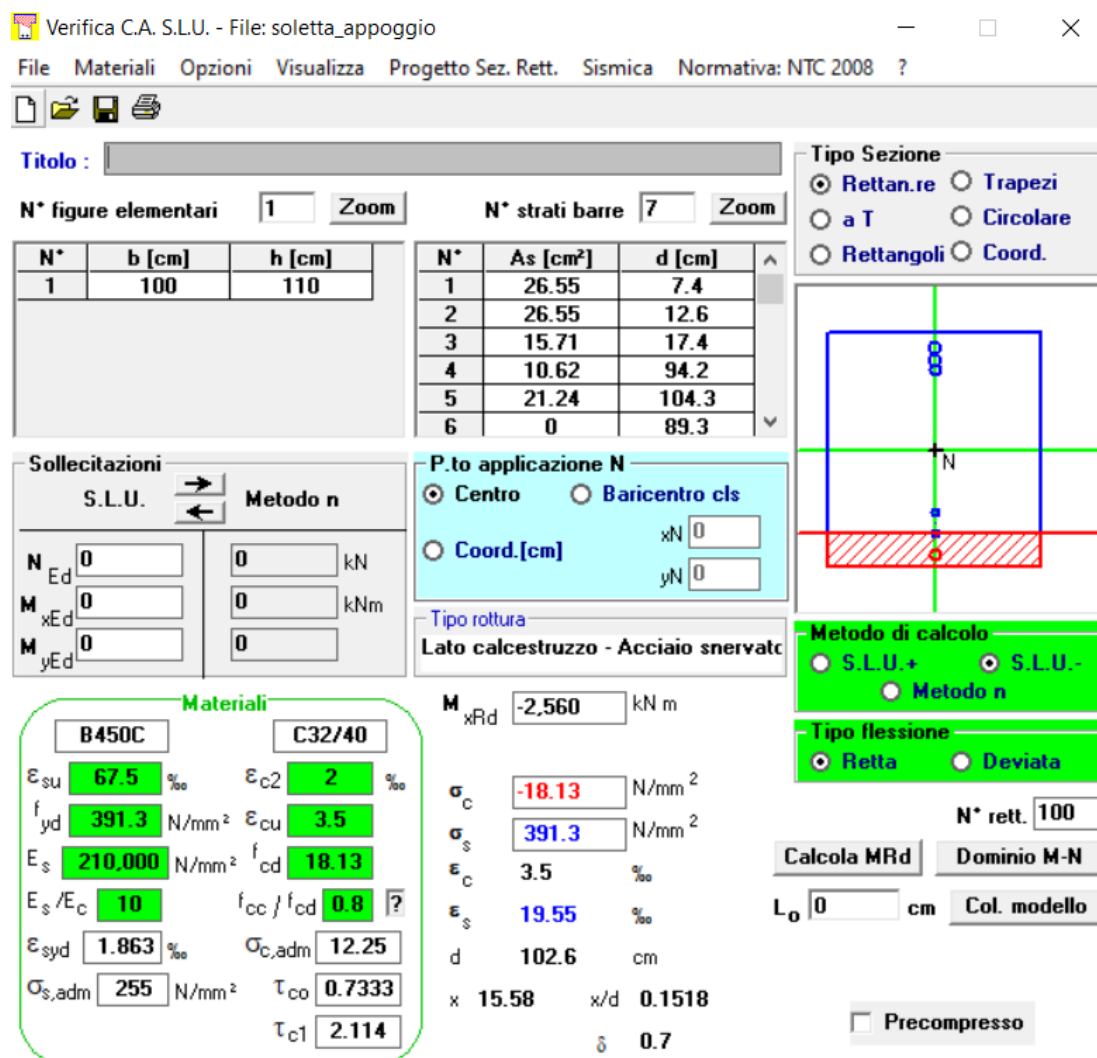
Le verifiche vengono svolte trascurando il contributo positivo dello sforzo normale di compressione.

Per lo svolgimento delle verifiche è stato utilizzato il software Vcaslu.

12.2.1 Verifica a filo ritto (Momento negativo) – Sezione S1

La combinazione maggiormente gravosa è risultata essere la combinazione statica.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $M_{sd} = -2074.2$ kNm/m.



Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	110	1	26.55	7.4
			2	26.55	12.6
			3	15.71	17.4
			4	10.62	94.2
			5	21.24	104.3
			6	0	89.3

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

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

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

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

B450C		C32/40	
ε _{su}	67.5 ‰	ε _{c2}	2 ‰
f _{yd}	391.3 N/mm²	ε _{cu}	3.5 ‰
E _s	210.000 N/mm²	f _{cd}	18.13
E _s /E _c	10	f _{cc} /f _{cd}	0.8
ε _{syd}	1.863 ‰	σ _{c,adm}	12.25
σ _{s,adm}	255 N/mm²	τ _{co}	0.7333
		τ _{c1}	2.114

M_{xRd} kNm

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ε_c ‰
 ε_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ cm Col. modello

Precompresso

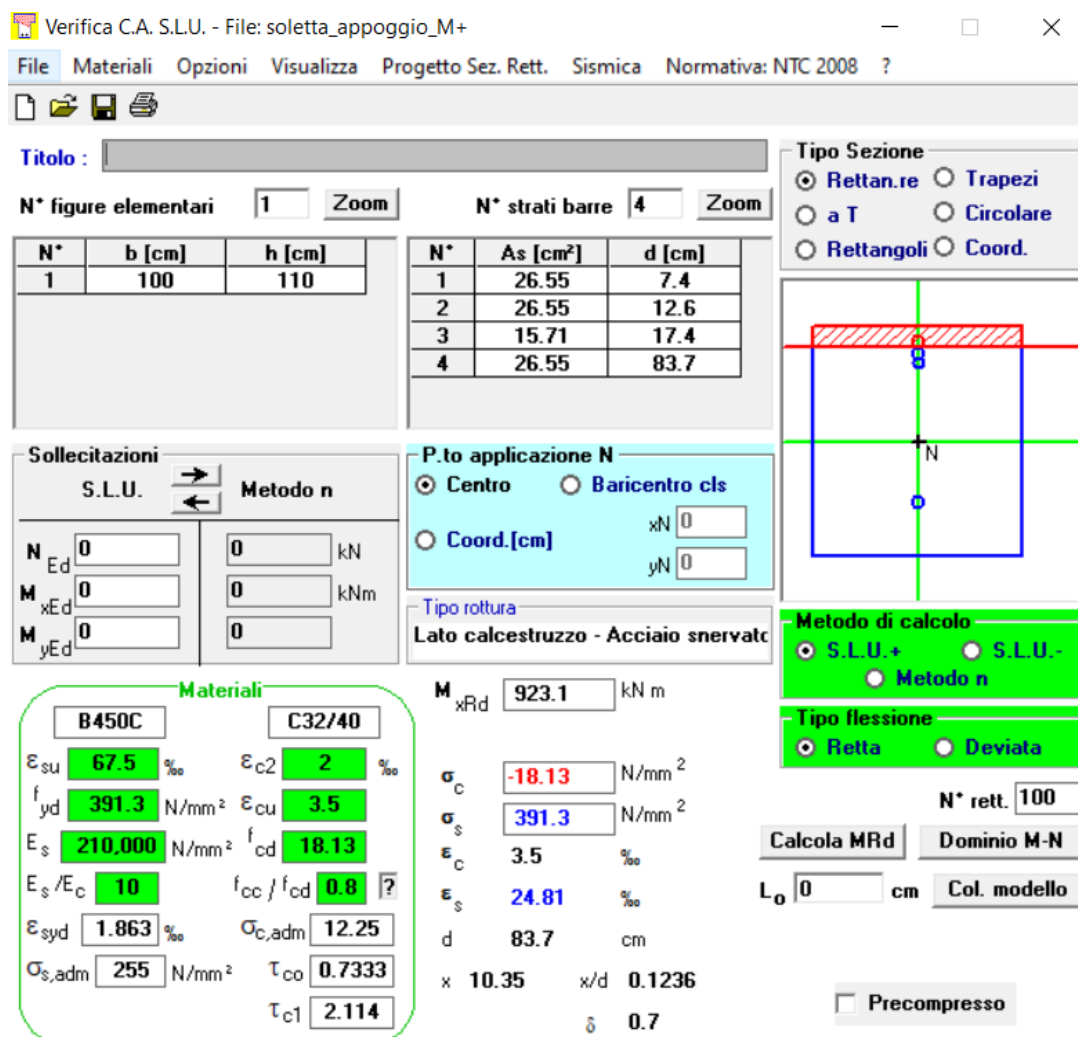
Il momento resistente della sezione vale $M_{rd} = -2560$ kNm/m.

Essendo $M_{rd}/M_{sd} = 1.23 > 1$, la verifica risulta soddisfatta.

12.2.2 Verifica a filo retto (Momento positivo) – Sezione S1

La combinazione maggiormente gravosa è risultata essere la combinazione statica.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $M_{sd} = 662.9 \text{ kNm/m}$.



Titolo : _____

N° figure elementari 1 **Zoom** **N° strati barre** 4 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	110	1	26.55	7.4
			2	26.55	12.6
			3	15.71	17.4
			4	26.55	83.7

Sollecitazioni
S.L.U. **Metodo n**

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

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

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

Materiali
B450C C32/40
ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
E_s 210,000 N/mm² f_{cd} 18.13
E_s/E_c 10 f_{cc}/f_{cd} 0.8
ε_{syd} 1.863 ‰ σ_{c,adm} 12.25
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
τ_{c1} 2.114

M_{xRd} 923.1 kNm
σ_c -18.13 N/mm²
σ_s 391.3 N/mm²
ε_c 3.5 ‰
ε_s 24.81 ‰
d 83.7 cm
x 10.35 x/d 0.1236
δ 0.7

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

Il momento resistente della sezione vale $M_{rd} = 923.1 \text{ kNm/m}$.

Essendo $M_{rd}/M_{sd} = 1.39 > 1$, la verifica risulta soddisfatta.

12.2.3 Verifica in mezzeria (Momento positivo max) – Sezione S2

La combinazione maggiormente gravosa è risultata essere la combinazione statica.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $M_{sd} = 2037.75 \text{ kNm/m}$.

Verifica C.A. S.L.U. - File: soletta_mezzeria

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

TITOLO : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	110	1	26.55	7.4
			2	0	12.6
			3	15.71	17.4
			4	10.62	94.2
			5	42.47	104.3
			6	10.62	89.3

Tipologia sezione: Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Diagramma della sezione:

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

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

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

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

Tipologia flessione: Retta Devia

Materiali: B450C C32/40

ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰
 E_s 210,000 N/mm² f_{cd} 18.13
 E_s/E_c 10 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ϵ_{syd} 1.863 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 12.25
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
 τ_{c1} 2.114

M_{xRd} kN m

σ_c -18.13 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 21.38 ‰
 d 104.3 cm
 x 14.67 x/d 0.1407
 δ 0.7

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

Tipologia flessione: Retta Devia

N° rett.


Calcola MRd Dominio M-N

L₀ cm Col. modello

Precompresso

Il momento resistente della sezione vale $M_{rd} = 2680 \text{ kNm/m}$.

Essendo $M_{rd}/M_{sd} = 1.32 > 1$, la verifica risulta soddisfatta.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

12.1 Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio

La verifica a taglio verrà eseguita, a favore di sicurezza, senza tener conto dell'effetto positivo dell'azione normale di compressione.

L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a $V_{s,d} = 914 \text{ kN/m}$ e si ha in corrispondenza della sezione a filo ritto (S1).

Viene dapprima eseguita una verifica a taglio per elemento non armato a taglio, considerando l'intera sezione della soletta (trave prefabbricata + getto di completamento).

Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w d$$

larghezza sezione	b_w	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	1100
altezza utile sezione	d	[mm]	1026
armatura longitudinale	A_{sl}	[mm ²]	6880
rapporto geometrico di armatura longitudinale (<0.02)	ρ_l		0.007
	k		1.442
	v_{\min}	[MPa]	0.343
tensione media di compressione nella sezione (<0.2 f_{cd})	σ_{cp}	[MPa]	0.00
resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	[MPa]	32.0
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	493
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	914

non verificato


Poiché la verifica non è soddisfatta, si decide di inserire nella trave prefabbricata staffe $\phi 14/20$ a 2 bracci.

La verifica per elementi dotati di armature resistenti a taglio viene svolta considerando la sola sezione della trave prefabbricata, considerando in questo caso il contributo del calcestruzzo di resistenza maggiore.

Le prescrizioni da rispettare per la scelta delle armature trasversali resistenti a taglio per le travi sono:

- $A_{staffe} \geq 1.5 b \text{ mm}^2/\text{m} = 1.5 \times 300 = 450 \text{ mm}^2/\text{m}$;
- Minimo 3 staffe metro $\Rightarrow s \leq 333 \text{ mm}$
- $s \leq 0.8 d = 0.8 \times d = 696 \text{ mm}$

Con le staffe scelte, le prescrizioni risultano soddisfatte.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

larghezza sezione	b_w	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	900
altezza utile sezione	d	[mm]	857
numero armature trasversali	$n^\circ \emptyset$		2.00
diametro armature trasversali	\emptyset	[mm]	14
interasse armature trasversali	s	[mm]	200
area dell'armatura trasversale a taglio	A_{sw}	[mm ²]	308
resistenza di progetto	f_{yd}	[MPa]	391
resistenza a compressione del cls	f_{cd}	[MPa]	22.7
angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	α	[DEG]	90
	$ctg \theta$		2.5
	θ	[DEG]	22
tensione di compressione calcestruzzo	σ_{cp}	[MPa]	0.00
coefficiente maggiorativo in elementi compressi	α_c		1.00
resistenza a taglio trazione	V_{Rsd}	[kN]	1162
resistenza a compressione del cls ridotta	f_{cd}'	[MPa]	11.3
resistenza a taglio compressione	V_{Rcd}	[kN]	3014
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	1162
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	914


verificato

La verifica a taglio con armature trasversali risulta soddisfatta, con rapporto $V_{Rd}/V_{Ed} = 1.27 > 1$.

12.1 Verifica allo Stato Limite di fessurazione

Per la verifica di fessurazione sono state considerate condizioni ambientali aggressive per le parti d'opera contro terra, condizioni ambientali ordinarie per le altre parti d'opera ed armatura poco sensibile (armatura lenta).

La scelta dello stato limite di fessurazione è stata effettuata sulla base di quanto indicato nella Tab. 2.1.IV delle NTC08, di seguito riportata.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile Stato limite	w_k	Poco sensibile Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

I valori limite di apertura delle fessure sono i seguenti:

- $w_1 = 0.2$ mm;
- $w_2 = 0.3$ mm;
- $w_3 = 0.4$ mm.

Per la verifica a fessurazione è stato utilizzato il software RC-SEC.

12.1.1 Verifica a filo ritto – Sezione S1

In tal caso, essendo la sezione sollecitata prevalentemente a momento negativo (fibre superiori), la verifica viene eseguita in condizioni ambientali aggressive.

GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

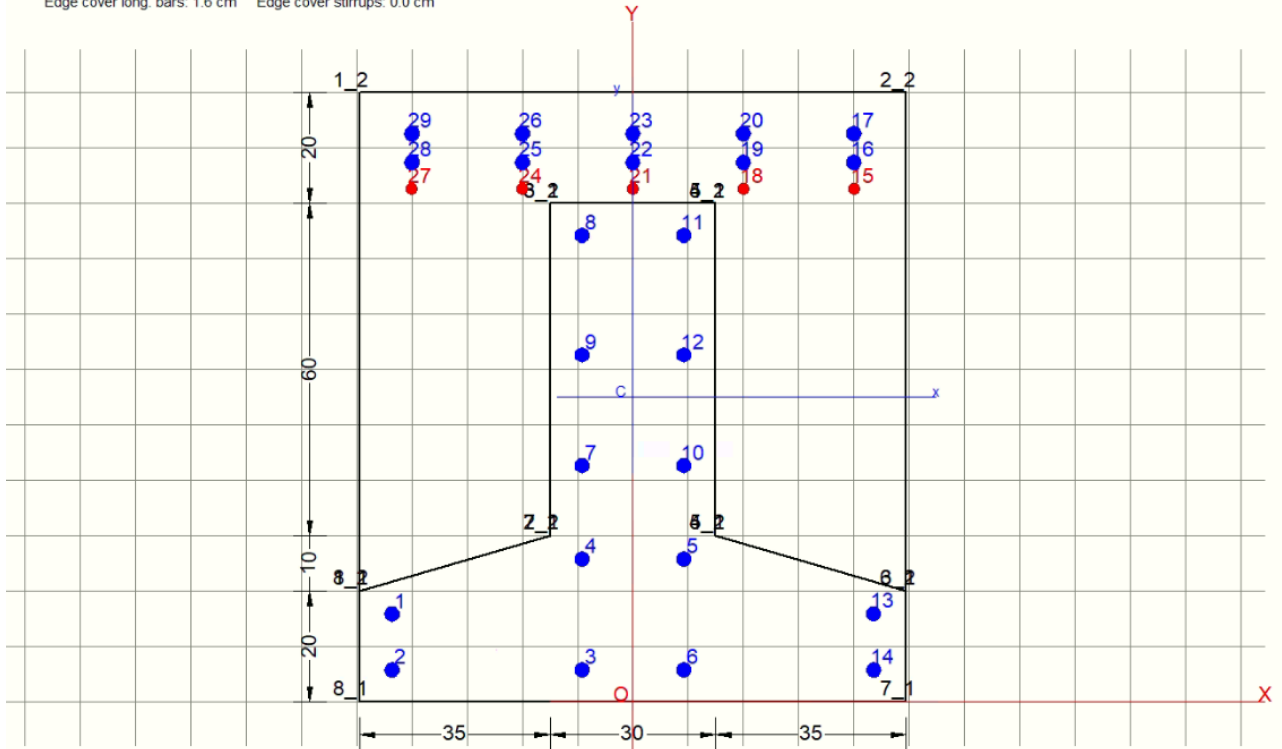
Section Name: TRAVE_GALLERIA_B_appoggio.secEC

(File path: \\SERVER-NEW\Scambio Breng\BR21_01_PE_ANAS_SS291_CA29\WIP\Calcoli\Galleria_B\RCSec\TRAVE_GALLERIA_B_appoggio.secEC)

Section description:

Section type:	Beam
Reference code:	EC2/EC8 Italian Annex
Exposure Class:	XA1- Chemical attack (sligth aggressive)
Stress path:	Constant axial force force to achieve bending ULS
Type of bending:	Uniaxial (neutral axis always parallel to Y axis of reference system)
Reference of assigned forces:	Principal axes y,y of inertia

Section name: TRAVE_GALLERIA_B_appoggio.secEC
 Edge cover long. bars: 1.6 cm Edge cover stirrups: 0.0 cm



MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C40/50
	Design compressive strength fcd:	22.7 MPa
	Shear reduced compressive strength $v1*fcd$:	9.1 MPa (6.9)EC2
	Strain at max strength ec2:	0.0020
	Ultimate strain ecu:	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle
	Mean Elastic Modulus Ecm:	35220.5 MPa
	Mean tensile strength fctm:	3.5 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit in SLS Frequent comb.:	192.0 daN/cm ²
	Crack width limit in SLS Frequent comb.:	0.300 mm
	Stress limit in SLS Quasi-perm. comb.:	14.40 Mpa
	Crack width limit in SLS Quasi-perm. comb.:	0.200 mm

CONCRETE -	Class:	C32/40
	Design compressive strength fcd:	18.1 MPa
	Shear reduced compressive strength $v1*fcd$:	9.1 MPa (6.9)EC2
	Strain at max strength ec2:	0.0020
	Ultimate strain ecu:	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle
	Mean Elastic Modulus Ecm:	33345.8 MPa
	Mean tensile strength fctm:	3.0 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit in SLS Frequent comb.:	192.0 daN/cm ²
	Crack width limit in SLS Frequent comb.:	0.300 mm
	Stress limit in SLS Quasi-perm. comb.:	14.40 Mpa
	Crack width limit in SLS Quasi-perm. comb.:	0.200 mm

STEEL -	Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C
	Characteristic yield stress fyk:	450.00 MPa
	Tensile strength ftk:	540.0 MPa

Design yield stress fyd:	391.3	MPa
Design strength ftd:	391.3	MPa
Design ultimate strain esu:	0.068	
Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa

GEOMETRIC DATA OF REGIONS IN CONCRETE SECTION

REGION N. 1

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C40/50

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	-49.5	20.0
2	-15.0	30.0
3	-15.0	90.0
4	15.0	90.0
5	15.0	30.0
6	49.5	20.0
7	49.5	0.0
8	-49.5	0.0


REGION N. 2

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C32/40

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	-49.5	110.0
2	49.5	110.0
3	49.5	20.0
4	15.0	30.0
5	15.0	90.0
6	-15.0	90.0
7	-15.0	30.0
8	-49.5	20.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.6	15.8	26
2	-43.6	5.7	26
3	-9.2	5.7	26
4	-9.2	25.7	26
5	9.2	25.7	26
6	9.2	5.7	26
7	-9.2	42.6	26
8	-9.2	84.2	26
9	-9.2	62.6	26
10	9.2	42.6	26
11	9.2	84.2	26
12	9.2	62.6	26
13	43.5	15.8	26
14	43.6	5.7	26
15	40.0	92.6	20
16	40.0	97.4	26
17	40.0	102.6	26
18	20.0	92.6	20
19	20.0	97.4	26
20	20.0	102.6	26
21	0.0	92.6	20

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

22	0.0	97.4	26
23	0.0	102.6	26
24	-20.0	92.6	20
25	-20.0	97.4	26
26	-20.0	102.6	26
27	-40.0	92.6	20
28	-40.0	97.4	26
29	-40.0	102.6	26

ULTIMATE LIMIT STATE - ASSIGNED DESIGN FORCES FOR EACH COMBINATION

MX d	Design bending force [kNm] around X axis of reference system		
YY d	Design shear component [kN] parallel to Y reference axis		
Comb.N.	N d	Mx d	Vy d
1	0.00	-2000.00	0.00

SERVICEABILITY LIMIT STATES - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N	Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)		
MX	Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.		
Comb.N.	N	Mx	My
1	0.00	-1283.00 (-935.86)	0.00 (0.00)


SERVICEABILITY LIMIT STATES - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N	Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)		
MX	Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.		
Comb.N.	N	Mx	My
1	0.00	-1012.40 (-935.86)	0.00 (0.00)

SLS FREQUENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Check	Section is assumed always cracked even if flexural tensile stress does not exceeds f_{ctm}									
e1	Greater concrete tensile strain (tension is -) within the effective tension area, assessed in cracked section									
e2	Lesser concrete tensile strain (tension is -) within the effective tension area, assessed in cracked section									
k1	= 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]									
kt	= 0.6 for frequent and characteristic SLS; = 0.4 for q.perm SLS [see eq.(7.9) EC2]									
k2	= $(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ [see eq.(7.13) EC2]									
k3	= 3.400 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex									
k4	= 0.425 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex									
Ø	Bar diameter [mm] or equivalent diameter of tensile bars in $A_{c,eff}$ [eq.(7.11)]									
e sm - e cm	Difference between the mean strain of tensile steel and concrete [eq.(7.8)]									
sr max	Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = $0.6 S_{max} / E_s$									
wk	Max final crack [mm] spacing									
MX crack	Calculated value [mm] of crack width = $sr \max \cdot (e \text{ sm} - e \text{ cm})$ [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets									
MY crack	First cracking bending moment around X axis[kNm]									
	First cracking bending moment around Y axis[kNm]									
Comb.N. Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack	
1 OK	-0.00111	0	0.837	24.3	0.00063 (0.00060)	353	0.222 (0.30)	-935.86	0.00	

SLS QUASI-PERMANENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00088	0	0.837	24.3	0.00054 (0.00047)	353	0.191 (0.20)	-935.86	0.00

SLS - CHECK OF MINIMUM REINFORCEMENT AREA FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)

Comb.N.	Order numbers assigned to SLS combination
Comb.Type	Frequent or Quasi-Permanent combination
Region	Number and type (web or flange) of sub-regions (as parts of the concrete cross-section)
k	Coeff. wich allows for the effects of non-uniform self-equilibrating stresses [eq.(7.1) EC2]
kc	Coeff. wich takes account of the stress distribution prior to cracking [eq.(7.2)-(7.3) EC2]
Act	Area of concrete (for each sub-region) within tension zone just before formation of first crack [eq.(7.1) EC2]
Ned	Axial force [kN] (+ if compressive) acting within each sub-region just before of first crack
Sc	= Ned/Act = mean stress [Mpa] within each concrete sub-region [eq.(7.1) EC2]
k1	Coeff. considering the effects of axial force on the stress distribution (rectangular section or web sub-region)
Fcr	Absolute value of the tensile force [kN] within the flange just prior to cracking
As reg	Area [cm ²] of longitudinal bars within the tension area of each sub-region
As,min	Minimum Area [cm ²] of longitudinal bars to be placed within the tension area of each sub-region

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Act	Ned	Sc	k1	Fcr	As reg	As,min
1	Frequent	1 (Flange)	0.65	0.50	1005	---	---	---	-150.20	21.2	3.2
1	Frequent	2 (Flange)	0.65	0.78	4291	---	---	---	-1119.27	68.8	18.2
1	Quasi-perm.	1 (Flange)	0.65	0.50	1005	---	---	---	-118.52	21.2	3.2
1	Quasi-perm.	2 (Flange)	0.65	0.61	4291	---	---	---	-883.20	68.8	14.4

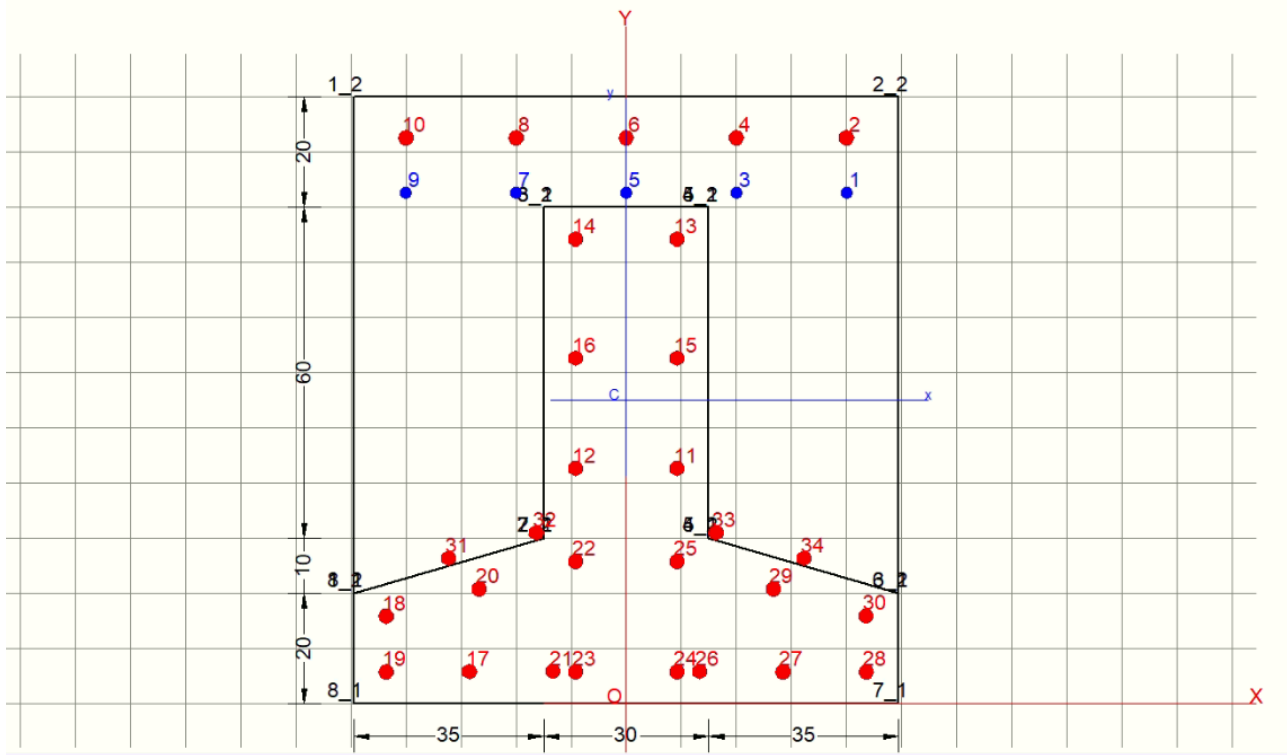
12.1.2 Verifica in mezzzeria (Momento positivo max) – Sezione S2

In tal caso, essendo la sezione sollecitata a momento positivo (fibre inferiori), la verifica viene eseguita in condizioni ambientali ordinarie.

Section description:

Section type:	Beam
Reference code:	EC2/EC8 Italian Annex
Exposure Class:	XC3 - Carbonation (long-term water contact/foundations)
Stress path:	Constant axial force force to achieve bending ULS
Type of bending:	Uniaxial (neutral axis always parallel to Y axis of reference system)
Reference of assigned forces:	Principal axes y,y of inertia

Section name: TRAVE_GALLERIA_B_mezzeria.secEC



MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C40/50
	Design compressive strength fcd:	22.7 MPa
	Shear reduced compressive strenght $v1*fcd$:	9.1 MPa (6.9)EC2
	Strain at max strength ec2:	0.0020
	Ultimate strain ecu:	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rettangle
	Mean Elastic Modulus Ecm:	35220.5 MPa
	Mean tensile strength fctm:	3.5 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit in SLS Frequent comb.:	192.0 daN/cm ²
	Crack width limit in SLS Frequent comb.:	0.400 mm
	Stress limit in SLS Quasi-perm. comb.:	14.40 Mpa
	Crack width limit in SLS Quasi-perm. comb.:	0.300 mm

CONCRETE -	Class:	C32/40
	Design compressive strength fcd:	18.1 MPa
	Shear reduced compressive strenght $v1*fcd$:	9.1 MPa (6.9)EC2
	Strain at max strength ec2:	0.0020
	Ultimate strain ecu:	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rettangle
	Mean Elastic Modulus Ecm:	33345.8 MPa
	Mean tensile strength fctm:	3.0 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit in SLS Frequent comb.:	192.0 daN/cm ²
	Crack width limit in SLS Frequent comb.:	0.400 mm
	Stress limit in SLS Quasi-perm. comb.:	14.40 Mpa

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

	Crack width limit in SLS Quasi-perm. comb.:	0.300	mm
STEEL -	Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C	
	Characteristic yield stress fyk:	450.00	MPa
	Tensile strength ftk:	540.0	MPa
	Design yield stress fyd:	391.3	MPa
	Design strength ftd:	391.3	MPa
	Design ultimate strain esu:	0.068	
	Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa

GEOMETRIC DATA OF REGIONS IN CONCRETE SECTION

REGION N. 1

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C40/50

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	-49.5	20.0
2	-15.0	30.0
3	-15.0	90.0
4	15.0	90.0
5	15.0	30.0
6	49.5	20.0
7	49.5	0.0
8	-49.5	0.0

REGION N. 2

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C32/40

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	-49.5	110.0
2	49.5	110.0
3	49.5	20.0
4	15.0	30.0
5	15.0	90.0
6	-15.0	90.0
7	-15.0	30.0
8	-49.5	20.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	40.0	92.6	20
2	40.0	102.6	26
3	20.0	92.6	20
4	20.0	102.6	26
5	0.0	92.6	20
6	0.0	102.6	26
7	-20.0	92.6	20
8	-20.0	102.6	26
9	-40.0	92.6	20
10	-40.0	102.6	26
11	9.2	42.6	26
12	-9.2	42.6	26
13	9.2	84.2	26
14	-9.2	84.2	26
15	9.2	62.6	26
16	-9.2	62.6	26

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

17	-28.4	5.8	26
18	-43.6	15.8	26
19	-43.6	5.7	26
20	-26.7	20.7	26
21	-13.3	5.8	26
22	-9.2	25.7	26
23	-9.2	5.7	26
24	9.2	5.7	26
25	9.2	25.7	26
26	13.3	5.7	26
27	28.5	5.7	26
28	43.6	5.7	26
29	26.7	20.7	26
30	43.5	15.8	26
31	-32.3	26.3	26
32	-16.3	31.0	26
33	16.3	31.0	26
34	32.3	26.3	26

SERVICEABILITY LIMIT STATES - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	0.00	1350.20 (968.56)	0.00 (0.00)

SERVICEABILITY LIMIT STATES - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION


N Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
MX Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.N.	N	Mx	My
1	0.00	1167.50 (968.56)	0.00 (0.00)

SLS FREQUENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Section is assumed cracked if flexural tensile stress exceeds f_{ctm} in at least one combination
 Check Result of check
 e1 Greater concrete tensile strain (tension is -) assessed in cracked section
 e2 Lesser concrete tensile strain within the entire section (tension is -) assessed in cracked section
 k1 = 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]
 kt = 0.6 for frequent and characteristic SLS; = 0.4 for q.perm SLS [see eq.(7.9) EC2]
 k2 = 0.5 for bending; $=(e1 + e2)/(2 * e1)$ for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]
 k3 = 3.400 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
 k4 = 0.425 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
 Ø Bar diameter [mm] or equivalent diameter of tensile bars in $A_{c,eff}$ [eq.(7.11)]
 e sm - e cm Difference between the mean strain of tensile steel and concrete [eq.(7.8)]
 Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = $0.6 S_{max} / E_s$
 sr max Max final crack [mm] spacing
 wk Calculated value [mm] of crack width = $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$ [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets
 MX crack First cracking bending moment around X axis[kNm]
 MY crack First cracking bending moment around Y axis[kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00103	0	0.500	26.0	0.00057 (0.00057)	221	0.126 (0.40)	968.56	0.00

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

SLS QUASI-PERMANENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	∅	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00089	0	0.500	26.0	0.00056 (0.00049)	221	0.125 (0.30)	968.56	0.00

SLS - CHECK OF MINIMUM REINFORCEMENT AREA FOR CRACK CONTROL [§ 7.3.2 EC2]

Comb.N.	Order numbers assigned to SLS combination
Comb.Type	Frequent or Quasi-Permanent combination
Region	Number and type (web or flange) of sub-regions (as parts of the concrete cross-section)
k	Coeff. wich allows for the effects of non-uniform self-equilibrating stresse [eq.(7.1) EC2]
kc	Coeff. wich takes account of the stress distribution prior to cracking [eq.(7.2)-(7.3) EC2]
Act	Area of concrete (for each sub-region) within tension zone just before formation of first crack [eq.(7.1) EC2]
Ned	Axial force [kN] (+ if compressive) acting within each sub-region just before of first crack
Sc	= Ned/Act = mean stress [Mpa] within each concrete sub-region [eq.(7.1) EC2]
k1	Coeff. considering the effects of axial force on the stress distribution (rectangular section or web sub-region)
Fcr	Absolute value of the tensile force [kN] within the flange just prior to cracking
As reg	Area [cm²] of longitudinal bars within the tension area of each sub-region
As,min	Minimum Area [cm²] of longitudinal bars to be placed within the tension area of each sub-region

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Act	Ned	Sc	k1	Fcr	As reg	As,min
1	Frequent	1 (Flange)	0.65	0.80	3315	---	---	---	-1032.96	84.9	16.8
1	Frequent	2 (Flange)	0.65	0.50	1932	---	---	---	-254.63	21.2	5.3
1	Quasi-perm.	1 (Flange)	0.65	0.69	3315	---	---	---	-893.18	84.9	14.5
1	Quasi-perm.	2 (Flange)	0.65	0.50	1932	---	---	---	-220.18	21.2	5.3

12.2 Verifiche allo stato limite di limitazione delle tensioni

La massima tensione di compressione di compressione del calcestruzzo deve rispettare le seguenti limitazioni:

- $\sigma_c < 0.60 f_{ck} = 0.60 \times 32 = 19.2$ Mpa, per combinazione caratteristica (rara);
- $\sigma_c < 0.45 f_{ck} = 0.45 \times 32 = 14.4$ Mpa per combinazione quasi permanente.

Per l'acciaio la tensione massima σ_s per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

- $\sigma_s < 0.80 f_{yk} = 0.80 \times 450 = 360$ Mpa.

Il calcolo delle tensioni avviene tramite l'uso del software VCASLU.

12.2.1 Combinazione Rara

Sezione F1 - filo ritto (Momento negativo)

Verifica C.A. S.L.U. - File: soletta_appoggio

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

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	110	1	26.55	7.4
			2	26.55	12.6
			3	15.71	17.4
			4	10.62	94.2
			5	21.24	104.3
			6	0	89.3

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
 M_{xEd} -1463.9 kNm
 M_{yEd} 0

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

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

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

Materiali

B450C		C32/40	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm ²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	210,000 N/mm ²	f_{cd}	18.13
E_s/E_c	10	f_{cc}/f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.863 ‰	$\sigma_{c,adm}$	12.25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm ²	τ_{co}	0.7333
		τ_{c1}	2.114

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

Verifica

N° iterazioni:

Precompresso

Sezione F1 - filo ritto (Momento positivo)

Verifica C.A. S.L.U. - File: soletta_appoggio_M+

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

TITOLO :

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	110

N°	As [cm²]	d [cm]
1	26.55	7.4
2	26.55	12.6
3	15.71	17.4
4	26.55	83.7

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

File

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

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

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

Materiali

B450C		C32/40	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm ²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	210.000 N/mm ²	f_{cd}	18.13
E_s/E_c	10	f_{cc}/f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.863 ‰	$\sigma_{c,adm}$	12.25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm ²	τ_{co}	0.7333
		τ_{c1}	2.114

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²

Verifica

N° iterazioni:

Precompresso

ϵ_s 0.9864 ‰
 d 83.7 cm
 x 16.85 x/d 0.2013
 δ 0.7

Sezione S2 - mezzeria (Momento positivo max)

Verifica C.A. S.L.U. - File: soletta_mezzeria

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

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	110

N°	As [cm²]	d [cm]
1	26.55	7.4
2	0	12.6
3	15.71	17.4
4	10.62	94.2
5	42.47	104.3
6	10.62	89.3

Tipologia Sezione:
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Diagramma della sezione:

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

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	kN
M _{xEd}	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1481.5"/>	kNm
M _{yEd}	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	

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

Materiali

B450C	C32/40
ϵ_{su} 67.5 ‰	ϵ_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391.3 N/mm²	ϵ_{cu} 3.5 ‰
E_s 210,000 N/mm²	f_{cd} 18.13
E_s/E_c 10	f_{cc}/f_{cd} 0.8
ϵ_{syd} 1.863 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 12.25
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²	τ_{co} 0.7333
	τ_{c1} 2.114

σ_c -9.615 N/mm²
 σ_s 245.1 N/mm²
 ϵ_s 1.167 ‰
d 104.3 cm
x 29.39 x/d 0.2817
 δ 0.7922

Verifica N° iterazioni:

Precompresso

Si riassumono le tensioni calcolate in ogni sezione e gli esiti delle verifiche:

COMBINAZIONE RARA								
Sezione	Posizione	Sezione	Momento Flettente [kNm/m]	Tensione nel calcestruzzo [N/mm²]	Tensione nell'acciaio [N/mm²]	Tensione limite nel calcestruzzo [N/mm²]	Tensione limite nell'acciaio [N/mm²]	Esito della verifica
S1	A filo parete_M-	100x110	-1463.9	9.86	253.6	19.2	360	VERIFICA
S1	A filo parete_M+	100x110	425.9	5.22	207.1	19.2	360	VERIFICA
S2	Campata	100x110	1481.5	9.61	245.1	19.2	360	VERIFICA

Le verifiche tensionali risultano soddisfatte.

12.2.2 Combinazione Quasi permanente

Sezione S1- filo ritto (Momento negativo)

Verifica C.A. S.L.U. - File: soletta_appoggio

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

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	110

N°	As [cm²]	d [cm]
1	26.55	7.4
2	26.55	12.6
3	15.71	17.4
4	10.62	94.2
5	21.24	104.3
6	0	89.3

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
 M_{xEd} -1012.4 kNm
 M_{yEd} 0

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

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

Materiali
 B450C C32/40
 ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰
 E_s 210,000 N/mm² f_{cd} 18.13 N/mm²
 E_s/E_c 10 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ϵ_{syd} 1.863 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 12.25 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
 τ_{c1} 2.114

σ_c -6.823 N/mm²
 σ_s 175.4 N/mm²
 ϵ_s 0.8352 ‰
 d 102.6 cm
 x 28.74 x/d 0.2801
 δ 0.7901

Verifica
 N° iterazioni:
 Precompresso

Sezione S2 - mezzeria (Momento positivo max)

Verifica C.A. S.L.U. - File: soletta_mezzeria

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

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

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 7 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	110

N°	As [cm²]	d [cm]
1	26.55	7.4
2	0	12.6
3	15.71	17.4
4	10.62	94.2
5	42.47	104.3
6	10.62	89.3

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n
 N_{Ed} 0 kN
 M_{xEd} 0 1092.6 kNm
 M_{yEd} 0

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

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

Materiali
 B450C C32/40
 ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
 E_s 210.000 N/mm² f_{cd} 18.13
 E_s/E_c 10 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ε_{syd} 1.863 ‰ σ_{c,adm} 12.25
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
 τ_{c1} 2.114

σ_c -7.091 N/mm²
 σ_s 180.8 N/mm²
 ε_s 0.8608 ‰
 d 104.3 cm
 x 29.39 x/d 0.2817
 δ 0.7922

Verifica
 N° iterazioni: 4
 Precompresso

Si riassumono le tensioni calcolate in ogni sezione e gli esiti delle verifiche:

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE								
Sezione	Posizione	Sezione	Momento Flettente [kNm/m]	Tensione nel calcestruzzo [N/mm²]	Tensione nell'acciaio [N/mm²]	Tensione limite nel calcestruzzo [N/mm²]	Tensione limite nell'acciaio [N/mm²]	Esito della verifica
S1	A filo parete	100x110	-1012.4	6.82	175.4	14.4	360	VERIFICA
S2	Campata	100x110	1092.6	7.091	180.8	14.4	360	VERIFICA

Le verifiche tensionali risultano soddisfatte.

13 RITTI - VERIFICA STRUTTURALE - PORTALE FERROVIARIO

13.1 Sezioni di verifica ed armatura di calcolo

La sezione di verifica è rettangolare con base pari a 100 cm ed altezza pari a 130 cm.

Le sezioni di verifica sono riportate nella figura seguente.

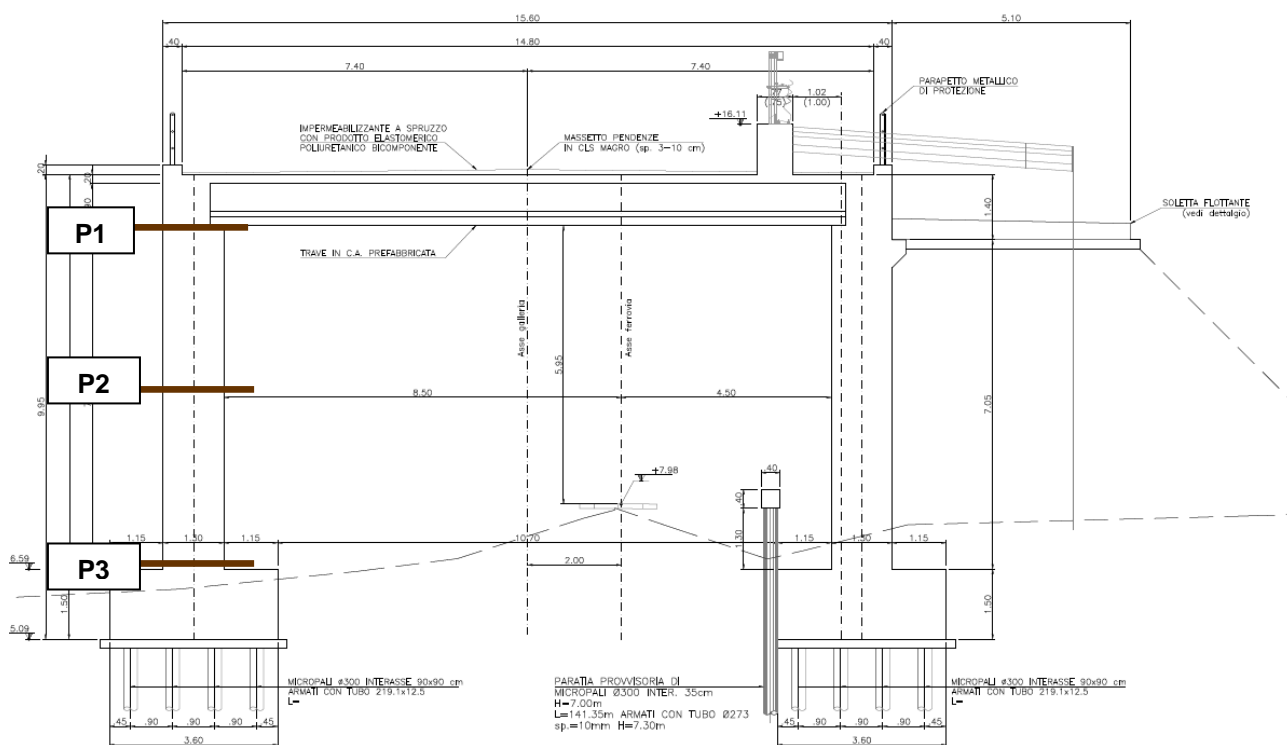


Figura 13-1: Sezioni di verifica

Nella tabella seguente si riportano le armature di calcolo assunte per ogni sezione.

Sezione	Posizione	Armatura lato contro terra	Armatura lato interno
P1	A filo intradosso soletta superiore	$\phi 26 / 20 + \phi 26 / 20$	$\phi 20 / 20^*$
P2	Mezzeria	$\phi 26 / 20$	$\phi 20 / 20$
P3	A filo estradosso zattera di fondazione	$\phi 26 / 20$	$\phi 20 / 20$

* l'armatura è posizionata dietro il retrotrave

Tabella 13-1: Sezioni di verifica - Armature di calcolo

13.2 Verifiche allo Stato Limite Ultimo per presso-flessione

Le verifiche vengono eseguite in ognuna delle sezioni precedentemente individuate prendendo in esame le seguenti combinazioni delle azioni sollecitanti:

- $M_{max} + N$;
- $M_{min} + N$;
- $M + N_{min}$;
- $M + N_{max}$.

I momenti che tendono le fibre contro terra sono assunti negativi, mentre quelli che tendono le fibre interne sono assunti positivi. Gli sforzi normali di compressione hanno segno negativo.

Le verifiche vengono svolte mediante il software VCASLU.

Si riportano in modo esplicito le verifiche svolte per la combinazione peggiore tra le precedenti elencate (minore coefficiente di sicurezza), sebbene la verifica sia stata comunque eseguita per tutte le combinazioni.

13.2.1 Verifica Sezione di Testa (P1)

L'azione normale di calcolo è assunta pari a $N_{sd} = -893 \text{ kN/m}$.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $M_{sd} = -2419.6 \text{ kNm/m}$.

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	130

N°	As [cm²]	d [cm]
1	26.55	5.8
2	26.55	11
3	15.71	104

Tipologia Sezione:
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Tipologia Sezione:
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Diagramma:

Sollecitazioni:
 S.L.U. Metodo n
 N Ed: 893 kN
 M Ed: -2419.6 kNm
 M yEd: 0 kNm

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

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

Materiali:
 B450C C32/40
 E_{su}: 67.5 ‰ E_{c2}: 2 ‰
 f_{yd}: 391.3 N/mm² E_{cu}: 3.5 ‰
 E_s: 210,000 N/mm² f_{cd}: 18.13 ‰
 E_s/E_c: 10 f_{cc}/f_{cd}: 0.8
 E_{syd}: 1.863 ‰ σ_{c,adm}: 12.25 N/mm²
 σ_{s,adm}: 255 N/mm² τ_{co}: 0.7333
 τ_{c1}: 2.114

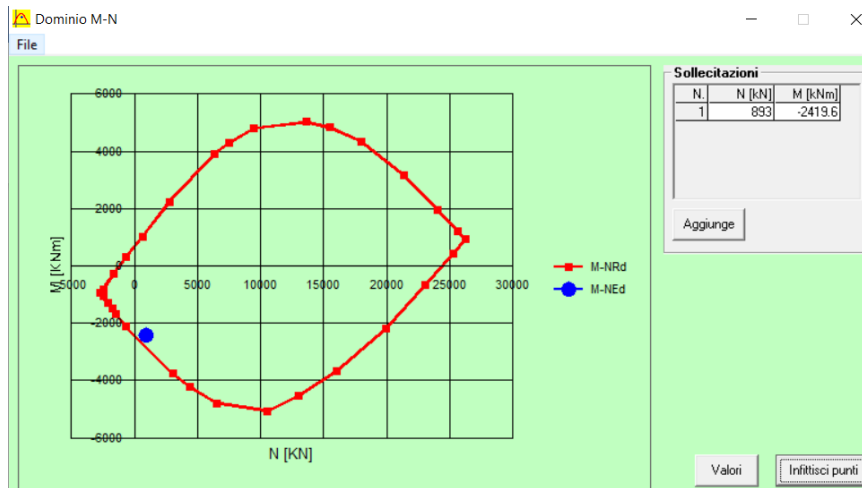
Calcolo:
 M_{xRd}: -2.876 kN m
 σ_c: -18.13 N/mm²
 σ_s: 391.3 N/mm²
 ε_c: 3.5 ‰
 ε_s: 16.48 ‰
 d: 124.2 cm
 x: 21.76 w/d: 0.1752
 δ: 0.7

Altri parametri:
 Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato
 Tipo flessione: Retta Deviata
 N° rett.: 100
 Calcola MRd Dominio M-N
 L₀: 0 cm Col. modello
 Precompresso

Il momento resistente della sezione vale $M_{rd} = - 2876 \text{ kNm/m}$.

Il rapporto $M_{rd}/M_{sd} = 1.19$.

Nell'immagine successiva è riportato il dominio di resistenza della sezione:



La verifica risulta pertanto soddisfatta.

13.2.2 Verifica Sezione di Mezzeria (P2)

L'azione normale di calcolo è assunta pari a $N_{sd} = -415.36 \text{ kN/m}$.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $M_{sd} = 799.33 \text{ kNm/m}$.

Verifica C.A. S.L.U. - File: piedritto_mezz_Nmax

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

Titolo : _____

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 3 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	130	1	26.55	5.8
			2	0	10.5
			3	15.71	124.5

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 415.36 459.02 kN
 M_{xEd} 799.33 573.3 kNm
 M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls

Materiali: B450C C32/40

ϵ_{su} 67.5 ‰	ϵ_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391.3 N/mm²	ϵ_{cu} 3.5 ‰
E_s 210.000 N/mm²	f_{cd} 18.13
E_s/E_c 10	f_{cc}/f_{cd} 0.8
ϵ_{syd} 1.863 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 12.25
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²	τ_{co} 0.7333
	τ_{c1} 2.114

M_{xRd} 1.005 kN m

σ_c -18.13 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 67.1 ‰
 d 124.5 cm
 x 6.172 x/d 0.04958
 δ 0.7

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

Calcola MRd Dominio M-N

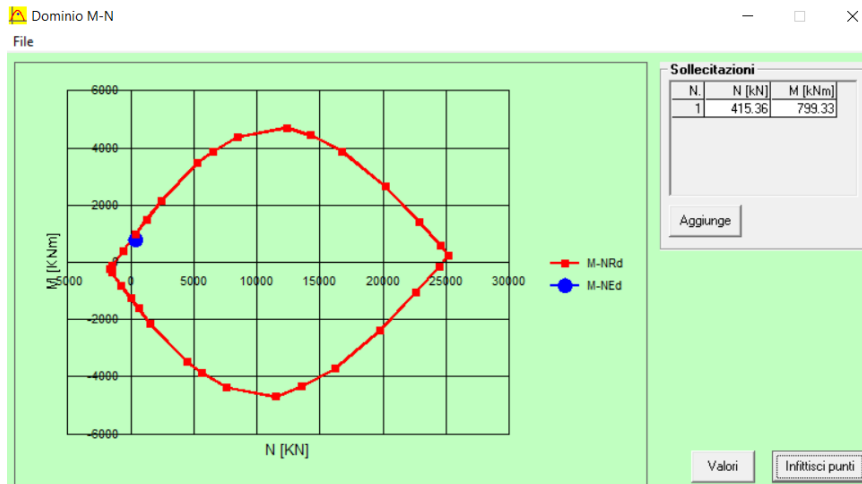
L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Il momento resistente della sezione vale $M_{rd} = 1005 \text{ kNm/m}$.

Il rapporto $M_{rd}/M_{sd} = 1.26$.

Nell'immagine successiva è riportato il dominio di resistenza della sezione:



La verifica risulta pertanto soddisfatta.

13.2.3 Verifica Sezione di Base (P3)

L'azione normale di calcolo è assunta pari a $N_{sd} = -1295.67 \text{ kN/m}$.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $M_{sd} = 768.69 \text{ kNm/m}$.

Verifica C.A. S.L.U. - File: piedritto_base_Mmax

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

Titolo: _____

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 3 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	130	1	26.55	5.8
			2	0	10.5
			3	15.71	124.5


Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n
N_{Ed}: 1295.67 kN
M_{xEd}: 768.69 kNm
M_{yEd}: 0

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

Materiali
B450C: $\epsilon_{su} = 67.5\%$, $f_{yd} = 391.3 \text{ N/mm}^2$, $E_s = 210.000 \text{ N/mm}^2$, $E_s/E_c = 10$, $\epsilon_{syd} = 1.863\%$, $\sigma_{s,adm} = 255 \text{ N/mm}^2$
C32/40: $\epsilon_{c2} = 2\%$, $\epsilon_{cu} = 3.5\%$, $f_{cd} = 18.13$, $f_{cc}/f_{cd} = 0.8$, $\sigma_{c,adm} = 12.25$, $\tau_{co} = 0.7333$, $\tau_{c1} = 2.114$

Calcoli
M_{xRd}: 1.524 kNm
 $\sigma_c = -18.13 \text{ N/mm}^2$
 $\sigma_s = 391.3 \text{ N/mm}^2$
 $\epsilon_c = 3.5\%$
 $\epsilon_s = 47\%$
d: 124.5 cm
x: 8.628, x/d: 0.0693, $\delta = 0.7$

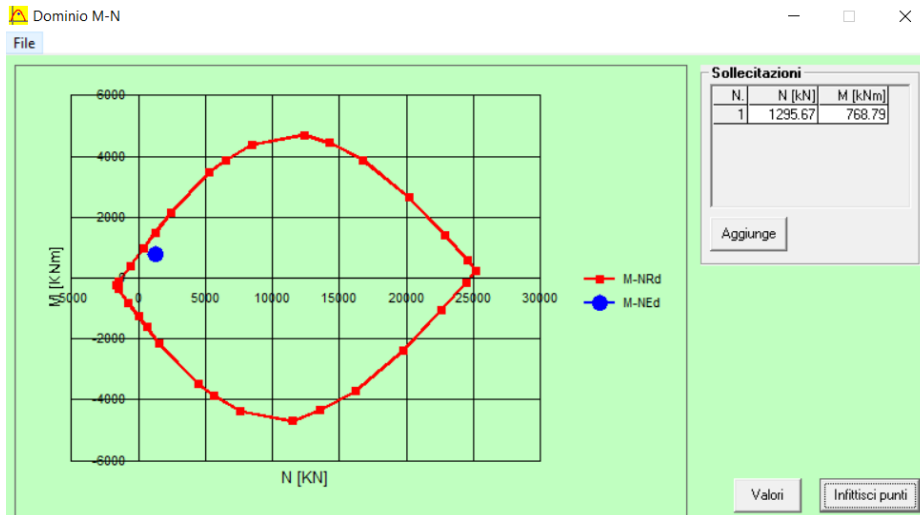
Metodo di calcolo: S.L.U. + Metodo n
Tipo flessione: Retta Deviata
N° rett.: 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀: 0 cm Col. modello
 Precompresso

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Il momento resistente della sezione vale $M_{rd} = 1524 \text{ kNm/m}$.

Il rapporto $M_{rd}/M_{sd} = 1.98$.

Nell'immagine successiva è riportato il dominio di resistenza della sezione:



La verifica risulta pertanto soddisfatta.


13.2.4 Riepilogo degli esiti delle verifiche

Si riporta nella tabella seguente l'esito delle verifiche eseguite per tutte le combinazioni elencate all'inizio del paragrafo 14.2.

Sezione	Posizione	M_{max} [kNm/m]	N [kN/m]	M_{rd} [kNm/m]	FS	M_{min} [kNm/m]	N [kN/m]	M_{rd} [kNm/m]	FS
P1	A filo intradosso solettone di copertura	713.5035	-307.933	849.7	1.19	-2419.57	-893.024	-2876	1.19
P2	Mezzeria	840.6656	-656.83	1148	1.37	-1203.17	-1083.53	-1894	1.57
P3	A filo estradosso solettone di fondazione	768.7969	-1295.67	1524	1.98	-581.11	-1124.77	-1918	3.30

Sezione	Posizione	FS	M [kNm/m]	N_{min} [kN/m]	M_{rd} [kNm/m]	FS	M [kNm/m]	N_{max} [kN/m]	M_{rd} [kNm/m]	FS
P1	A filo intradosso soletta di copertura	1.19	-2142.30	-1015.22	-2930.00	1.37	657.27	-307.93	854.60	1.30
P2	Mezzeria	1.57	-1047.11	-1165.67	-1941.00	1.85	799.34	-415.36	1005.00	1.26
P3	A filo estradosso zattera di fondazione	3.30	619.61	-1495.51	1641.00	2.65	-453.72	-650.90	-1644.00	3.62

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

13.3 Verifiche allo Stato Limite Ultimo per taglio

Le verifiche vengono eseguite in corrispondenza della sezione sommitale (P1) e della sezione di base (P3). Si prendono in considerazione le seguenti combinazioni delle azioni sollecitanti:

- $V_{max} + N$;
- $V_{min} + N$;
- $V + N_{min}$;
- $V + N_{max}$.

Si riportano in modo esplicito le verifiche svolte per la combinazione peggiore tra le precedenti elencate (minore coefficiente di sicurezza), sebbene la verifica sia stata comunque eseguita per tutte le combinazioni.

Poiché nella sezione sommitale la verifica a taglio per elementi non armati a taglio non è soddisfatta, si decide di inserire un'armatura a taglio costituita da spille ϕ 14/60 x 40 lungo tutta l'altezza dei ritti.

13.3.1 Verifica Sezione di Testa (P1)

L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a $V_{sd} = 512.63$ kN/m.

Lo sforzo normale di calcolo corrispondente è pari a $N_{sd} = -769.63$ kN/m.


Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

larghezza sezione	b_w	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	1300
altezza utile sezione	d	[mm]	1040
armatura longitudinale	A_{sl}	[mm ²]	1571
rapporto geometrico di armatura longitudinale (<0.02)	ρ_l		0.002
	k		1.439
	v_{min}	[MPa]	0.342
tensione media di compressione nella sezione (<0.2 f_{cd})	σ_{cp}	[MPa]	0.59
resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	[MPa]	32.0
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	448
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	513

non verificato

La verifica assenza di armature trasversali resistenti a taglio risulta non soddisfatta ($V_{Rd}/V_{Ed} = 0.87 < 1$).

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

larghezza sezione	b_w	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	1300
altezza utile sezione	d	[mm]	1040
numero armature trasversali	$n^\circ \emptyset$		2.50
diametro armature trasversali	\emptyset	[mm]	14
interasse armature trasversali	s	[mm]	600
area dell'armatura trasversale a taglio	A_{sw}	[mm ²]	385
resistenza di progetto	f_{yd}	[MPa]	391
resistenza a compressione del cls	f_{cd}	[MPa]	18.1
angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	α	[DEG]	90
	$\text{ctg } \theta$		2.5
	θ	[DEG]	22
tensione di compressione calcestruzzo	σ_{cp}	[MPa]	0.59
coefficiente maggiorativo in elementi compressi	α_c		1.03
resistenza a taglio trazione	V_{Rsd}	[kN]	587
resistenza a compressione del cls ridotta	f_{cd}'	[MPa]	9.1
resistenza a taglio compressione	V_{Rcd}	[kN]	3022
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	587
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	513

verificato


La verifica con armature trasversali resistenti a taglio risulta soddisfatta ($V_{Rd}/V_{Ed} = 1.14 > 1$).

13.3.2 Verifica Sezione di Base (P3)

L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a $V_{sd} = 417.09$ kN/m.

Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

larghezza sezione	b_w	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	1300
altezza utile sezione	d	[mm]	1242
numero armature trasversali	$n^\circ \emptyset$		2.50
diametro armature trasversali	\emptyset	[mm]	14
interasse armature trasversali	s	[mm]	600
area dell'armatura trasversale a taglio	A_{sw}	[mm ²]	385
resistenza di progetto	f_{yd}	[MPa]	391
resistenza a compressione del cls	f_{cd}	[MPa]	18.1
angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	α	[DEG]	90
	$\text{ctg } \theta$		2.5
	θ	[DEG]	22
tensione di compressione calcestruzzo	σ_{cp}	[MPa]	1.05

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

coefficiente maggiorativo in elementi compressi	α_c		1.06
resistenza a taglio trazione	V_{Rsd}	[kN]	701
resistenza a compressione del cls ridotta	f_{cd}'	[MPa]	9.1
resistenza a taglio compressione	V_{Rcd}	[kN]	3697
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	701
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	501

verificato

La verifica con armature trasversali resistenti a taglio risulta soddisfatta ($V_{Rd}/V_{Ed} = 1.40 > 1$).


13.3.3 Riepilogo degli esiti delle verifiche

Si riporta nella tabella seguente l'esito delle verifiche eseguite per tutte le combinazioni elencate all'inizio del paragrafo 14.2.

Posizione	V_{max} [kN/m]	N [kN/m]	V_{rd} [kN/m]	FS	V_{min} [kN/m]	N [kN/m]	V_{rd} [kN/m]	FS
A filo intradosso soletta di copertura	512.63	-769.729	587	1.15	158.641	-307.933	587	3.70
A filo estradosso zattera di fondazione	357.224	-1363.327	709	1.98	-153.735	-1277.842	709	4.61

Posizione	V [kN/m]	N_{min} [kN/m]	V_{rd} [kN/m]	FS	V [kN/m]	N_{max} [kN]	V_{rd} [kN/m]	FS
A filo intradosso soletta di copertura	319.295	-1015.218	587	1.84	168.839	-307.933	587	3.48
A filo estradosso zattera di fondazione	319.295	-1495.508	709	2.22	-417.087	-650.895	709	1.70

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

13.4 Verifiche allo Stato Limite di fessurazione

Per la verifica di fessurazione sono state considerate condizioni ambientali aggressive per le parti d'opera contro terra, condizioni ambientali ordinarie per le altre parti d'opera ed armatura poco sensibile (armatura lenta).

La scelta dello stato limite di fessurazione è stata effettuata sulla base di quanto indicato nella Tab. 2.1.IV delle NTC08, di seguito riportata.

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile Stato limite	w_k	Poco sensibile Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

I valori limite di apertura delle fessure sono i seguenti:


- $w_1 = 0.2$ mm;
- $w_2 = 0.3$ mm;
- $w_3 = 0.4$ mm.

13.4.1 Sollecitazioni di calcolo

Si riportano nella tabella seguente le sollecitazioni allo SLE in combinazione frequente e quasi permanente usate nelle verifiche a fessurazione.

COMBINAZIONE FREQUENTE

SEZIONE	M_{max} [kNm/m]	N [KN/m]	M_{min} [kNm/m]	N [KN/m]	M [kNm/m]	N_{min} [KN/m]	M [kNm/m]	N_{max} [KN/m]
P1	-119.46	-377.67	-1542.34	-634.38	-1475.51	-680.73	-175.76	-374.70
P2	509.84	-490.50	-767.40	-750.01	-729.30	-792.17	488.50	-486.14
P3	428.93	-932.63	84.89	-940.26	406.34	-1036.50	-266.03	-730.47

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

SEZIONE	M _{max} [kNm/m]	N [KN/m]	M _{min} [kNm/m]	N [KN/m]	M [kNm/m]	N _{min} [KN/m]	M [kNm/m]	N _{max} [KN/m]
P1	-198.77	-386.56	-1226.80	-522.79	-1226.80	-522.79	-255.01	-386.56
P2	421.90	-498.01	-597.74	-634.23	-597.74	-634.23	400.64	-498.01
P3	359.61	-878.56	98.34	-810.45	359.61	-878.56	-222.56	-742.33

Le verifiche vengono eseguite in ogni sezione, considerando il massimo momento negativo e positivo, con lo sforzo normale associato.

Nel caso di verifica a momento negativo (fibre contro terra tesa) vengono assunte condizioni ambientali aggressive, per le verifiche a momento positivo (fibre interne tese) vengono assunte condizioni ambientali ordinarie.

13.4.2 Verifica sezione di testa (P1) - Momento negativo

Elemento strutturale: PIEDRITTO

combo: SLE-F


Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica

N _{Ed} = sforzo normale	634.4 [kN]
M _{Ed} = momento flettente	1542.3 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	274 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	100 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k ₁ = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k ₂ = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k ₃ =	3.4
k ₄ =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0366
A _s = area della sezione di acciaio nell'area A _{c,eff}	5309 [mm ²]
A _{c,eff} = b h _{c,eff}	145000 [mm ²]
b =	1000 [mm]
h _{c,eff} =	145 [mm]

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\varepsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00070
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00060
$\sigma_s =$ tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	207.2 [MPa]
$f_{ctm} =$ resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
$E_s =$ modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
$E_{cm} =$ modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
$\alpha_e =$ rapporto E_s / E_{cm}	6.1
$k_t =$ coefficiente di sollecitazione	0.6

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \varepsilon_{sm} \Delta_{smax} =$ valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.19 [mm]
$w =$ valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]

verificato

Elemento strutturale: **PIEDRITTO**

combo: **SLE-QP**

Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica


$N_{Ed} =$ sforzo normale	522.8 [kN]
$M_{Ed} =$ momento flettente	1226.8 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff} =$ distanza massima tra le fessure	274 [mm]
$c =$ copriferro	45 [mm]
$s =$ interasse barre tese	100 [mm]
$\phi =$ diametro della barra	26 [mm]
$k_1 =$ coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
$k_2 =$ coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
$k_3 =$	3.4
$k_4 =$	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0366
$A_s =$ area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	5309 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	145000 [mm ²]
$b =$	1000 [mm]
$h_{c,eff} =$	145 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\varepsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00059
--	---------

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00048
$\sigma_s =$ tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	163.5 [MPa]
$f_{ctm} =$ resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
$E_s =$ modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
$E_{cm} =$ modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
$\alpha_e =$ rapporto E_s/E_{cm}	6.1
$k_t =$ coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax} =$ valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.16 [mm]
$w =$ valore limite di apertura delle fessure	0.20 [mm]

verificato

13.4.3 Verifica sezione di mezzeria (P2) - Momento negativo

Elemento strutturale: PIEDRITTO

combo: SLE-F

Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica


$N_{Ed} =$ sforzo normale	750.0 [kN]
$M_{Ed} =$ momento flettente	767.4 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff} =$ distanza massima tra le fessure	394 [mm]
$c =$ copriferro	45 [mm]
$s =$ interasse barre tese	200 [mm]
$\phi =$ diametro della barra	26 [mm]
$k_1 =$ coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
$k_2 =$ coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
$k_3 =$	3.4
$k_4 =$	0.425
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$	0.0183
$A_s =$ area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	2655 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	145000 [mm ²]
$b =$	1000 [mm]
$h_{c,eff} =$	145 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00038
---	---------

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00038
$\sigma_s =$ tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	130.3 [MPa]
$f_{ctm} =$ resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
$E_s =$ modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
$E_{cm} =$ modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
$\alpha_e =$ rapporto E_s/E_{cm}	6.1
$k_t =$ coefficiente di sollecitazione	0.6

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax} =$ valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.15 [mm]
$w =$ valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]

verificato

Elemento strutturale: PIEDRITTO

combo: SLE-QP

Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica


$N_{Ed} =$ sforzo normale	634.2 [kN]
$M_{Ed} =$ momento flettente	597.7 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff} =$ distanza massima tra le fessure	394 [mm]
$c =$ copriferro	45 [mm]
$s =$ interasse barre tese	200 [mm]
$\phi =$ diametro della barra	26 [mm]
$k_1 =$ coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
$k_2 =$ coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
$k_3 =$	3.4
$k_4 =$	0.425
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$	0.0183
$A_s =$ area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	2655 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	145000 [mm ²]
$b =$	1000 [mm]
$h_{c,eff} =$	145 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($>= 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00028
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00028

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	94.6 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s/E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.11 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.20 [mm]

verificato

13.4.4 Verifica sezione di mezzeria (P2) - Momento positivo

Elemento strutturale: **PIEDRITTO**

combo: **SLE-F**

Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica


N_{Ed} = sforzo normale	490.5 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	509.8 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	451 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	200 [mm]
ϕ = diametro della barra	20 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$	0.0114
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	1571 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	137500 [mm ²]
b =	1000 [mm]
$h_{c,eff}$ =	138 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00039
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00039
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	135.3 [MPa]

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s/E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.6

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.18 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.40 [mm]

verificato

Elemento strutturale: PIEDRITTO

combo: SLE-QP

Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica


N_{Ed} = sforzo normale	498.0 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	421.9 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	451 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	200 [mm]
ϕ = diametro della barra	20 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$	0.0114
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	1571 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	137500 [mm ²]
b =	1000 [mm]
$h_{c,eff}$ =	138 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00026
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00026
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	89.4 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s/E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

$W_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.12 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]

verificato

13.4.5 Verifica sezione di base (P3) - Momento negativo

Elemento strutturale: PIEDRITTO

combo: SLE-F

Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica


N_{Ed} = sforzo normale	730.5 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	266.0 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	394 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	200 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$	0.0183
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	2655 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	145000 [mm ²]
b =	1000 [mm]
$h_{c,eff}$ =	145 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00002
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00002
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	6.6 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s/E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.6

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \varepsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.01 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]

verificato

Elemento strutturale: PIEDRITTO

combo: SLE-QP

Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica


N_{Ed} = sforzo normale	742.3 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	222.6 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	394 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	200 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$	0.0183
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	2655 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	145000 [mm ²]
b =	1000 [mm]
$h_{c,eff}$ =	145 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\varepsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00001
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00001
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	2.3 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

α_e = rapporto E_s/E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \varepsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.00 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.20 [mm]

verificato

13.4.6 Verifica sezione di base (P3) - Momento positivo

Elemento strutturale: PIEDRITTO

combo: SLE-F

Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica


N_{Ed} = sforzo normale	932.6 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	428.9 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	451 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	200 [mm]
ϕ = diametro della barra	20 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$	0.0114
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	1571 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	137500 [mm ²]
b =	1000 [mm]
$h_{c,eff}$ =	138 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\varepsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00007
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00007
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	23.9 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s/E_{cm}	6.1

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

k_t = coefficiente di sollecitazione 0.6

Verifica dell'apertura delle fessure

$W_d = \varepsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure 0.03 [mm]
 w = valore limite di apertura delle fessure 0.40 [mm]

verificato

Elemento strutturale: PIEDRITTO

combo: SLE-QP

Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica


N_{Ed} = sforzo normale 878.6 [kN]
 M_{Ed} = momento flettente 359.6 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure 451 [mm]
 c = copriferro 45 [mm]
 s = interasse barre tese 200 [mm]
 ϕ = diametro della barra 20 [mm]
 k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra 0.8
 k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni 0.5
 k_3 = 3.4
 k_4 = 0.425
 $\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$ 0.0114
 A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$ 1571 [mm²]
 $A_{c,eff} = b h_{c,eff}$ 137500 [mm²]
 b = 1000 [mm]
 $h_{c,eff}$ = 138 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\varepsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$) 0.00004
 $0.6 \sigma_s / E_s =$ 0.00004
 σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata 13.6 [MPa]
 f_{ctm} = resistenza media a trazione 3.10 [MPa]
 E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio 206000 [MPa]
 E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo 33643 [MPa]
 α_e = rapporto E_s / E_{cm} 6.1
 k_t = coefficiente di sollecitazione 0.4

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Verifica dell'apertura delle fessure

$W_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.02 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]

verificato

13.5 Verifiche allo stato limite di limitazione delle tensioni

La massima tensione di compressione di compressione del calcestruzzo deve rispettare le seguenti limitazioni:

- $\sigma_c < 0.60 f_{ck} = 0.60 \times 32 = 19.2$ Mpa, per combinazione caratteristica (rara);
- $\sigma_c < 0.45 f_{ck} = 0.45 \times 32 = 14.4$ Mpa per combinazione quasi permanente.

Per l'acciaio la tensione massima σ_s per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

- $\sigma_s < 0.80 f_{yk} = 0.80 \times 450 = 360$ Mpa.

Il calcolo delle tensioni avviene tramite l'uso del software VCASLU.

Si riportano le tabelle riassuntive con gli esiti delle verifiche per ogni sezione, eseguite considerando le combinazioni delle azioni descritte al paragrafo 14.2.

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

Mmax;N

COMBINAZIONE RARA

Sezione	Posizione	sezione	Momento Flettente [kNm/m]	N [KN/m]	Tensione nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione nell'acciaio [N/mm ²]	Tensione limite nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione limite nell'acciaio [N/mm ²]	Esito della verifica
P1	A filo intradosso soletta di copertura	100x130	405.3	-350.548	3.88	135.4	19.2	360	VERIFICA
P2	Mezzeria	100x130	596.6	-463.372	4.68	169.2	19.2	360	VERIFICA
P3	A filo estradosso zattera di fondazione	100x130	532.4	-959.752	3.458	44.05	19.2	360	VERIFICA

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

Sezione	Posizione	sezione	Momento Flettente [kNm/m]	N [KN/m]	Tensione nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione nell'acciaio [N/mm ²]	Tensione limite nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione limite nell'acciaio [N/mm ²]	Esito della verifica
P1	A filo intradosso soletta di copertura	100x130	-198.8	-386.563	1.17	9.056	14.4	360	VERIFICA
P2	Mezzeria	100x130	421.9	-498.005	3.25	85.18	14.4	360	VERIFICA
P3	A filo estradosso zattera di fondazione	100x130	359.6	-878.56	2.07	10.88	14.4	360	VERIFICA

Mmin;N

COMBINAZIONE RARA

Sezione	Posizione	sezione	Momento Flettente [kNm/m]	N [KN/m]	Tensione nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione nell'acciaio [N/mm ²]	Tensione limite nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione limite nell'acciaio [N/mm ²]	Esito della verifica
P1	A filo intradosso soletta di copertura	100x130	-1722.9	-661.499	10.24	244.7	19.2	360	VERIFICA
P2	Mezzeria	100x130	-841.0	-802.614	5.9	139	19.2	360	VERIFICA
P3	A filo estradosso zattera di fondazione	100x130	61.6	-940.263	0.88	0	19.2	360	VERIFICA

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

Sezione	Posizione	sezione	Momento Flettente [kNm/m]	N [KN/m]	Tensione nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione nell'acciaio [N/mm ²]	Tensione limite nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione limite nell'acciaio [N/mm ²]	Esito della verifica
P1	A filo intradosso soletta di copertura	100x130	-1226.8	-522.79	7.31	170	14.4	360	VERIFICA
P2	Mezzeria	100x130	-597.7	-634.232	4.15	89.61	14.4	360	VERIFICA
P3	A filo estradosso zattera di fondazione	100x130	98.3	-810.447	0.91	0	14.4	360	VERIFICA

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

M;Nmin

COMBINAZIONE RARA

Sezione	Posizione	sezione	Momento Flettente [kNm/m]	N [KN/m]	Tensione nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione nell'acciaio [N/mm ²]	Tensione limite nell'acciaio [N/mm ²]	Esito della verifica	Esito della verifica
P1	A filo intradosso soletta di copertura	100x130	-1584.5	-752.013	9.45	213.4	19.2	360	VERIFICA
P2	Mezzeria	100x130	-788.9	-863.456	5.45	114.4	19.2	360	VERIFICA
P3	A filo estradosso zattera di fondazione	100x130	421.9	-1107.783	2.4	9.76	19.2	360	VERIFICA

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

Sezione	Posizione	sezione	Momento Flettente [kNm/m]	N [KN/m]	Tensione nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione nell'acciaio [N/mm ²]	Tensione limite nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione limite nell'acciaio [N/mm ²]	Esito della verifica
P1	A filo intradosso soletta di copertura	100x130	-1226.8	-522.79	7.31	170	14.4	360	VERIFICA
P2	Mezzeria	100x130	-597.7	-634.232	4.15	89.61	14.4	360	VERIFICA
P3	A filo estradosso zattera di fondazione	100x130	359.6	-878.56	2.07	10.88	14.4	360	VERIFICA

M;Nmax

COMBINAZIONE RARA

Sezione	Posizione	sezione	Momento Flettente [kNm/m]	N [KN/m]	Tensione nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione nell'acciaio [N/mm ²]	Tensione limite nell'acciaio [N/mm ²]	Esito della verifica	Esito della verifica
P1	A filo intradosso soletta di copertura	100x130	349.0	-347.576	3.15	99.45	19.2	360	VERIFICA
P2	Mezzeria	100x130	575.3	-459.018	4.72	172.3	19.2	360	VERIFICA
P3	A filo estradosso zattera di fondazione	100x130	-364.8	-703.346	2.228	20.23	19.2	360	VERIFICA

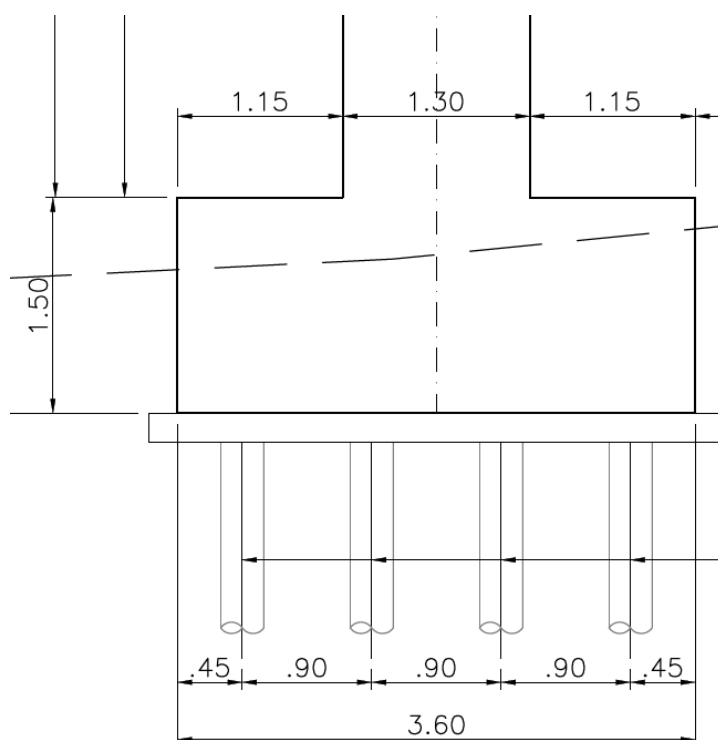
COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

Sezione	Posizione	sezione	Momento Flettente [kNm/m]	N [KN/m]	Tensione nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione nell'acciaio [N/mm ²]	Tensione limite nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione limite nell'acciaio [N/mm ²]	Esito della verifica
P1	A filo intradosso soletta di copertura	100x130	-255.0	-386.563	1.5	15.91	14.4	360	VERIFICA
P2	Mezzeria	100x130	400.6	-498.005	3.045	79.94	14.4	360	VERIFICA
P3	A filo estradosso zattera di fondazione	100x130	-222.6	-742.333	1.33	1.82	14.4	360	VERIFICA

Tutte le verifiche tensionali risultano soddisfatte.

14 ZATTERA DI FONDAZIONE – VERIFICHE STRUTTURALI – PORTALE FERROVIARIO

L'opera di fondazione della galleria ferroviaria è realizzata con un plinto su micropali di diametro $\phi=300\text{mm}$ che si sviluppa lungo i due muri per tutta la lunghezza del manufatto. Le dimensioni del plinto in sezione e l'interasse dei pali è riportato in figura:



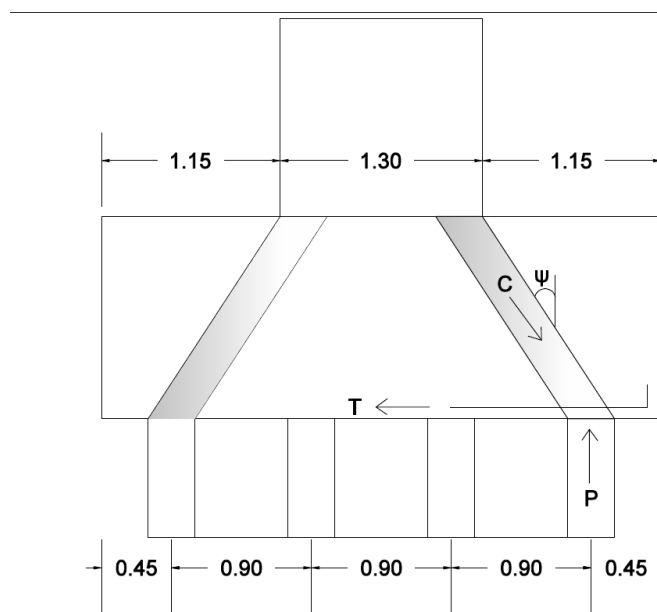
L'armatura di calcolo è assunta come segue:

- 5 ϕ 26/m superiori ed inferiori.

14.1 Verifica “tirante-puntone”

La verifica del plinto di fondazione è stata condotta con il metodo degli stati limite, calcolando la capacità ultima di resistenza dell'elemento strutturale rispetto ai principali meccanismi di collasso individuabili.

È necessario osservare che, dato il valore dei rapporti altezza – aggetto dal muro, le mensole da verificare sono di tipo “tozzo”. Pertanto si adotta una schematizzazione a traliccio basata sull'ipotesi di un meccanismo di trasferimento degli sforzi a “tirante di acciaio” – “puntone di cls” che meglio rappresenta il reale andamento delle tensioni all'interno dei materiali costituenti l'elemento.



Il meccanismo resistente è costituito da un tirante orizzontale, corrispondente all'armatura tesa, e da un puntone di calcestruzzo inclinato di ψ che riporta il carico P_{ed} entro il bordo del muro.

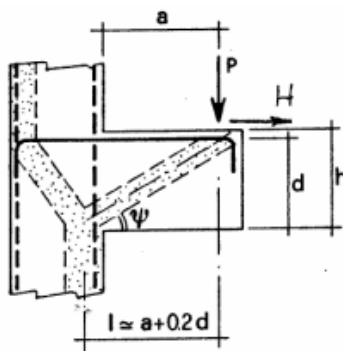
Con riferimento ad una striscia di zattera larga un metro, la reazione normale massima trasmessa dal singolo micropalo di fondazione vale:

- $N_{SLU, max} = 670.2 \text{ kN}$.

La massima azione orizzontale in testa al singolo micropalo di fondazione vale:


- $H_{Ed} = 93.56 \text{ kN}$.

Detta $d = 1.422 \text{ m}$ la distanza del baricentro del tirante inferiore dal lembo compresso superiore ed assumendo $a = 0.688 \text{ m}$ quale braccio della mensola tozza,



si procede assumendo:

- $f_{yd} = 391.30 \text{ N/mm}^2$ (resistenza di calcolo dell'acciaio)
- $f_{cd} = 18.13 \text{ N/mm}^2$ (resistenza di calcolo del calcestruzzo)

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Con riferimento al paragrafo C4.1.2.1.5 della “Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP.” delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 14 gennaio 2008”:

La resistenza massima del tirante in acciaio allo Stato Limite Ultimo vale:

$$P_{Rs} = (A_s \cdot f_{yd} - H_{Ed}) \frac{1}{\lambda} = 1244 \text{ kN} > N_{SLU,max} = 670.2 \text{ kN}$$

con:

$$\lambda = 0.75$$

$$l = 0.976 \text{ m}$$

$$A_s = 26.54 \text{ cm}^2$$

La resistenza massima sul puntone compresso allo Stato Limite Ultimo vale:

$$P_{Rc} = 0,40 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} \cdot \frac{c}{1 + \lambda^2} = 1961.7 \text{ kN} \geq P_{Rs} = 1244 \text{ kN}$$

con:

$$b = 0.30 \text{ m}$$

$$c = 1.00$$

La verifica secondo il meccanismo “tirante-puntone” risulta soddisfatta.

14.2 Verifica a taglio

L’azione di taglio massima è assunta, relativamente al singolo palo, come la massima reazione allo Stato Limite Ultimo trasmessa dal palo stesso alla zattera.


L’azione tagliante massima viene quindi assunta pari a $V_{S,d} = 670.2 \text{ kN}$.

La sezione resistente è rettangolare con base pari a 1000 mm e altezza pari a 1500 mm.

L’armatura a taglio che si sceglie di adottare è costituita da cavallotti $\varnothing 20/60 \times 60$:

Elementi con armature trasversali resistenti a taglio


larghezza sezione	b_w	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	1500
altezza utile sezione	d	[mm]	1422
numero armature trasversali	$n^\circ \varnothing$		1.67
diametro armature trasversali	\varnothing	[mm]	20
interasse armature trasversali	s	[mm]	600
area dell’armatura trasversale a taglio	A_{sw}	[mm ²]	524
resistenza di progetto	f_{yd}	[MPa]	391
resistenza a compressione del cls	f_{cd}	[MPa]	18.1

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	α	[DEG]	90
	$\text{ctg } \theta$		2.5
	θ	[DEG]	22
tensione di compressione calcestruzzo	σ_{cp}	[MPa]	0.00
coefficiente maggiorativo in elementi compressi	α_c		1.00
resistenza a taglio trazione	V_{Rsd}	[kN]	1093
resistenza a compressione del cls ridotta	f_{cd}'	[MPa]	9.1
resistenza a taglio compressione	V_{Rcd}	[kN]	4001
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	1093
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	670

verificato

La verifica a taglio risulta soddisfatta.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

15 VERIFICA DEI MICROPALI DI FONDAZIONE – PORTALE FERROVIARIO

La fondazione della galleria ferroviaria B è realizzata su micropali (IRS), $\varnothing 300$ di lunghezza 22 m, interasse 0.9 m e armatura tubolare $\varnothing 219.1$ mm di spessore 12 mm. Il plinto ha dimensioni pari a 3.6x1.5 m.

15.1 Individuazione delle stratigrafie di riferimento delle opere d'arti

La galleria ferroviaria B interessa terreni appartenenti al substrato roccioso calcareo appartenente alla formazione di Grascioleddu. In alcuni tratti il substrato appare ribassato a seguito di movimenti tettonici che hanno creato una struttura a gradini. L'ammasso litoide risulta inoltre ricoperto da depositi olocenici (coltri eluvio-colluviali) e pleistocenici (sintema di Portovesme) dell'area continentale. Il loro spessore varia a seconda della profondità del tetto del substrato. In particolare per l'opera in esame è stata individuata, cautelativamente, la seguente stratigrafia di progetto con i relativi parametri meccanici e fisici.

GALLERIA FERROVIARIA B						
Stratigrafia da p.c.	Litotipo	γ [kN/m ³]	φ [°]	c' [kPa]	E' [MPa]	Q_{base} [kPa]
Da 0 a - 2.0 m	Ug1	18-19	32	0	15	-
da -2.0 m a -15.0 m	Ug1	18-19	33	10	15	1000
da -15 m a -22.0 m	Ug1	18-19	33	10	15	1500
da -22 m a -28 m	Ug1	18-19	33	0	-	1800
da -28	Ug1	18-19	35	0	-	2500

15.2 Verifiche geotecniche e strutturali

15.2.1 Verifica a carico limite

Il valore caratteristico di calcolo ($R_{k,cal}$) della capacità portante dei micropali nei confronti dei carichi assiali è stato determinato considerando cautelativamente la sola resistenza mobilitata lateralmente lungo il fusto del palo (Q_L) ed utilizzando il metodo di Bustamante e Doix (1985).

$$Q_L = R_{c,k} = \sum_i (\alpha \times D_{si} \times q_{lat,i} \times L_i)$$

dove, con riferimento ad ogni tratto i-esimo del micropalo:

- $D_{si} = \alpha_i \times D_p$ = il diametro del bulbo di fondazione in corrispondenza dello strato i-esimo;
- D_p = diametro del micropalo (*diámetro del foro*);

- α_i = il coefficiente di espansione del bulbo, funzione del tipo di terreno e della modalità realizzativa dei micropali;
- L_i = lunghezza del tratto i-esimo di micropalo;
- $q_{lat,i}$ = resistenza laterale unitaria tra micropalo e terreno in corrispondenza dello strato i-esimo, funzione della natura del terreno e delle modalità realizzative dei micropali.

Ai fini della verifica di sicurezza nei riguardi delle azioni assiali, si è deciso di adottare l'approccio 2 (A1+M1+R3) del NTC08. Le azioni di progetto (E_d) sono state ricavate dal calcolo strutturale con riferimento alle combinazioni statiche SLU-STR e sismiche SLV.

Le massime sollecitazioni risultanti sul singolo micropalo sono riportate nella tabella seguente:

Sollecitazioni in testa al singolo micropalo		
N_{max}	-603.18	kN
N_{min}	77.18	kN
V_{max}	84.20	kN

Tabella 2: Sollecitazioni in testa al singolo palo

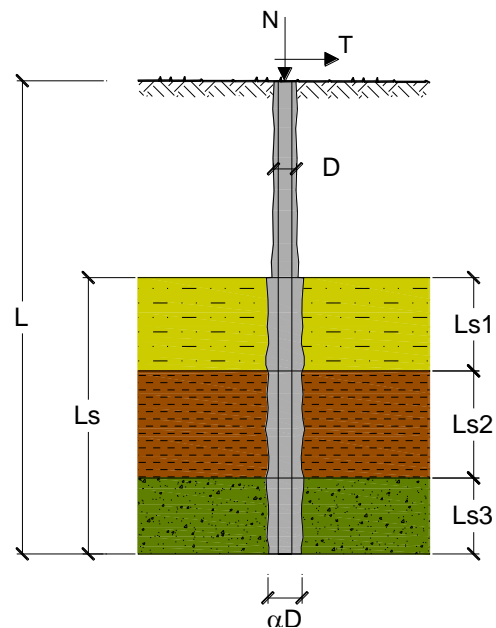
CAPACITA' PORTANTE DI UN MICROPALO

OPERA: Galleria B

DATI DI INPUT:

Sollecitazioni Agenti:

	Permanenti	Temporanee	Calcolo
N (kN)	603.18		603.18
T (kN)	84.20		84.20



CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

coefficienti parziali			azioni		resistenza laterale	
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	γ_s	$\gamma_{s\text{ traz}}$
			γ_G	γ_Q		
SLU	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1,30	1,50	1,00	1,00
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1,00	1,30	1,45	1,60
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1,30	1,50	1,15	1,25
	SISMA	<input type="radio"/>	1,00	1,00	1,15	1,25
DM88			1,00	1,00	1,00	1,00
definiti dal progettista			1,00	1,00	1,15	1,25

n	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> ≥ 10	DM88	prog.
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,00	1,00
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21	1,00	1,00

Caratteristiche del micropalo:

Diametro di perforazione del micropalo (D): **0,3 (m)**

Lunghezza del micropalo (L): **17,00 (m)**

Armatura:

IPE INP HEA HEB HEM Tubi ALTRO

ø219,1 x 10,0

Area dell'armatura (A_{arm}): **6569 (mm²)**

Momento di inerzia della sezione di armatura (J_{arm}): **3,598E+07 (mm⁴)**

Modulo di resistenza della sezione di armatura (W_{arm}): **328 475 (mm³)**

Tipo di acciaio

Tensione di snervamento dell'acciaio (f_y): **355 (N/mm²)**

Coefficiente Parziale Acciaio γ_M : **1,05**

Tensione ammissibile dell'acciaio (σ_{im}): **338 (N/mm²)**

Modulo di elasticità dell'acciaio (E_{arm}): **210 000 (N/mm²)**

Coefficiente di Reazione Laterale:

Coeff. di Winkler (k): **18,0 (MN/m³)**

CAPACITA' PORTANTE ESTERNA

Capacità portante di fusto

$$Ql = \sum_i \pi \cdot Ds_i \cdot s_i \cdot l_{s_i}$$

Tipo di Terreno	Spessore l_{s_i} (m)	α (-)	$Ds_i = \alpha \cdot D$ (m)	s_i media (MPa)	s_i minima (MPa)	s_i calcolo (MPa)	Q_{s_i} (kN)
	4,00	0,00	0,00			0,000	0,00
	13,00	1,10	0,33	0,08	0,08	0,043	585,29
			0,00			0,000	0,00

$L_s = 17,00$ (m) $Ql = 585,29$ (kN)

Capacità portante di punta

$Q_p = \%Punta \cdot Ql$

(consigliato 10-15%)

$\% Punta = 15\%$

$Q_p = 87,79$ (kN)

CARICO LIMITE DEL MICROPALO

$Q_{lim} = Q_b + Ql$

$Q_{lim} = 673,08$ (kN)

COEFFICIENTE DI SICUREZZA

$F_s = Q_{lim} / N$ ($F_s > 1$)

$F_s = 1,12$

15.2.2 Capacità portante per instabilità dell'equilibrio elastico

Per quanto riguarda il carico critico relativo ad instabilità di tipo elastico del micropalo, questo può essere espresso attraverso la relazione:

$$P_k = 2 \cdot (\beta \cdot E_{arm} \cdot J_{arm})^{0.5}$$

In cui $\beta = k \cdot D$ esprime la reazione laterale per unità di lunghezza e spostamento.

Il valore del coefficiente di sicurezza viene assunto, per questa tipologia di fenomenologia, pari a:

$$\eta = P_k / N \quad \text{con } \eta > 10$$

CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO


Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam. (β) ($\beta = k \cdot D_{arm}$): 3,94 (N/mm²)

$P_k = 2 \cdot (\beta \cdot E_{arm} \cdot J_{arm})^{0.5}$

$\eta = P_k / N$ (consigliato $\eta > 10$)

$P_k = 10918,28$ (MN)

$\eta = 18,10$

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

15.2.3 Verifiche alle forze orizzontali e verifica strutturale del micropalo

La verifica alle forze orizzontali del micropalo viene svolta considerando il valore del momento agente in testa, ipotizzando la testa del palo impedita di ruotare:

$$M = T / (2b)$$

Con

$$b = (k \cdot D/4 \cdot E_{arm} \cdot J_{arm})^{1/4}$$

in modo da poter determinare

$$\sigma = N/A_{arm} \pm M/W_{arm}$$

e

$$\tau = 2 T/A_{arm}$$

Con tali sollecitazioni è possibile ricavare la tensione ideale (o equivalente) del criterio di rottura di Von Mises:

$$\sigma_{id} = (\sigma^2 + 3 \tau^2)^{0.5}$$

che deve risultare:

$$\sigma_{id} < \sigma_{adm}$$

σ_{adm} ricavata in funzione della tipologia dell'acciaio fornita della normativa vigente.

VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI

Momento massimo per carichi orizzontali (M):
 (Ipotesi di palo con testa impedita di ruotare)

$$M = T / (2 \cdot b)$$

$$b = \sqrt[4]{\frac{k \cdot D}{4 \cdot E_{arm} \cdot J_{arm}}}$$

b = 0,650 (1/m)

Momento Massimo (M):

M = 64,76 (kN m)

VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO

Acciaio S 355 (Fe 510)

Tensioni nel singolo micropalo

$$\sigma = N/A_{arm} \pm M/W_{arm}$$

$$\tau = 2 \cdot T/A_{arm}$$

$\sigma_{max} = 288,96 \text{ (N/mm}^2\text{)}$


$\sigma_{min} = -105,32 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

$\tau = 25,64 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

$$\sigma_{id} = (\sigma^2 + 3 \tau^2)^{0,5}$$

$\sigma_{id} = 292,36 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

verifica soddisfatta

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Ai fini della durabilità le verifiche delle armature tubolari sono state ripetute considerando uno spessore sacrificale di 1.2 mm legato alla perdita per corrosione, in accordo alla tabella 4-1 della norma EC3-5.

Le verifiche sono mostrate nel seguito.

VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI

Momento massimo per carichi orizzontali (M):
 (Ipotesi di palo con testa impedita di ruotare)

$$M = T / (2 \cdot b)$$

$$b = \sqrt[4]{\frac{k \cdot D}{4 \cdot E_{arm} \cdot J_{arm}}}$$

b = 0,753 (1/m)

Momento Massimo (M):

M = 55,90 (kN m)

VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO

Acciaio S 355 (Fe 510)

Tensioni nel singolo micropalo

$\sigma = N/A_{arm} \pm M/W_{arm}$

$\tau = 2 \cdot T/A_{arm}$


$\sigma_{max} = 326,24 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

$\sigma_{min} = -117,21 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

$\tau = 29,18 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

$\sigma_{id} = (\sigma^2 + 3 \tau^2)^{0,5}$

$\sigma_{id} = 330,13 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ **verifica soddisfatta**

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

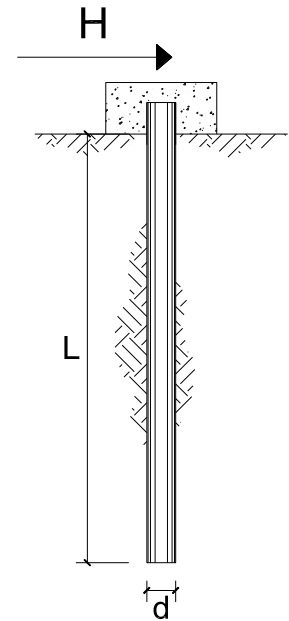
15.2.4 Verifica per forze orizzontali

CARICO LIMITE ORIZZONTALE DI UN PALO IN TERRENI INCOERENTI PALI CON ROTAZIONE IN TESTA IMPEDITA

OPERA: Galleria B

TEORIA DI BASE:

(Broms, 1964)



coefficienti parziali			A		M	R
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	$\gamma_{\phi'}$	γ_T
			γ_G	γ_Q		
SLU	A1+M1+R1	○	1.30	1.50	1.00	1.00
	A2+M1+R2	○	1.00	1.30	1.00	1.60
	A1+M1+R3	○	1.30	1.50	1.00	1.30
	SISMA	○	1.00	1.00	1.00	1.30
DM88			○	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista			●	1.00	1.00	1.30

n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ_3	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ_4	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

DATI DI INPUT:

Lunghezza del palo	L =	17,00	(m)		
Diametro del palo	d =	0,30	(m)		
Momento di plasticizzazione della sezione	My =	155,32	(kN m)		
Angolo di attrito del terreno	$\varphi'_{med} =$	33,00	(°)	$\varphi'_{min} =$	33,00 (°)
Angolo di attrito di calcolo del terreno	$\varphi'_{med,d} =$	33,00	(°)	$\varphi'_{min,d} =$	33,00 (°)
Coeff. di spinta passiva ($k_p = (1+\sin\varphi')/(1-\sin\varphi')$)	$k_{p_{med}} =$	9,05	(-)	$k_{p_{min}} =$	9,05 (-)
Peso di unità di volume (con falda $\gamma = \gamma'$)	$\gamma =$	10,00	(kN/m ³)		
Carico Assiale Permanente (G):	G =	84,8	(kN)		
Carico Assiale variabile (Q):	Q =		(kN)		

Palo corto:

H1_{med} = 11763,87 (kN) **H1_{min}** = 11763,87 (kN)

Palo intermedio:

H2_{med} = 3930,43 (kN) **H2_{min}** = 3930,43 (kN)

Palo lungo:

H3_{med} = 206,82 (kN) **H3_{min}** = 206,82 (kN)

H_{med} = 206,82 (kN) palo lungo **H_{min}** = 206,82 (kN) palo lungo

H_k = **Min(H_{med} / ξ_3 ; R_{min} / ξ_4)** = 121,66 (kN)

H_d = **H_k / γ_T** = 93,58 (kN)

F_d = **G · γ_G + Q · γ_Q** = 84,80 (kN)

FS = **H_d / F_d** = 1,1

16 DESCRIZIONE DELLE OPERE - SOTTOVIA

Il sottovia al km 1+360 posizionato accanto alla galleria artificiale B è una struttura scatolare in cemento armato ordinario gettato in opera. Lo scatolare presenta una sezione trasversale a singola canna con sezione utile interna di 800 x 690 cm.

Lo spessore della soletta superiore è pari a 100 cm, mentre lo spessore della soletta di fondazione è pari a 120 cm. Lo spessore dei ritzi è pari a 0.90 m.

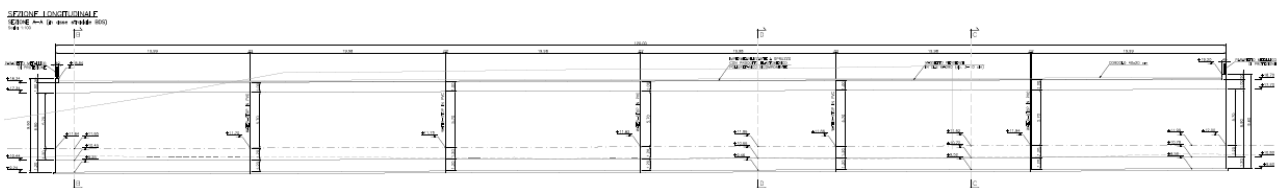


Figura 16-1: Sezione longitudinale

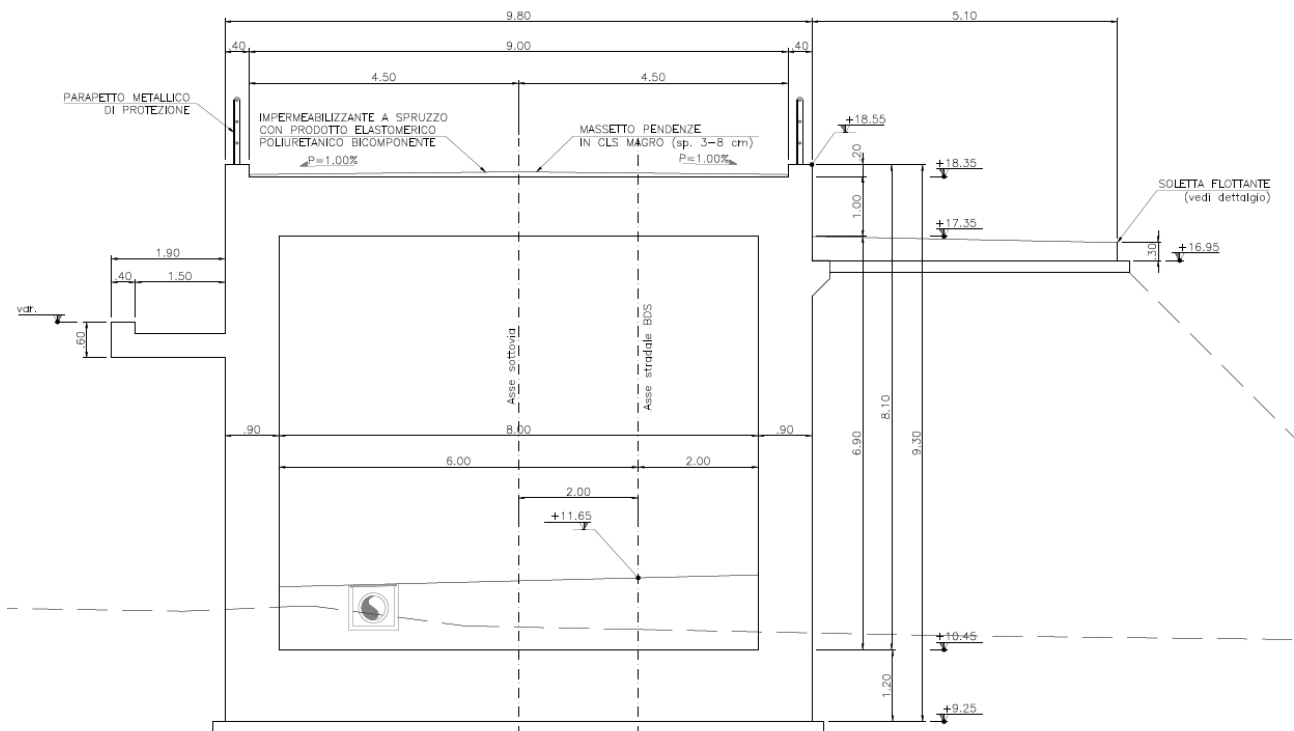



Figura 16-2: Sezione trasversale

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Il sottovia è attraversato superiormente da un'arteria stradale, come mostrato nella figura seguente. L'angolo di inclinazione tra l'asse della galleria e l'asse della strada è di circa 22°.

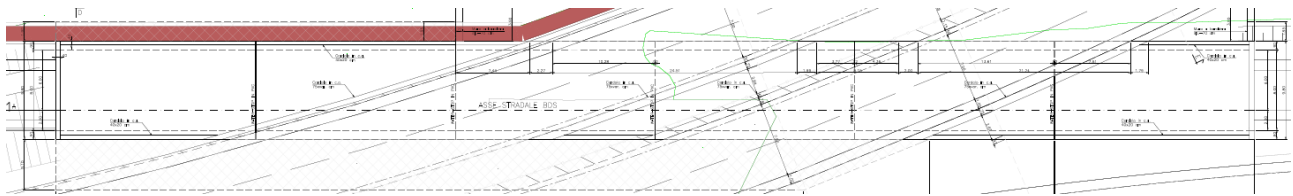


Figura 16-3: Planimetria sottovia

17 ANALISI DEI CARICHI – SOTTOVIA

17.1 Peso proprio delle strutture in cemento armato

Il peso per unità di volume delle strutture in cemento armato è assunto pari a $\gamma_{ca} = 25.0 \text{ kN/m}^3$.

Il peso proprio degli elementi strutturali è assegnato automaticamente dal programma di calcolo agli elementi finiti sulla base delle reali caratteristiche geometriche.

17.2 Peso proprio della pavimentazione stradale

Lo spessore medio della pavimentazione stradale è assunto pari a **50 cm**. Il peso per unità di volume della pavimentazione stradale è assunto pari a $\gamma_{pav} = 24.0 \text{ kN/m}^3$; conseguentemente, il peso per unità di superficie della pavimentazione risulta pertanto pari a:

$$p_{pav} = 0.50 \times 24.00 = 12.00 \text{ kN/m}^2.$$

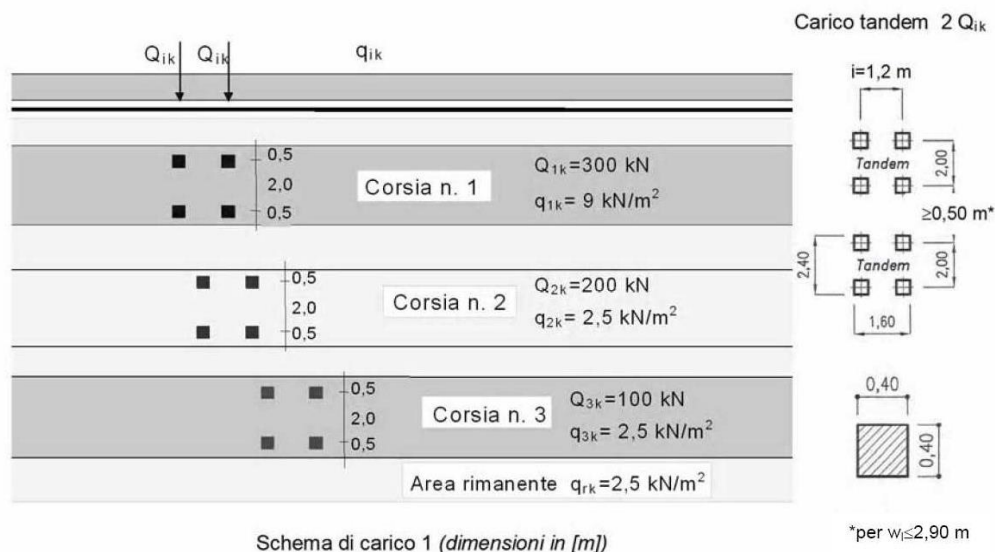
17.3 Peso proprio del terreno di ricoprimento sulla soletta superiore

Lo spessore medio dello strato di ricoprimento risulta pari a **1.32 cm**. Il peso per unità di volume del terreno di ricoprimento è assunto pari a $\gamma_{terreno} = 18.0 \text{ kN/m}^3$; conseguentemente, il peso per unità di superficie del terreno di ricoprimento risulta pertanto pari a:

$$p_{terreno} = 1.32 \times 18.00 = 23.76 \text{ kN/m}^2.$$

17.4 Carichi accidentali da traffico agenti sulla soletta di copertura

I carichi accidentali da traffico agenti sulla soletta di copertura sono stati valutati secondo lo schema n.1 proposto dal D.M. 14.01.2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni al paragrafo 5.1.3.3.5 e riportato nell'immagine seguente.




Con riferimento a tale schema, le azioni variabili da traffico, comprensive degli effetti dinamici, sono descritte nel seguito:

- corsia n.1 costituita da un automezzo convenzionale Q_{1k} di 600 kN dotato di 2 assi di 2 ruote ciascuno, distanti 1.20 m in senso longitudinale e con interasse delle ruote in senso trasversale di 2.00 m e un carico ripartito q_{1k} di 9 kN/m²;
- corsia n.2, analoga alla precedente, ma con carichi pari rispettivamente a 400 kN (automezzo convenzionale Q_{2k}) e 2.5 kN/m² (carico ripartito q_{2k});
- zona rimanente, occupata da una colonna di carico $q_{rk} = 2.5$ kN/m² nella zona di carreggiata non impegnata dai carichi precedenti.

La larghezza delle corsie convenzionali è pari a 3.00 m. Nel caso in esame, sulla soletta superiore dell'opera in esame, transita una strada costituita da due carreggiate, ciascuna larga circa 7.00 m, e separate da una zona centrale larga circa 5.60 m. Il numero di corsie convenzionali, per ciascuna carreggiata, è quindi pari a 2, più una zona rimanente.

I carichi concentrati (carichi tandem) vengono diffusi fino alla linea media della soletta superiore secondo i seguenti angoli:

- pavimentazione stradale: 45°
- terreno di ricoprimento: 30°
- soletta di copertura in cemento armato: 45°

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Valutazione della diffusione dei carichi mobili concentrati stradali - corsia convenzionale n° 1

Q_{k1}	600	kN	Carico concentrato stradale
a	1.6	m	Dimensione dell'area di impronta in direzione parallela al traffico
b	2.4	m	Dimensione dell'area di impronta in direzione perpendicolare al traffico
h_1	0.5	m	Spessore della pavimentazione
α_1	45	°	Angolo di diffusione del carico attraverso la pavimentazione stradale
h_2	1.32	m	Spessore del terreno di ricoprimento
α_2	30	°	Angolo di diffusione del carico attraverso il terreno di ricoprimento
h_3	1.1	m	Spessore della soletta superiore
α_3	45	°	Angolo di diffusione attraverso la soletta superiore
$Q_{k1,diff}$	39.0	kN/m ²	Carico concentrato stradale diffuso fino alla linea media della soletta superiore
a_{diff}	5.12	m	Dimensione dell'area di diffusione in direzione parallela al traffico
b_{diff}	3.00	m	Dimensione dell'area di diffusione in direzione perpendicolare al traffico

Valutazione della diffusione dei carichi mobili concentrati stradali - corsia convenzionale n° 2

Q_{k2}	400	kN	Carico concentrato stradale
a	1.6	m	Dimensione dell'area di impronta in direzione parallela al traffico
b	2.4	m	Dimensione dell'area di impronta in direzione perpendicolare al traffico
h_1	0.5	m	Spessore della pavimentazione
α_1	45	°	Angolo di diffusione del carico attraverso la pavimentazione stradale
h_2	1.32	m	Spessore del terreno di ricoprimento
α_2	30	°	Angolo di diffusione del carico attraverso il terreno di ricoprimento
h_3	1.1	m	Spessore della soletta superiore
α_3	45	°	Angolo di diffusione attraverso la soletta superiore
$Q_{k2,diff}$	26.0	kN/m ²	Carico concentrato stradale diffuso fino alla linea media della soletta superiore
a_{diff}	5.12	m	Dimensione dell'area di diffusione in direzione parallela al traffico
b_{diff}	3.00	m	Dimensione dell'area di diffusione in direzione perpendicolare al traffico

La superficie di diffusione, valutata in corrispondenza del piano medio della soletta di copertura, presenta una lunghezza pari a **5.12 m** ed una larghezza pari a **3.00 m** (la dimensione della superficie di diffusione in direzione perpendicolare al traffico è stata limitata a 3.00 m a favore di sicurezza).

Sulla base di tale diffusione il carico concentrato Q_{k1} produce un carico per unità di superficie sul piano medio della soletta di copertura pari a **39.0 kN/m²**; il carico concentrato Q_{k2} produce un carico per unità di superficie pari a **26.0 kN/m²**.

Poiché la strada attraversa in modo obliquo la galleria (l'angolo tra l'asse della galleria e l'asse stradale è pari a circa 22°), ne consegue che su una striscia di larghezza unitaria della soletta superiore della galleria possano gravare contemporaneamente più carichi tandem, come mostrato nella figura seguente.

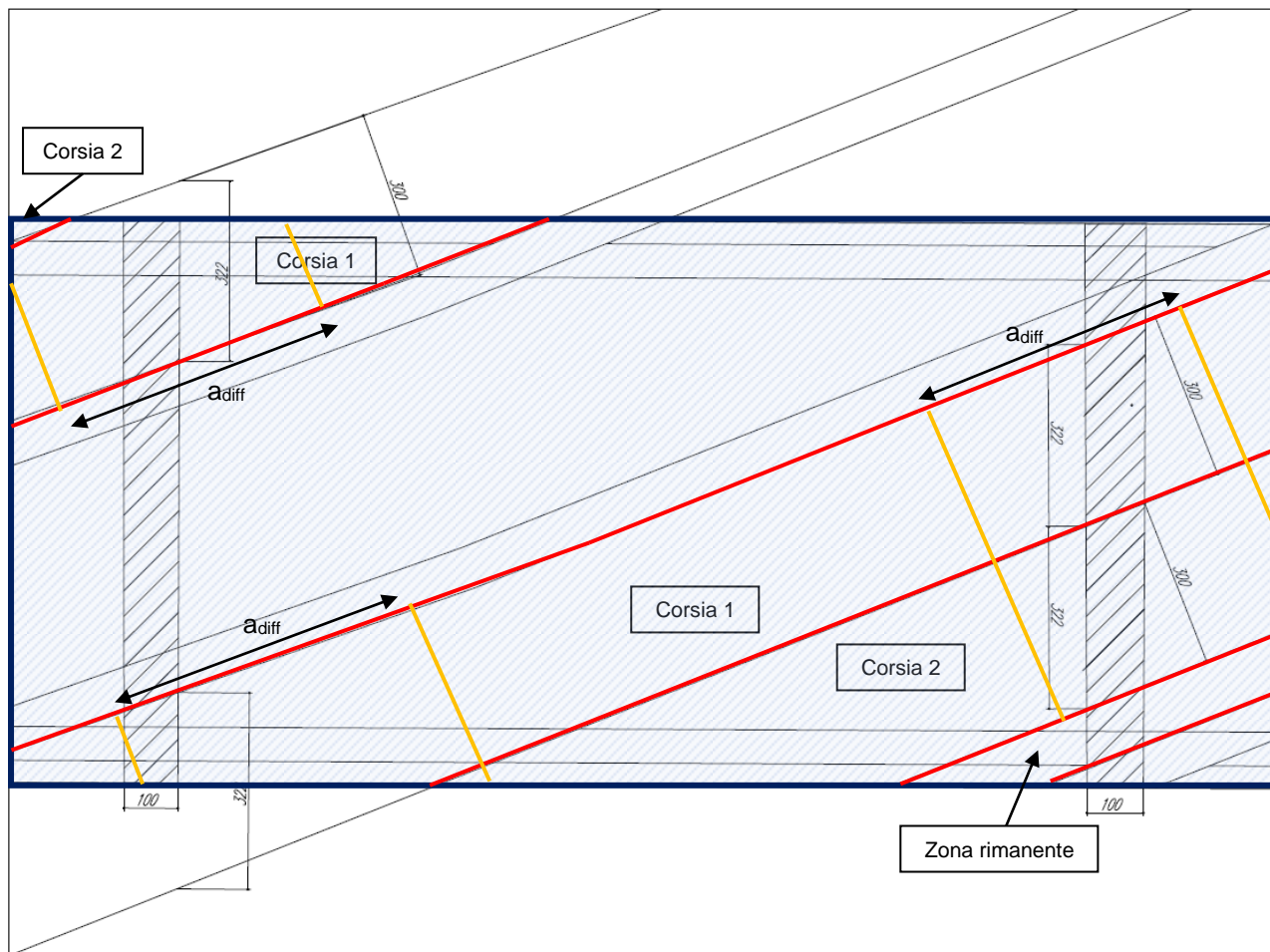


Figura 17-1: Individuazione della possibile contemporaneità dei carichi tandem sulla struttura

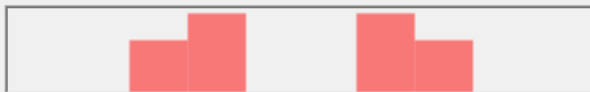
Per tenere conto della possibile contemporaneità di più carichi tandem a seconda della posizione della striscia unitaria considerata, tali carichi sono stati introdotti nel modello come carichi mobili, secondo lo schema mostrato in figura 17-2.

Ai carichi concentrati diffusi, su ciascuna delle corsie convenzionali, si aggiungono i carichi distribuiti $q_{1k} = 9.00 \text{ kN/m}^2$ e $q_{2k} = 2.5 \text{ kN/m}^2$, più il carico distribuito sulla zona rimanente pari anch'esso a 2.5 kN/m^2 . La zona centrale tra le due carreggiate viene considerata altresì caricata, a favore di sicurezza, con un carico distribuito pari a 2.5 kN/m^2 .

Per le stesse considerazioni relative ai carichi tandem, anche i carichi distribuiti sono stati introdotti nel modello come carichi mobili, secondo lo schema mostrato in figura 17-3.

Vehicle Data

Vehicle name: Carichi_TS Units: KN, m, C

Load Elevation: 

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Leading Load	Infinite		0.	0.
Leading Load	Infinite		0.	0.
Fixed Length	3.24		26.	0.
Fixed Length	3.24		39.	0.
Fixed Length	6.		0.	0.
Fixed Length	3.24		39.	0.
Fixed Length	3.24		26.	0.
Trailing Load	Infinite		0.	0.

Buttons: Add, Insert, Modify, Delete

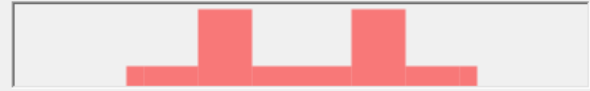
Vehicle Remains Fully In Path

OK Cancel

Figura 17-2: Definizione dei carichi tandem nel modello di calcolo

Vehicle Data

Vehicle name: Carichi_UDL Units: KN, m, C

Load Elevation: 

Loads


Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Leading Load	Infinite		0.	0.
Leading Load	Infinite		0.	0.
Fixed Length	1.07		2.5	0.
Fixed Length	3.24		2.5	0.
Fixed Length	3.24		9.	0.
Fixed Length	6.		2.5	0.
Fixed Length	3.24		9.	0.
Fixed Length	3.24		2.5	0.

Buttons: Add, Insert, Modify, Delete

Vehicle Remains Fully In Path

OK Cancel

Figura 17-3: Definizione dei carichi distribuiti nel modello di calcolo

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

17.5 Spinta laterale dei terreni

La spinta del terreno sulle pareti laterali del sottovia è stata calcolata mediante la seguente relazione:

$$S_t = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot k \cdot H^2$$

dove:

- γ è il peso per unità di volume del terreno;
- k è il coefficiente di spinta del terreno;
- H è l'altezza complessiva del tratto di struttura sottoposto all'azione di spinta.

Per la valutazione della spinta dei terreni sulle pareti verticali del sottovia sono state considerate condizioni di riposo; viene quindi assunto per la determinazione della spinta il coefficiente di spinta a riposo k_0 , calcolato mediante la seguente relazione:

$$k_0 = 1 - \text{sen}(\varphi) = 1 - \text{sen}(35^\circ) = 0.426$$

Relativamente all'applicazione della spinta, nei calcoli si considerano due possibili scenari: spinta agente solo da un lato e spinta agente da entrambi i lati della struttura.

17.6 Spinta laterale dovuta ai sovraccarichi permanenti

La spinta dovuta ai sovraccarichi permanenti viene valutata mediante la seguente relazione:

$$S_{cp} = p \cdot k \cdot H$$

dove:

- p è l'entità del sovraccarico permanente agente sul piano medio della soletta di copertura (peso della pavimentazione e del terreno di ricoprimento) pari a **35.76 kN/m²**;
- k è il coefficiente di spinta del terreno.

Il coefficiente di spinta viene determinato come mostrato nel paragrafo precedente in funzione delle condizioni del terreno assunte.


17.7 Spinta laterale dovuta ai sovraccarichi accidentali

La spinta dovuta ai sovraccarichi accidentali viene valutata mediante la seguente relazione:

$$S_{cq} = q \cdot k \cdot H$$

dove:

- q è l'entità del sovraccarico uniforme equivalente al carico variabile stradale sul rilevato assunto pari a **$\Delta q = 20 \text{ kN/m}^2$** ;

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

- k è il coefficiente di spinta del terreno.

Il coefficiente di spinta viene determinato come mostrato nel paragrafo precedente in funzione delle condizioni del terreno assunte.

17.8 Azione della frenatura

L'azione della frenatura è stata valutata mediante la seguente relazione:

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0,6 \cdot (2 \cdot Q_{1k}) + 0,10 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN}$$

Nel caso in esame, si ha:

$$q_3 = 0.6 \times (2 \times 300) + 0.10 \times 9 \times 3 \times 21.57 = 419.6 \text{ kN},$$

avendo considerato una lunghezza L della zona caricata pari a 21.57 m, ottenuta proiettando la lunghezza di un singolo blocco del portale ferroviario (20.00 m) lungo l'asse stradale, considerando un angolo di 22° tra l'asse del sottovia e quello della strada.

L'azione frenante viene quindi diffusa trasversalmente all'asse stradale su una larghezza di 3.00 m e poi scomposta nelle componenti parallela e ortogonale all'asse ferroviario. L'opera viene dimensionata tenendo conto solo dell'azione ortogonale al portale.

$$q_{3_orto} = (q_3 / 3.00 \text{ m}) \times \sin(22^\circ) = 52.23 \text{ kN/m}$$

Infine, si divide q_{3_orto} per la larghezza del portale (9.80 m), ottenendo:

$$q_{frenatura} = 52.23 / 9.80 = 5.33 \text{ kN/m}^2.$$


17.9 Azione centrifuga

L'azione centrifuga è stata valutata mediante la seguente relazione:

$$q_4 = 40 Q_v / R$$

dove:

- Q_v è il carico totale degli assi tandem dello schema di carico 1 agente sul ponte;
- R è il raggio di curvatura, assunto pari a circa 500m.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Raggio di curvatura [m]	q_4 [kN]
$R < 200$	$0,2 Q_v$
$200 \leq R \leq 1500$	$40 Q_v/R$
$1500 \leq R$	0

Si ottiene $q_4 = 40 \times (600+400)/500 = 80$ kN.

L'azione centrifuga, agente in direzione normale rispetto all'asse stradale, viene diffusa parallelamente a quest'ultimo su una larghezza di 5.12 m (si ipotizza che la diffusione avvenga con la stessa larghezza calcolata per il carico tandem) e poi scomposta nelle componenti parallela e ortogonale all'asse ferroviario. L'opera viene dimensionata tenendo conto solo dell'azione ortogonale al portale.

$$q_{4_orto} = (q_4 / 5.12 \text{ m}) \times \cos(22^\circ) = 14.48 \text{ kN/m}$$

Infine, si divide q_{4_orto} per la larghezza del portale (9.80 m), ottenendo:

$$q_{centrifuga} = 14.48/9.80 = 1.59 \text{ kN/m}^2.$$

17.10 Ritiro della soletta di copertura

Si riporta il calcolo della deformazione da ritiro della soletta di copertura.

Ambiente

RH = umidità relativa % 75

Materiale

f_{ck} = resistenza caratteristica cilindrica soletta MPa 32

E = modulo elastico calcestruzzo MPa 32308

tipo di cemento N

Geometria

L = larghezza dell'impalcato m 9.8

s = spessore medio della soletta m 1

A_c = area della sezione trasversale del getto di cls m^2 9.80

u = perimetro della soletta a contatto con l'atmosfera m 8.00


h_0 = dimensione fittizia dell'elemento mm 2450

k_h = coefficiente di influenza di h_0 0.70

Ritiro

$\epsilon_{cd,0}$ = deformazione da ritiro per essiccamento 0.000311

β_{RH} = coefficiente di influenza dell'umidità relativa 0.90

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

α_{ds1} =	coefficiente 1 di influenza del tipo di cemento	4
α_{ds2} =	coefficiente 2 di influenza del tipo di cemento	0.12
ϵ_{cd} =	deformazione da ritiro per essiccamento della soletta	0.00022
ϵ_{ca} =	deformazione da ritiro autogeno	0.00006
ϵ_{cs} =	deformazione da ritiro	0.00027

Il ritiro viene applicato alla soletta come una contrazione termica uniforme equivalente.

Il coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo è assunto pari a:

$$\alpha_T = 10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}.$$

Il gradiente termico associato alla deformazione finale da ritiro risulta pari a:

$$\Delta T = \epsilon_{cs}(t-t_s) / \alpha_T = -0.00027 / (10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}) = -27.27^{\circ}.$$

Poiché il fenomeno del ritiro è un fenomeno molto lento, si considera un gradiente termico equivalente pari a 1/3 del gradiente termico precedentemente determinato. Si ottiene pertanto:


$$\Delta T_{\text{ritiro}} = -27.27^{\circ} / 3 = -9.1^{\circ}$$

17.11 Azione termica longitudinale

Viene considerata un'azione termica uniforme agente sulla soletta di copertura del sottovia pari a +/- 15°C.

17.12 Azione termica differenziale

Si considera un'azione termica differenziale agente sulla soletta di copertura del sottovia pari a +5°C, assumendo che l'estradosso della soletta si mantenga sempre più caldo dell'intradosso.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

18 AZIONE SISMICA – SOTTOVIA

Le sollecitazioni agenti sulla struttura in fase sismica vengono determinate attraverso un'analisi pseudo-statica, secondo quanto riportato nel DM 14.01.2008 "Nuove norme tecniche per le costruzioni".

18.1 Azione inerziale delle masse

Le azioni inerziali, orizzontali e verticali, dovute alle accelerazioni subite in fase sismica dalle masse degli elementi strutturali vengono valutate moltiplicando il peso degli elementi strutturali per i coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v .

Tali coefficienti sono valutati mediante le seguenti espressioni:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

in cui:

- β_m è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (nel caso in esame $\beta_m = 1$);
- a_{\max} è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- g è l'accelerazione di gravità.

Allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), si ha dunque:

- $k_h = 0.060 \times S = 0.060 \times 1.2 = 0.072$;
- $k_v = \pm 0.036$.

Oltre alle masse degli elementi strutturali, si devono portare in conto anche quelle associate ai carichi permanenti non strutturali (pavimentazione e terreno di ricoprimento) di pertinenza della soletta superiore del portale, pari a 33.6 kN/m².


18.2 Sovrappinta dinamica dei terreni

L'incremento dinamico di spinta del terreno, valutato con la formula di Wood, viene calcolato come:

$$\Delta P = \gamma \cdot a_g \cdot S \cdot H^2$$

dove:

- γ è il peso per unità di volume del terreno;
- a_g è l'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido nel sito in esame;
- S è pari al prodotto tra il coefficiente stratigrafico S_s e il coefficiente topografico S_T ;
- H è l'altezza della struttura soggetta alla spinta del terreno.


Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Allo Stato Limite di Salvaguardia della vita, si ha:

a_g	0.060	g
S	1.2	-
H	10.52	m

ΔP [kN/m]	143.43
q_{sismico} [kN/m²]	13.63

Questa pressione si considera applicata su un solo ritto, a seconda del verso in cui agisce l'azione sismica.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

19 COMBINAZIONI DI CARICO – SOTTOVIA

19.1 Combinazioni di carico statiche allo SLU

Per le combinazioni di carico statiche relative alla struttura in oggetto si è fatto riferimento a quanto riportato nel capitolo 6 nel D.M. 14.01.2008 “Nuove norme tecniche per le costruzioni”. Sulla base di ciò sono state individuate due combinazioni di carico statiche allo Stato Limite Ultimo, ottenute tramite la relazione generale:

$$F_d = \sum_{j=1}^m (\gamma_{Gj} \cdot G_{kj}) + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{0i} \cdot \gamma_{Qi} \cdot Q_{ki})$$

dove:

- γ_G e γ_Q rappresentano i coefficienti parziali di amplificazione dei carichi;
- G_{kj} rappresenta il valore caratteristico della j-esima azione permanente;
- Q_{k1} rappresenta il valore caratteristico dell'azione variabile di base in ogni combinazione;
- Q_{ki} rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile;
- ψ_{0i} rappresentano i coefficienti di combinazione per tener conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i loro valori caratteristici.

I coefficienti di amplificazione dei carichi e di riduzione dei parametri geotecnici per le combinazioni di carico A1-M1 (usate per le verifiche strutturali), secondo il D.M. 14.01.2008 “Nuove norme tecniche per le costruzioni”, capitolo 5 e 6, punti 5.1.3.12 e 6.2.II, sono riepilogati nelle seguenti tabelle:

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti g_1 e g_3	favorevoli	γ_{G1} e γ_{G3}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾ g_2	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}$, $\gamma_{\epsilon 3}$, $\gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

⁽²⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente Ψ_0 di combi- nazione	Coefficiente Ψ_1 (valori frequentissimi)	Coefficiente Ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	--	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	γ_φ	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

19.2 Combinazioni di carico statiche allo SLE

Per le combinazioni di carico statiche relative allo stato limite di esercizio si è fatto riferimento a quanto riportato dal D.M. 14.01.2008 "Nuove Norme tecniche per le Costruzioni" al paragrafo 2.5.3.

19.3 Combinazioni di carico sismiche

In fase sismica è stata ipotizzata un'unica combinazione di carico allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, ottenuta tramite la relazione generale:

$$F_d = \gamma_E \cdot E + \sum_{j=1}^m (\gamma_{Gj} \cdot G_{kj}) + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{0i} \cdot \gamma_{Qi} \cdot Q_{ki})$$

dove:

- γ_E rappresenta il coefficiente parziale di amplificazione del carico sismico (posto pari a 1);
- E rappresenta il carico sismico;
- γ_G e γ_Q rappresentano i coefficienti parziali di amplificazione dei carichi;
- G_{kj} rappresenta il valore caratteristico della j-esima azione permanente;

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

- Q_{k1} rappresenta il valore caratteristico dell'azione variabile di base;
- Q_{ki} rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile;
- Ψ_{0i} rappresentano i coefficienti di combinazione per tener conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i loro valori caratteristici.

In condizioni sismiche, i coefficienti parziali sui parametri geotecnici del terreno sono unitari.

19.4 Riepilogo delle combinazioni di carico

19.4.1 Combinazioni allo Stato Limite Ultimo

COMBINAZIONI	AZIONI																	
	Peso proprio	Sovraccarico permanente	Spinta terre		Spinta sovracc perm		Ritiro	Carico mobile tandem	Carico mobile distribuito	Centrifuga	Frenatura	Spinta carico mobile		Termica	Sisma_Hsx	Sisma_Hdx	Sisma_V+	Sisma_V-
			sx	dx	sx	dx						sx	dx					
SLU01	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU02	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU03	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.35	1.35	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU04	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.0125	0.54	0	1.35	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU05	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.0125	0.54	1.35	0	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU06	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.0125	0.54	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0
SLU07	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU08	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU09	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.35	1.35	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU10	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	0	1.35	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU11	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	1.35	0	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU12	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0
SLU13	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.35	1.35	0	0	1.35	0	0.9	0	0	0	0
SLU14	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.0125	0.54	0	1.35	1.35	0	0.9	0	0	0	0
SLU15	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.0125	0.54	1.35	0	1.35	0	0.9	0	0	0	0
SLU16	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.0125	0.54	0	0	1.01	0	1.5	0	0	0	0
SLU17	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.35	1.35	0	0	1.35	1.35	0.9	0	0	0	0
SLU18	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	0	1.35	1.35	0.9	0	0	0	0	0
SLU19	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	1.35	0	1.35	1.35	0.9	0	0	0	0
SLU20	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	0	0	1.0125	1.0125	1.5	0	0	0	0
SLU21	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	0	0	0	0	1.35	0	0.9	0	0	0	0
SLU22	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	0	0	0	0	1.0125	0	1.5	0	0	0	0
SLU23	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	0	0	0	0	1.35	1.35	0.9	0	0	0	0
SLU24	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	0	0	0	0	1.0125	1.0125	1.5	0	0	0	0
SLU25	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	1.35	1.35	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU26	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	1.0125	0.54	0	1.35	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU27	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	1.0125	0.54	1.35	0	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU28	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	1.0125	0.54	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0
SLU29	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.35	1.35	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU30	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.0125	0.54	0	1.35	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU31	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.0125	0.54	1.35	0	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU32	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.0125	0.54	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0
SLU33	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	1.35	1.35	0	0	1.35	0	0.9	0	0	0	0
SLU34	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	1.0125	0.54	0	1.35	1.35	0	0.9	0	0	0	0
SLU35	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	1.0125	0.54	1.35	0	1.35	0	0.9	0	0	0	0
SLU36	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	1.0125	0.54	0	0	1.01	0	1.5	0	0	0	0
SLU37	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.35	1.35	0	0	1.35	1.35	0.9	0	0	0	0
SLU38	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.0125	0.54	0	1.35	1.35	1.35	0.9	0	0	0	0
SLU39	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.0125	0.54	1.35	0	1.35	1.35	0.9	0	0	0	0
SLU40	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.0125	0.54	0	0	1.0125	1.0125	1.5	0	0	0	0
SLU41	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	0	0	0	0	1.35	0	0.9	0	0	0	0
SLU42	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	0	0	0	0	1.0125	0	1.5	0	0	0	0
SLU43	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	0	0	0	0	1.35	1.35	0.9	0	0	0	0
SLU44	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	0	0	0	0	1.0125	1.0125	1.5	0	0	0	0
SLU45	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU46	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.0125	0.54	0	1.35	0	0	0	0	0	0	0
SLU47	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.0125	0.54	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU48	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU49	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	0	1.35	0	0	0	0	0	0	0
SLU50	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU51	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.35	1.35	0	0	1.35	0	0	0	0	0	0
SLU52	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.0125	0.54	0	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0
SLU53	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	1.0125	0.54	1.35	0	1.35	0	0	0	0	0	0
SLU54	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.35	1.35	0	0	1.35	1.35	0	0	0	0	0
SLU55	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	0	1.35	1.35	1.35	0	0	0	0	0
SLU56	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	1.35	0	1.35	1.35	0	0	0	0	0
SLU57	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	0	0	0	0	1.35	0	0	0	0	0	0
SLU58	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.2	0	0	0	0	1.35	0	0	0	0	0	0
SLU59	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	0	0	0	0	1.35	1.35	0	0	0	0	0

19.4.2 Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Rare

COMBINAZIONI	Peso proprio	Sovraccarico permanente	AZIONI															
			Spinta terre		Spinta sovracc perm		Ritiro	Carico mobile tandem	Carico mobile distribuito	Centrifuga	Frenatura	Spinta carico mobile		Termica	Sisma_H sx	Sisma_Hdx	Sisma_V+	Sisma_V-
			sx	dx	sx	dx						sx	dx					
SLE_rara_1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_2	1	1	1	0	1	0	1	0.75	0.4	0	1	0	0	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_3	1	1	1	0	1	0	1	0.75	0.4	1	0	0	0	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_4	1	1	1	0	1	0	1	0.75	0.4	0	0	0	0	1	0	0	0	0
SLE_rara_5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_6	1	1	1	1	1	1	1	0.75	0.4	0	1	0	0	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_7	1	1	1	1	1	1	1	0.75	0.4	1	0	0	0	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_8	1	1	1	1	1	1	1	0.75	0.4	0	0	0	0	1	0	0	0	0
SLE_rara_9	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_10	1	1	1	0	1	0	1	0.7500	0.4	0	1	1	0	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_11	1	1	1	0	1	0	1	0.7500	0.4	1	0	1	0	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_12	1	1	1	0	1	0	1	0.7500	0.4	0	0	0.75	0	1	0	0	0	0
SLE_rara_13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_14	1	1	1	1	1	1	1	0.7500	0.4	0	1	1	1	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_15	1	1	1	1	1	1	1	0.7500	0.4	1	0	1	1	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_16	1	1	1	1	1	1	1	0.7500	0.4	0	0	0.75	0.75	1	0	0	0	0

19.4.3 Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Frequenti


COMBINAZIONI	Peso proprio	Sovraccarico permanente	AZIONI															
			Spinta terre		Spinta sovracc perm		Ritiro	Carico mobile tandem	Carico mobile distribuito	Centrifuga	Frenatura	Spinta carico mobile		Termica	Sisma_H sx	Sisma_Hdx	Sisma_V+	Sisma_V-
			sx	dx	sx	dx						sx	dx					
SLE_frequente_1	1	1	1	0	1	0	1	0.75	0.4	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0
SLE_frequente_2	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0
SLE_frequente_3	1	1	1	1	1	1	1	0.75	0.4	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0
SLE_frequente_4	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0
SLE_frequente_5	1	1	1	0	1	0	1	0.75	0.4	0	0	0.75	0	0.5	0	0	0	0
SLE_frequente_6	1	1	1	1	1	1	1	0.75	0.4	0	0	0.75	0.75	0.5	0	0	0	0

19.4.4 Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Quasi Permanenti

COMBINAZIONI	Peso proprio	Sovraccarico permanente	AZIONI															
			Spinta terre		Spinta sovracc perm		Ritiro	Carico mobile tandem	Carico mobile distribuito	Centrifuga	Frenatura	Spinta carico mobile		Termica	Sisma_H sx	Sisma_Hdx	Sisma_V+	Sisma_V-
			sx	dx	sx	dx						sx	dx					
SLE_q_perm_1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0
SLE_q_perm_2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0

19.4.5 Combinazioni sismiche

COMBINAZIONI	Peso proprio	Sovraccarico permanente	AZIONI															
			Spinta terre		Spinta sovracc perm		Ritiro	Carico mobile tandem	Carico mobile distribuito	Centrifuga	Frenatura	Spinta carico mobile		Termica	Sisma_H sx	Sisma_Hdx	Sisma_V+	Sisma_V-
			sx	dx	sx	dx						sx	dx					
SLV01	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0	1	0
SLV02	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0	0	1
SLV03	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	1	1	0
SLV04	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	1	0	1
SLV05	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0	1	0
SLV06	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0	0	1
SLV07	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	1	1	0
SLV08	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	1	0	1

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

20 MODELLO DI CALCOLO - SOTTOVIA

20.1 Definizione del modello di calcolo

Per il sottovia è stato predisposto un modello di calcolo piano agli elementi finiti relativo ad una striscia di larghezza unitaria.

La modellazione è stata realizzata mediante il software SAP2000 v.21.2.0 (Computers & Structures, Inc.).

Gli elementi del portale sono stati modellati mediante elementi monodimensionali tipo “beam”.

Il terreno di fondazione è stato modellato mediante molle con costante di rigidità verticale pari alla costante di sottofondo del terreno. Le costanti di rigidità orizzontali sono state assunte pari alla metà della costante di rigidità verticale.

Il sistema di riferimento adottato è di tipo cartesiano ortogonale destro, con l'asse X allineato secondo la direzione trasversale del manufatto, l'asse Y in direzione longitudinale e l'asse verticale Z orientato positivo verso l'alto.

Si riportano di seguito alcune viste del modello, con individuazione dei nodi e degli elementi.



Figura 20-1: Modello di calcolo agli elementi finiti - vista sul piano XZ

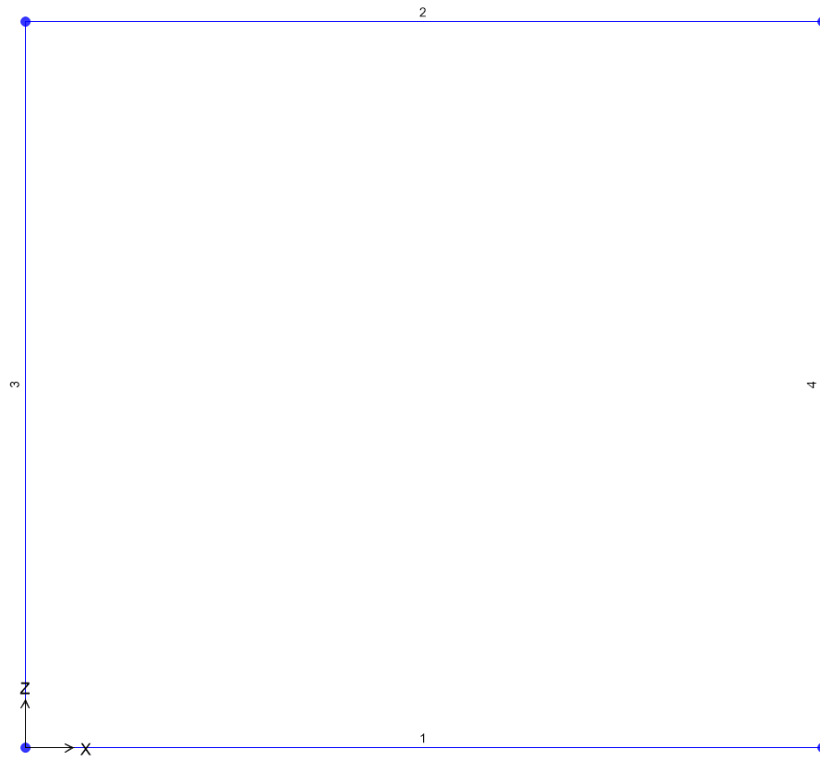



Figura 20-2: Numerazione degli elementi strutturali tipo beam

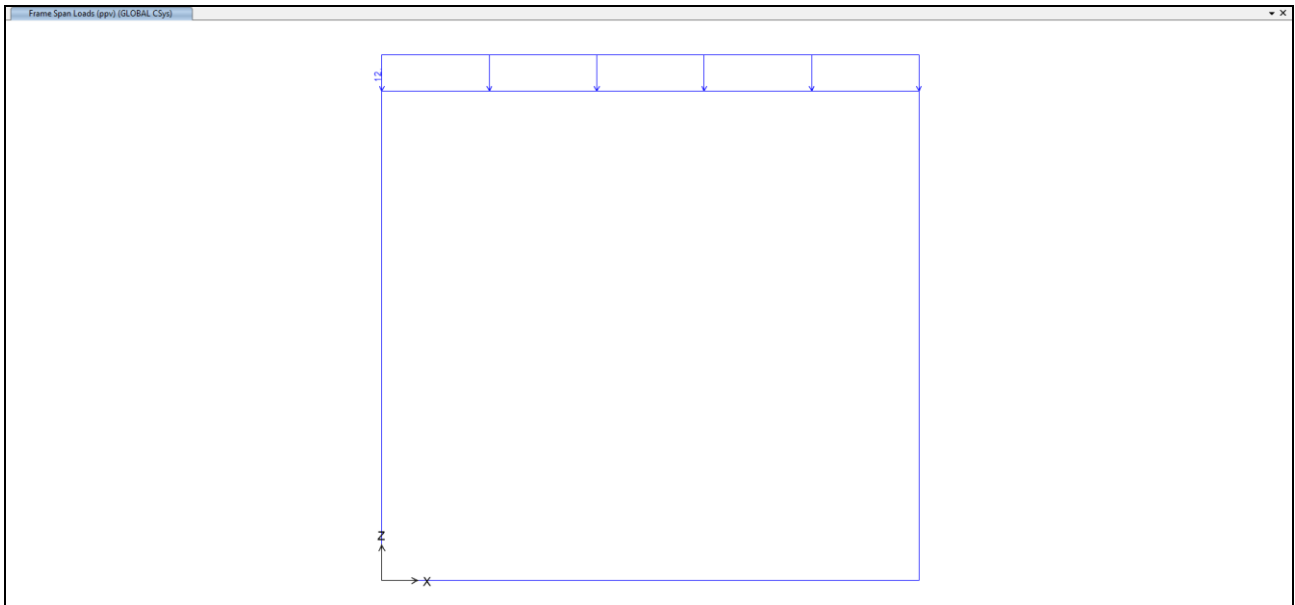


Figura 20-3: Numerazione dei nodi del modello

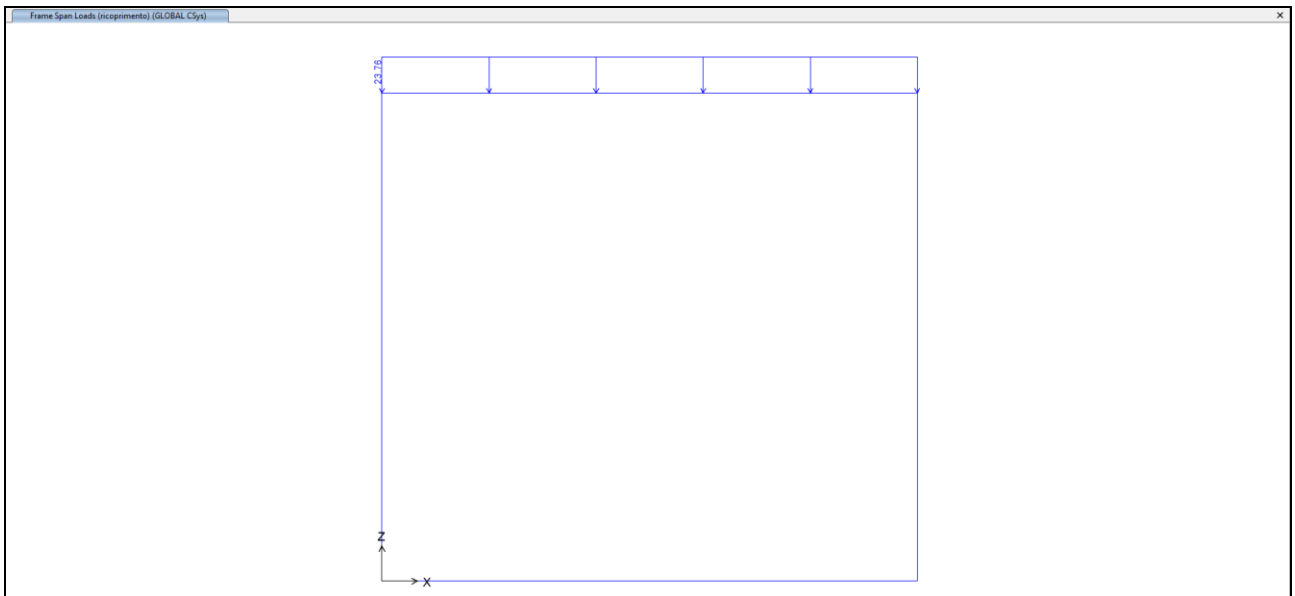
Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

20.2 Applicazione dei carichi

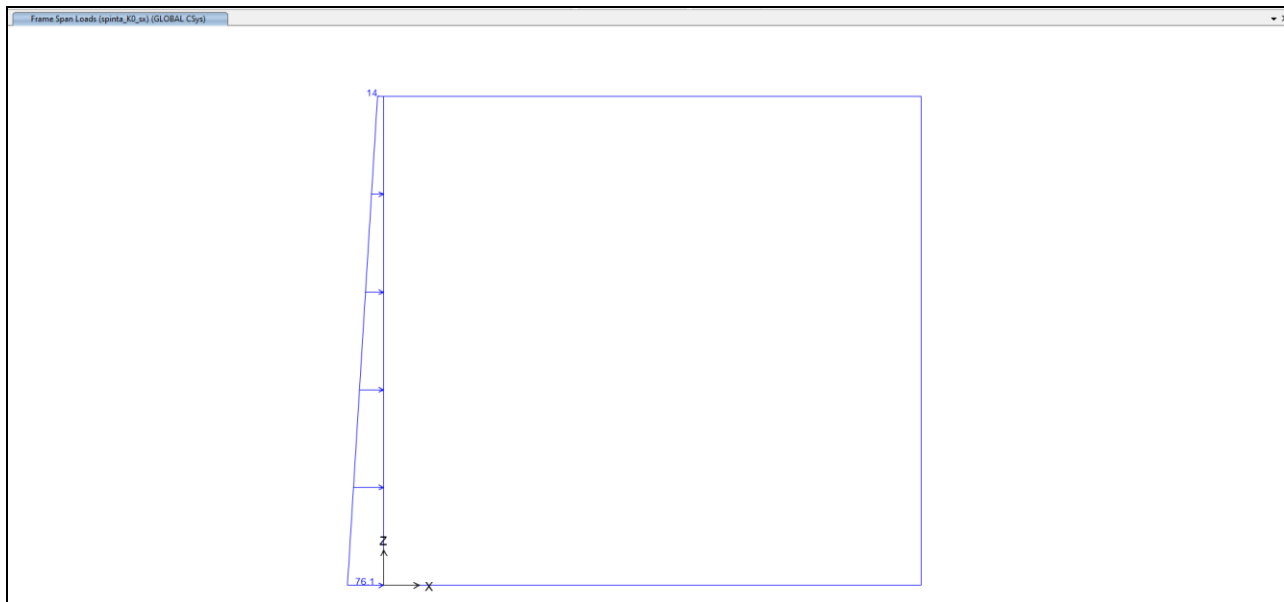
20.2.1 Carichi permanenti dovuti al peso della pavimentazione stradale



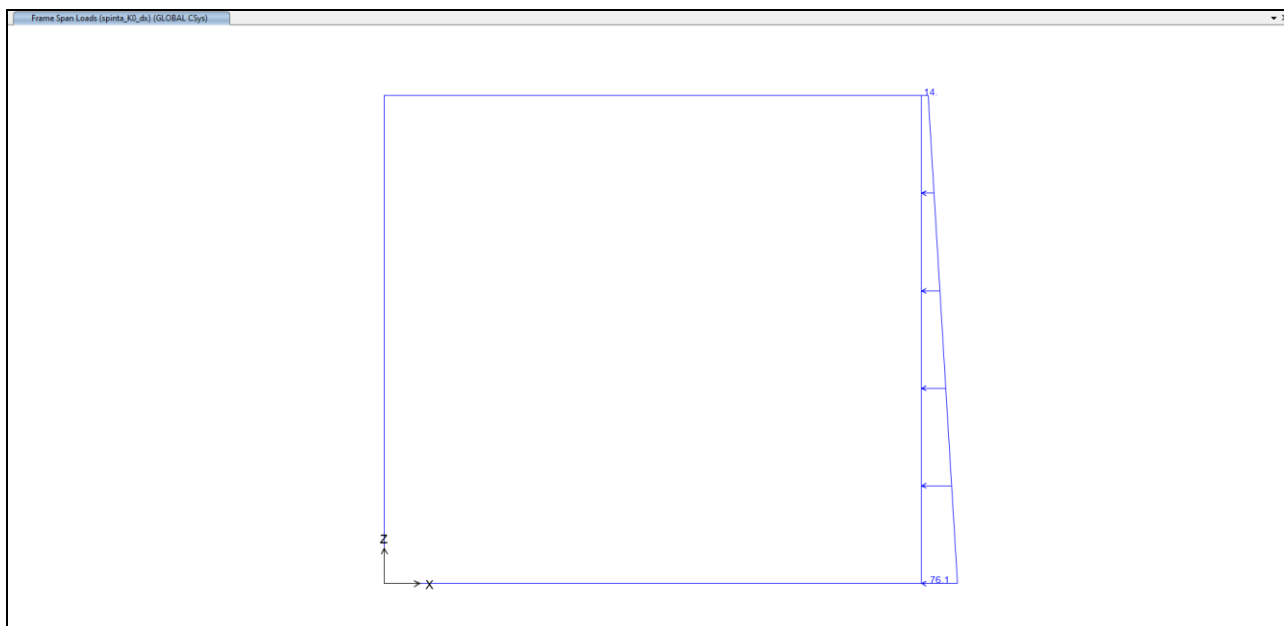
20.2.2 Carichi permanenti dovuti al peso del terreno di ricoprimento




20.2.3 Spinta del terreno sul ritto sinistro + sovraspinta dovuta ai carichi permanenti

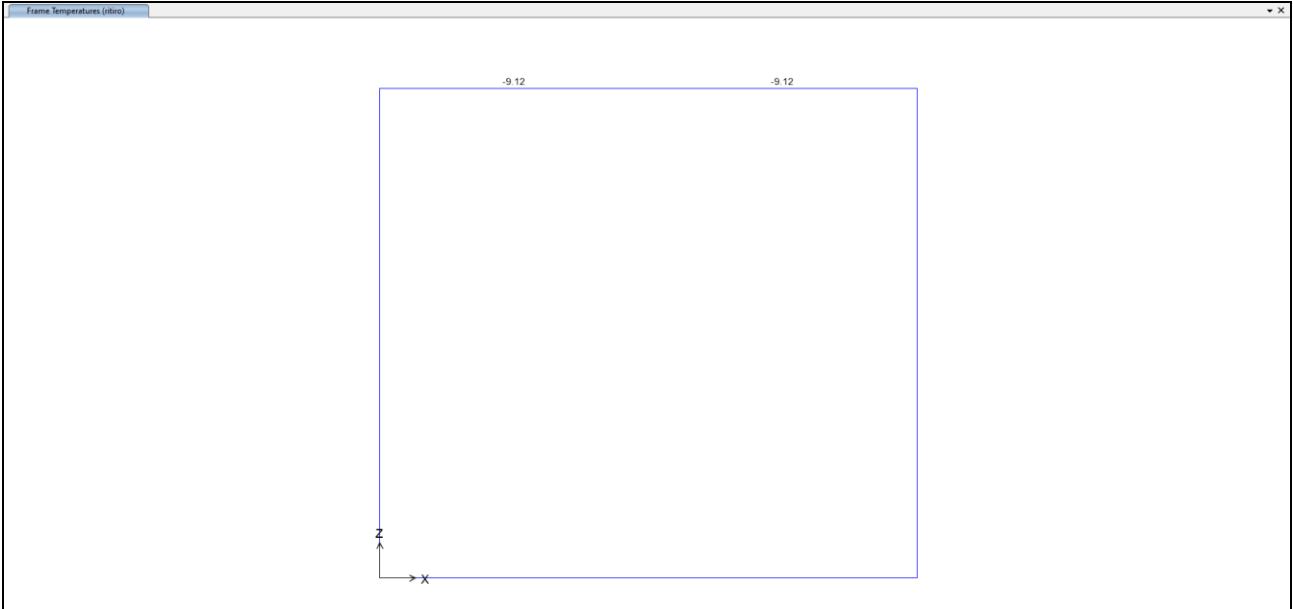


20.2.4 Spinta del terreno sul ritto destro + sovraspinta dovuta ai carichi permanenti

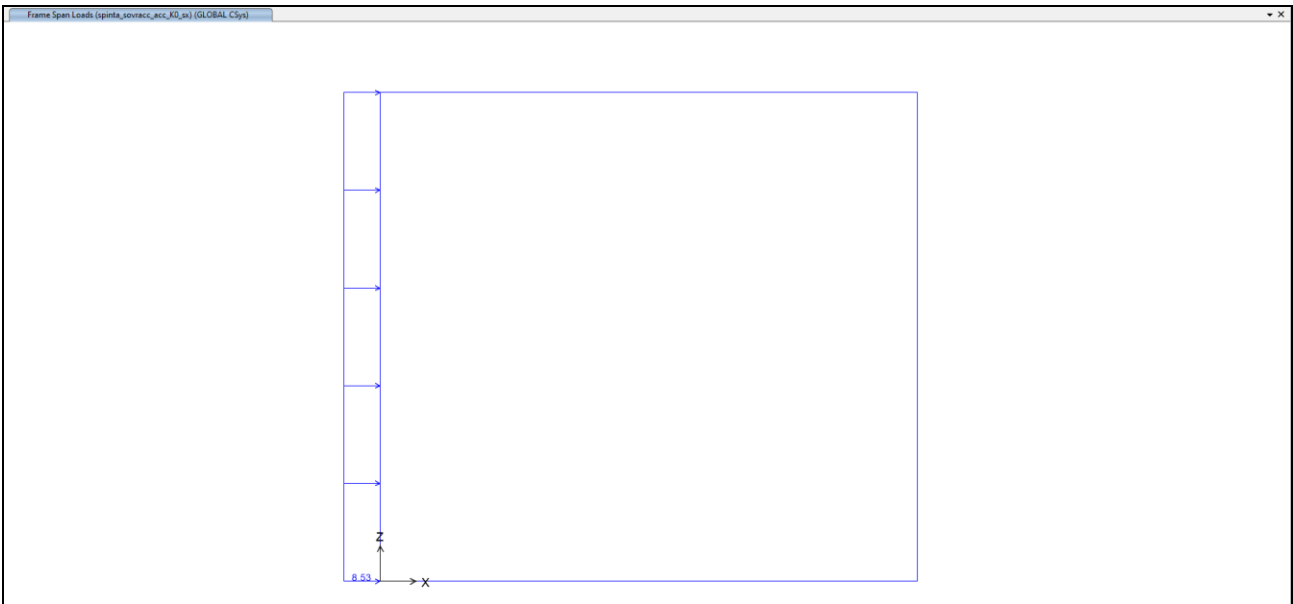


Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

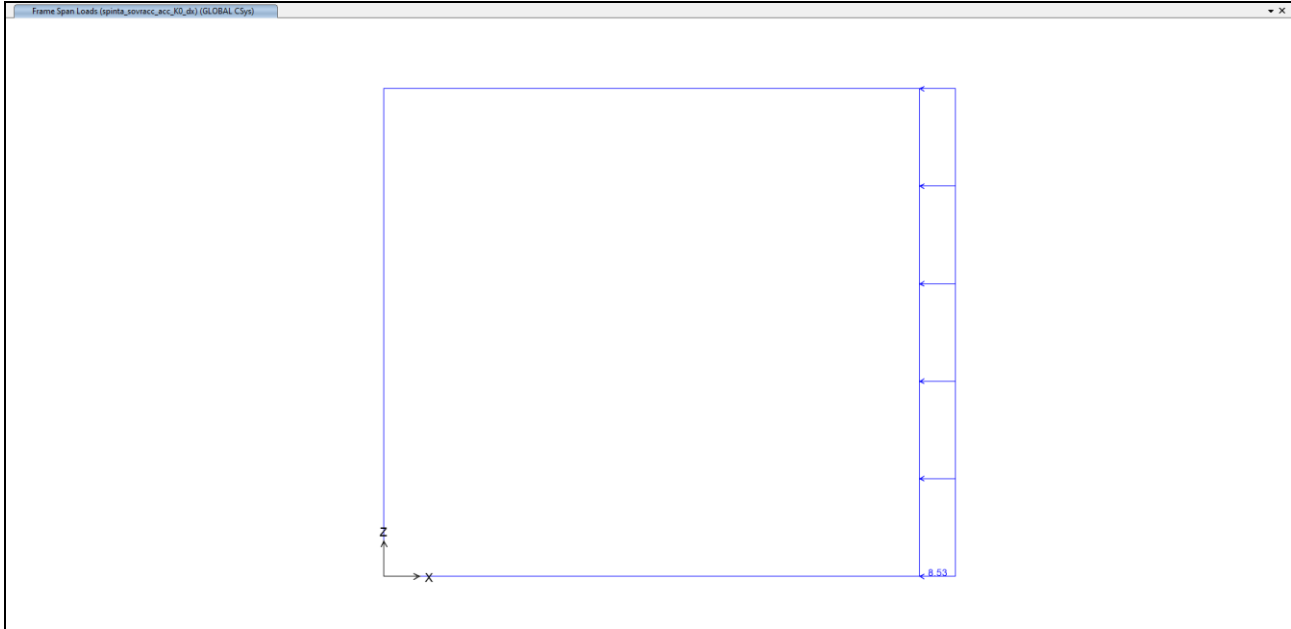
20.2.5 Azione del ritiro sulla soletta superiore



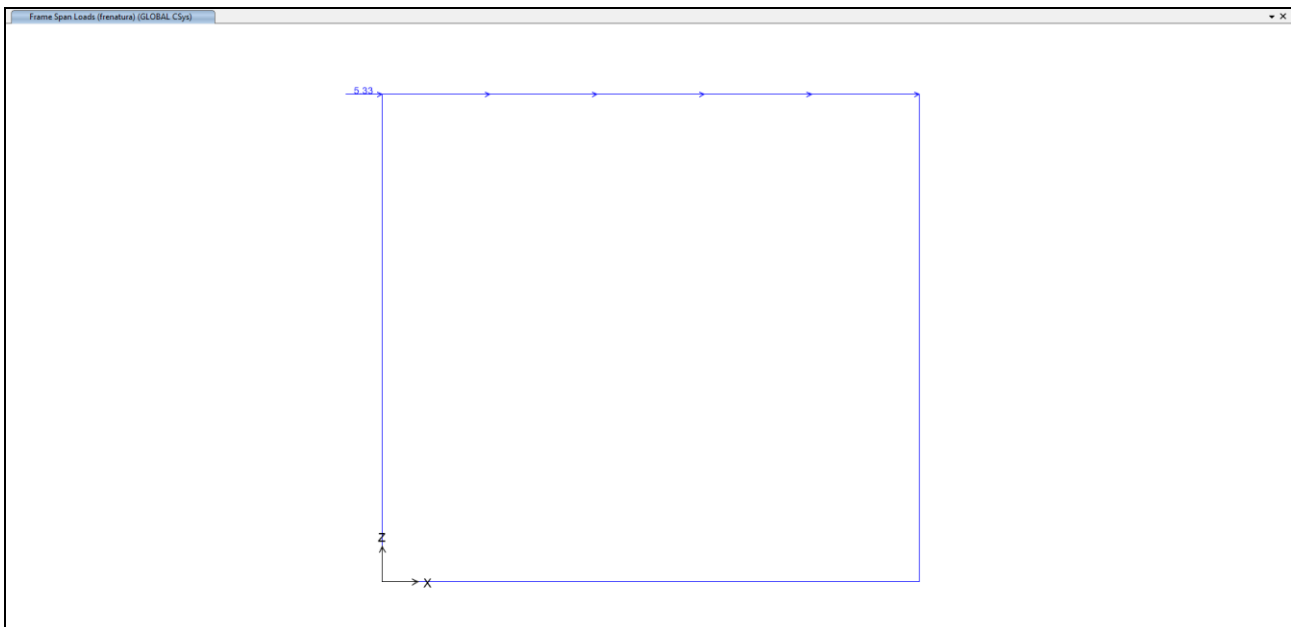
20.2.6 Spinta del sovraccarico accidentale sul ritto sinistro



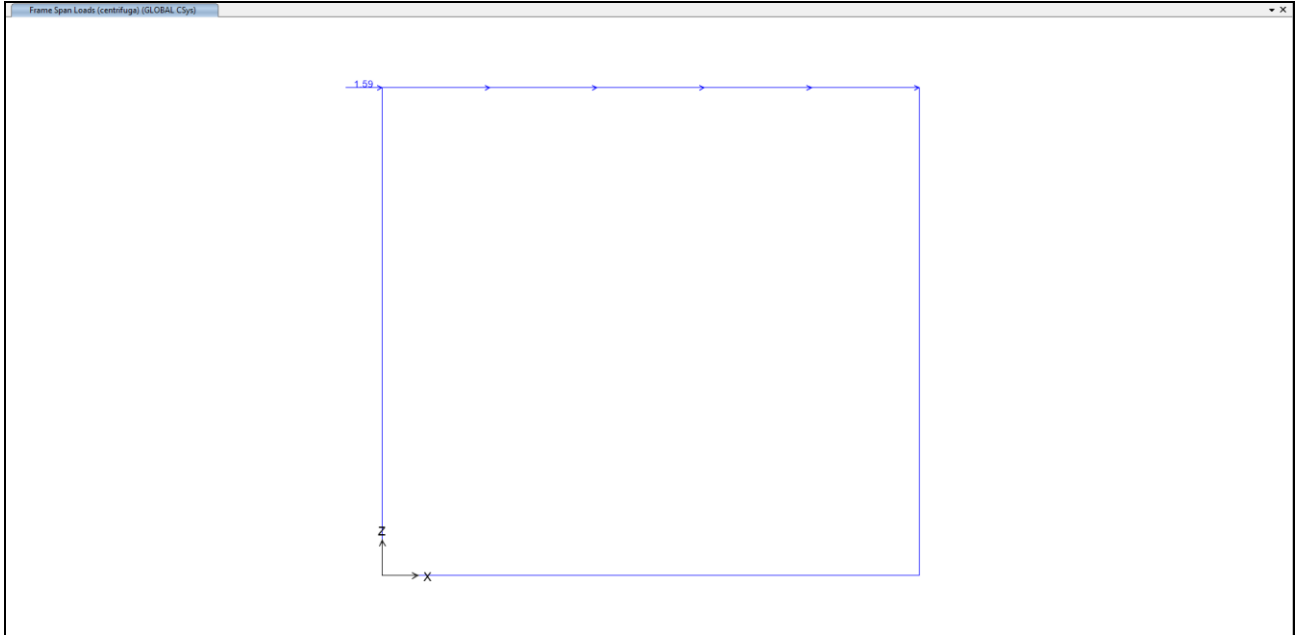
20.2.7 Spinta del sovraccarico accidentale sul ritto destro



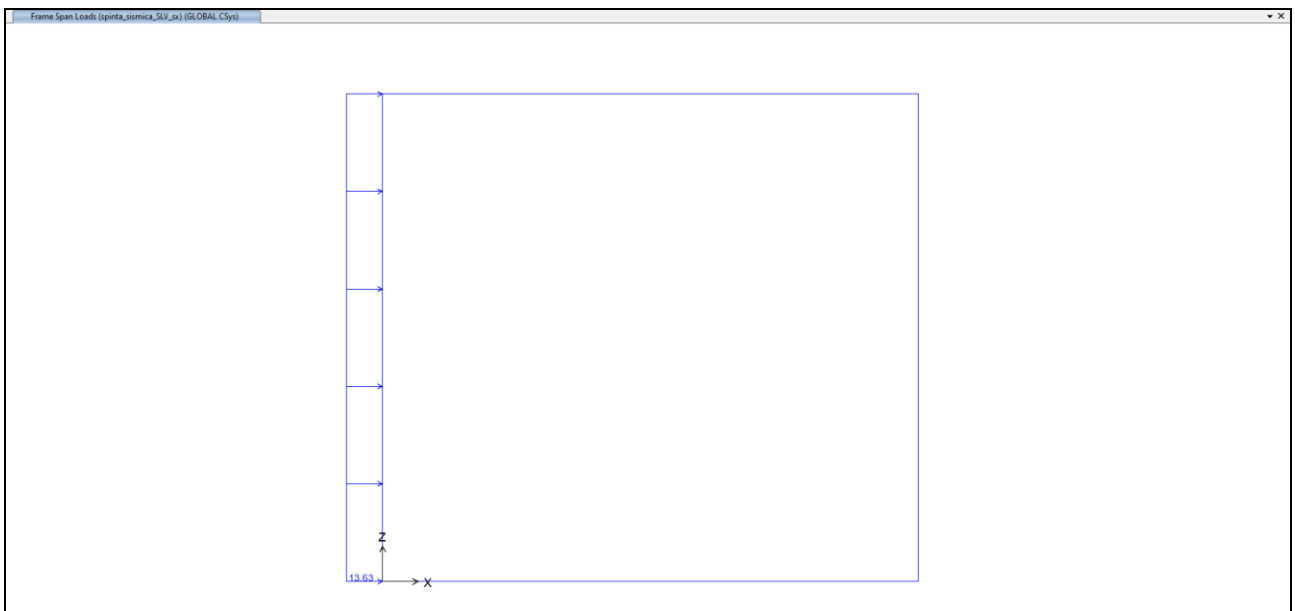
20.2.8 Azione orizzontale della frenatura sulla soletta superiore




20.2.9 Azione orizzontale della forza centrifuga sulla soletta superiore



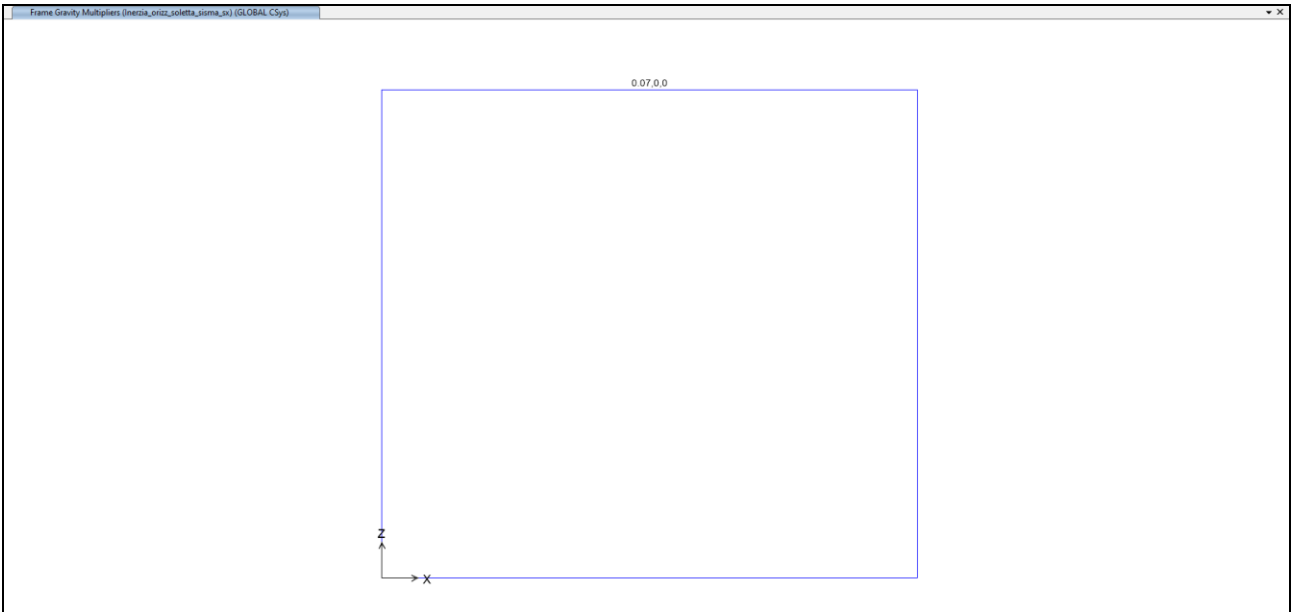
20.2.10 Sovrappinta dinamica del terreno sul ritto sinistro (sisma +X)



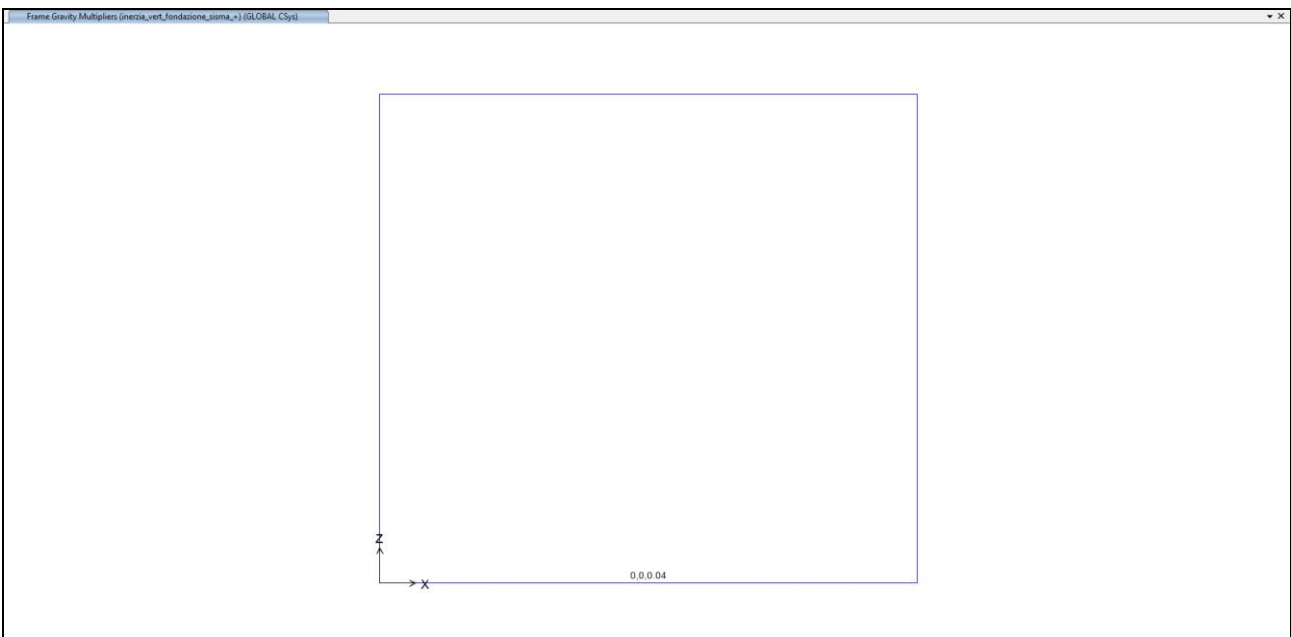
Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

20.2.11 Azione inerziale orizzontale della soletta (sisma +X)

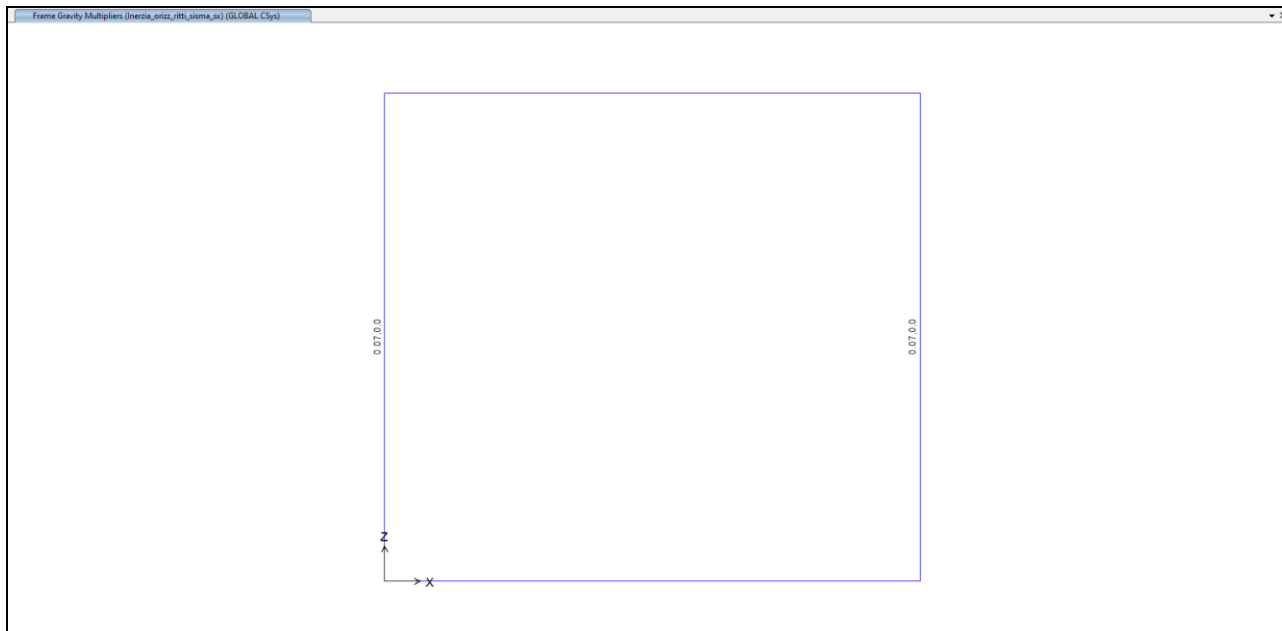
L'azione inerziale è stata applicata agli elementi del modello attraverso l'uso dei Gravity Multipliers. Nel caso dell'inerzia orizzontale, è stato inserito un Gravity Multipliers in direzione X pari a $k_h = \pm 0.072$, a seconda del verso dell'azione sismica.



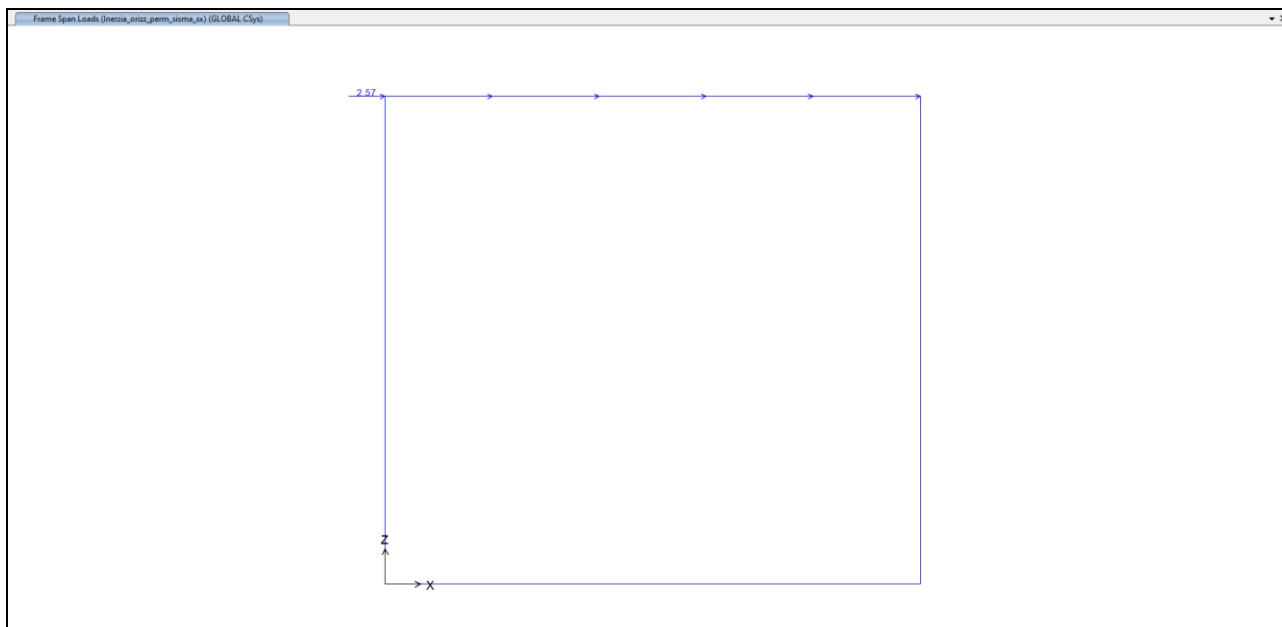
20.2.12 Azione inerziale orizzontale della fondazione (sisma +X)



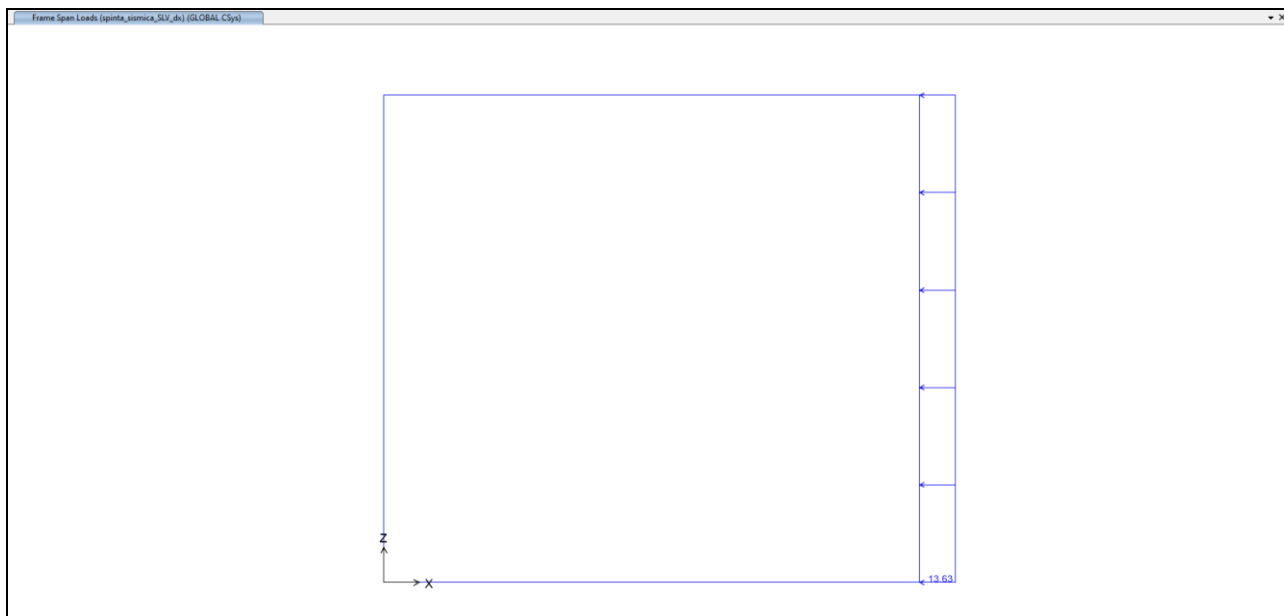
20.2.13 Azione inerziale orizzontale sui ritri (sisma +X)



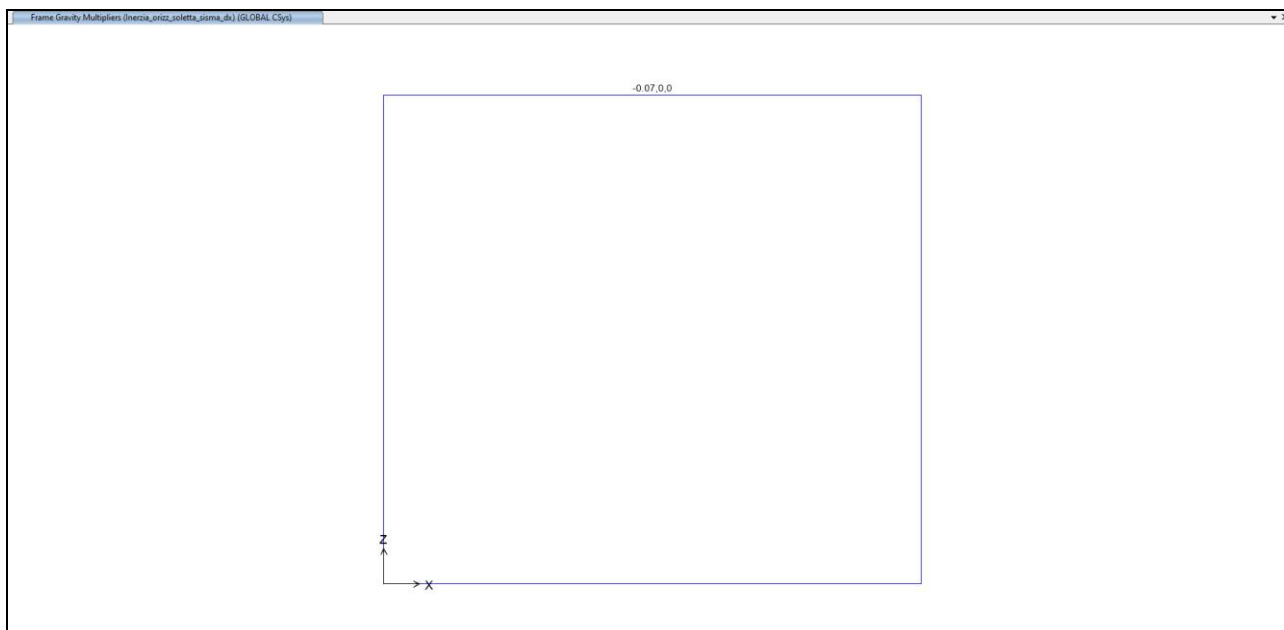
20.2.14 Azione inerziale orizzontale dei carichi permanenti portati (sisma +X)




20.2.15 Sovrappinta dinamica del terreno sul ritto destro (sisma -X)

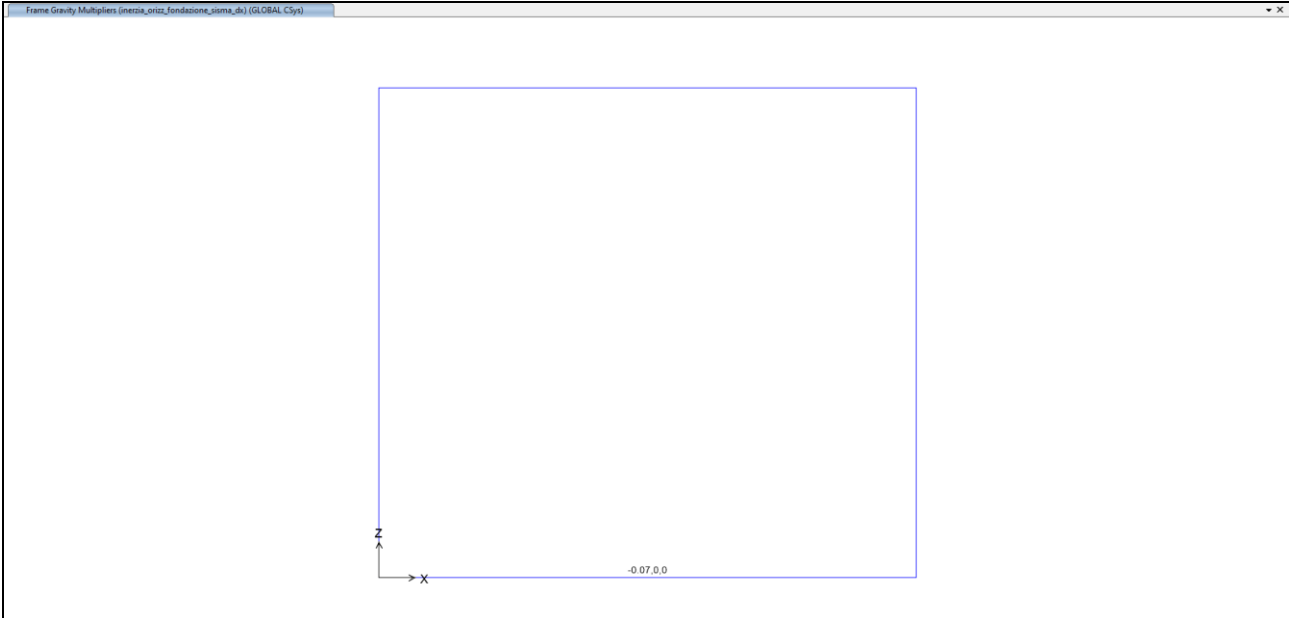


20.2.16 Azione inerziale orizzontale della soletta (sisma -X)

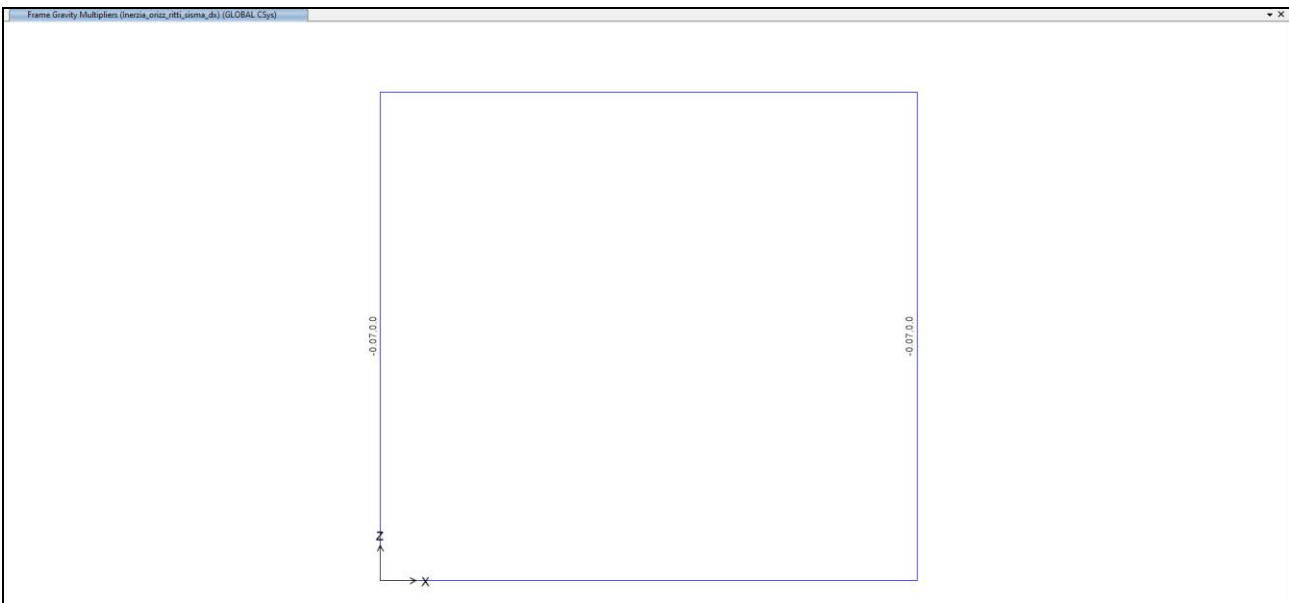



Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

20.2.17 Azione inerziale orizzontale della fondazione (sisma -X)

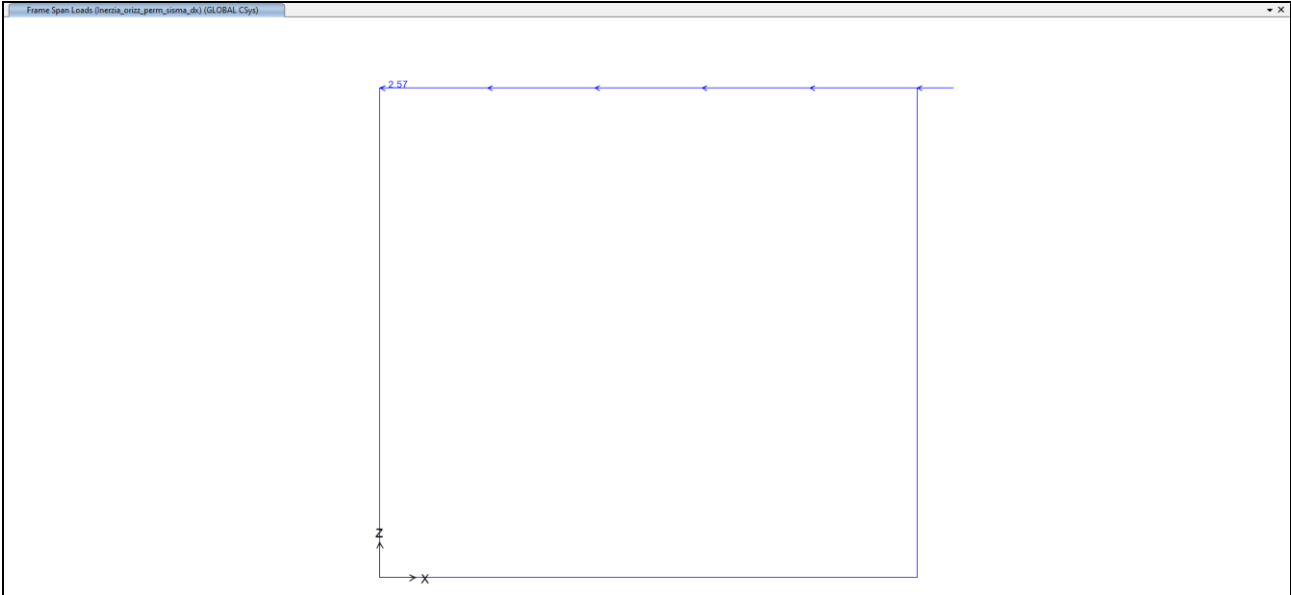


20.2.18 Azione inerziale orizzontale sui ritri (sisma -X)



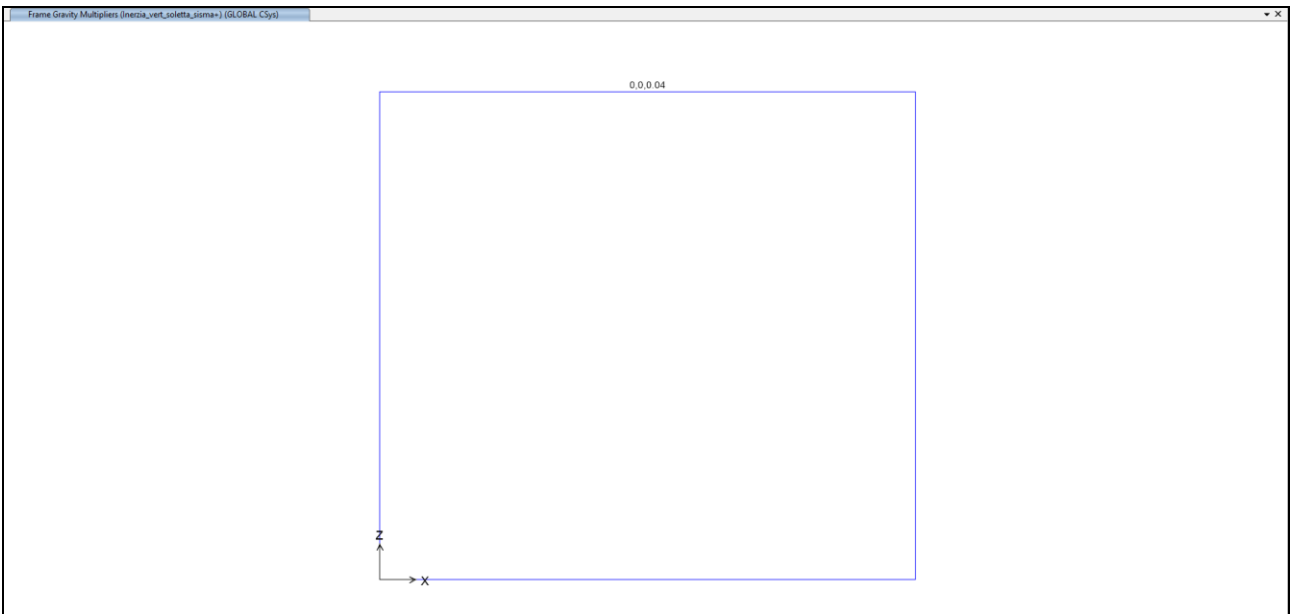
Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	


20.2.19 Azione inerziale orizzontale dei carichi permanenti portati (sisma -X)



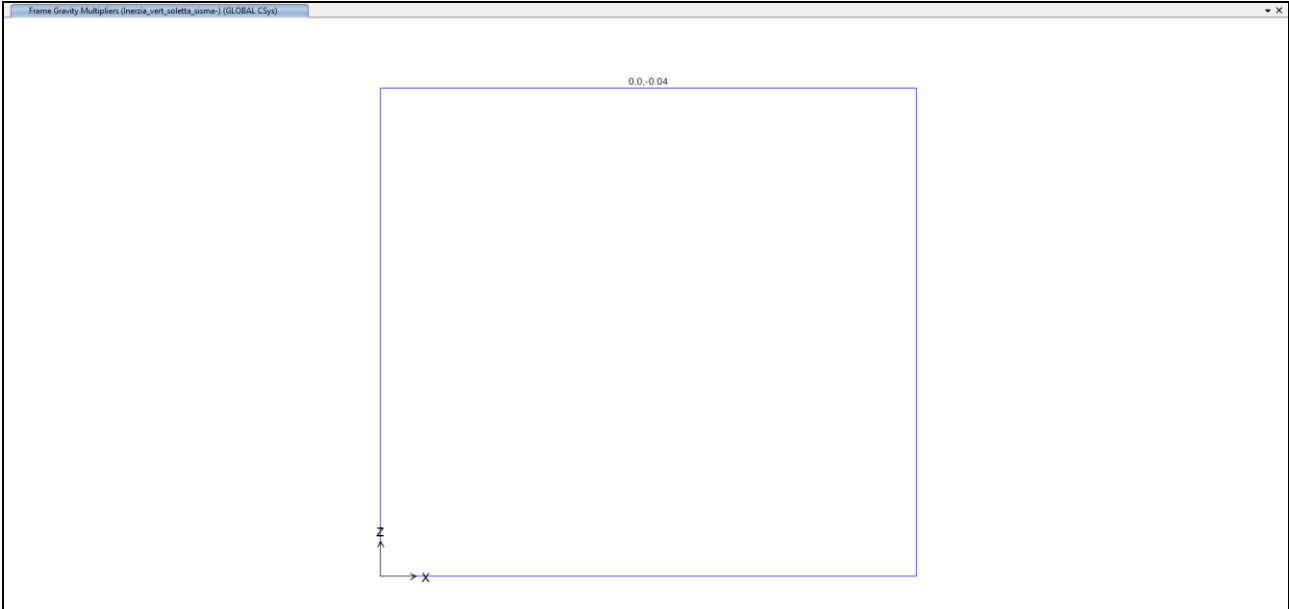
20.2.20 Azione inerziale verticale della soletta (sisma +Z)

L'azione inerziale è stata applicata agli elementi del modello attraverso tramite l'uso dei Gravity Multipliers. Nel caso dell'inerzia verticale, è stato inserito un Gravity Multipliers in direzione Z pari a $k_v = \pm 0.036$, a seconda del verso dell'azione sismica.

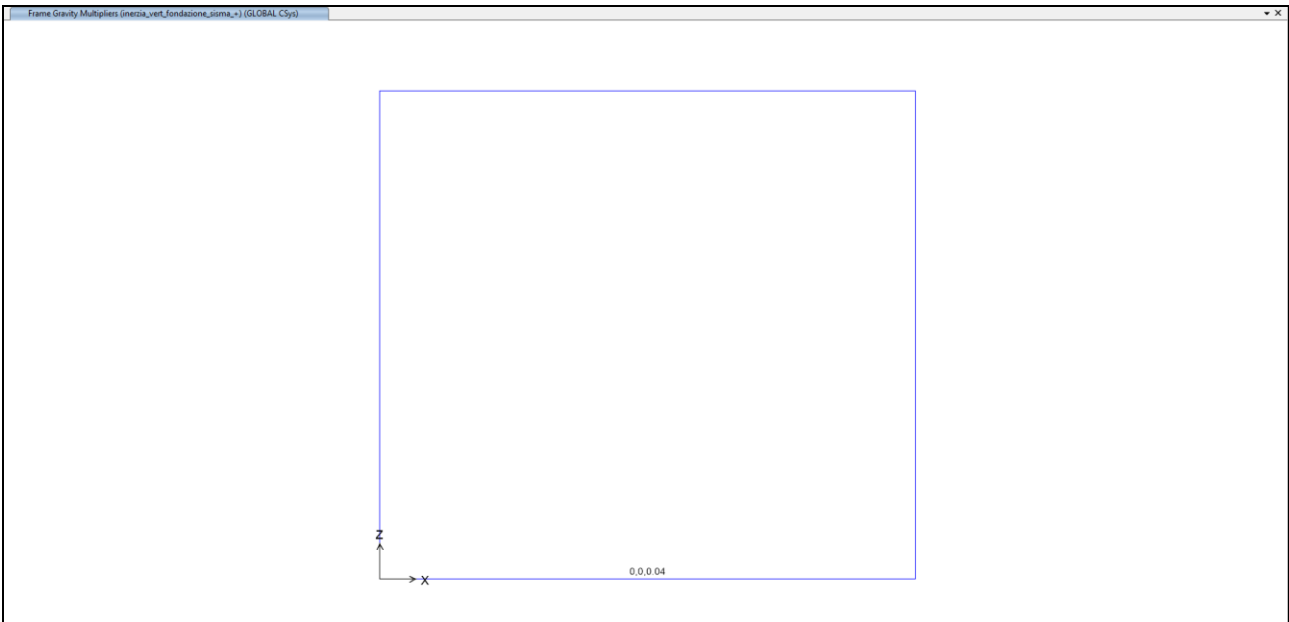


Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

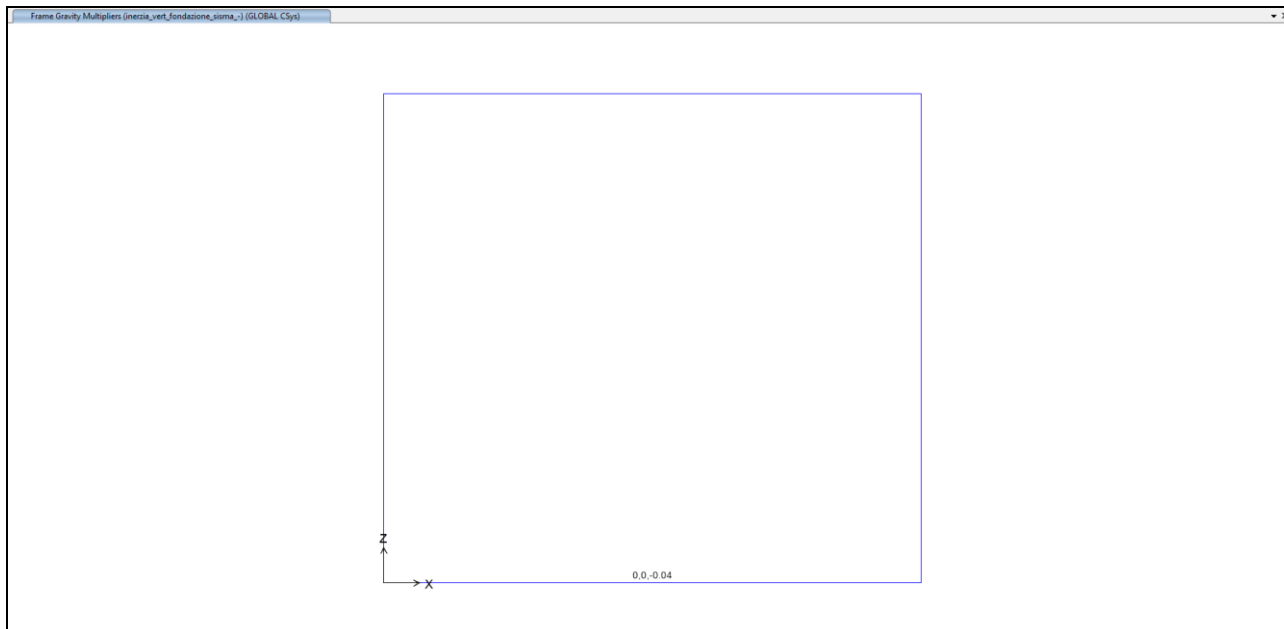
20.2.21 Azione inerziale verticale della soletta (sisma -Z)



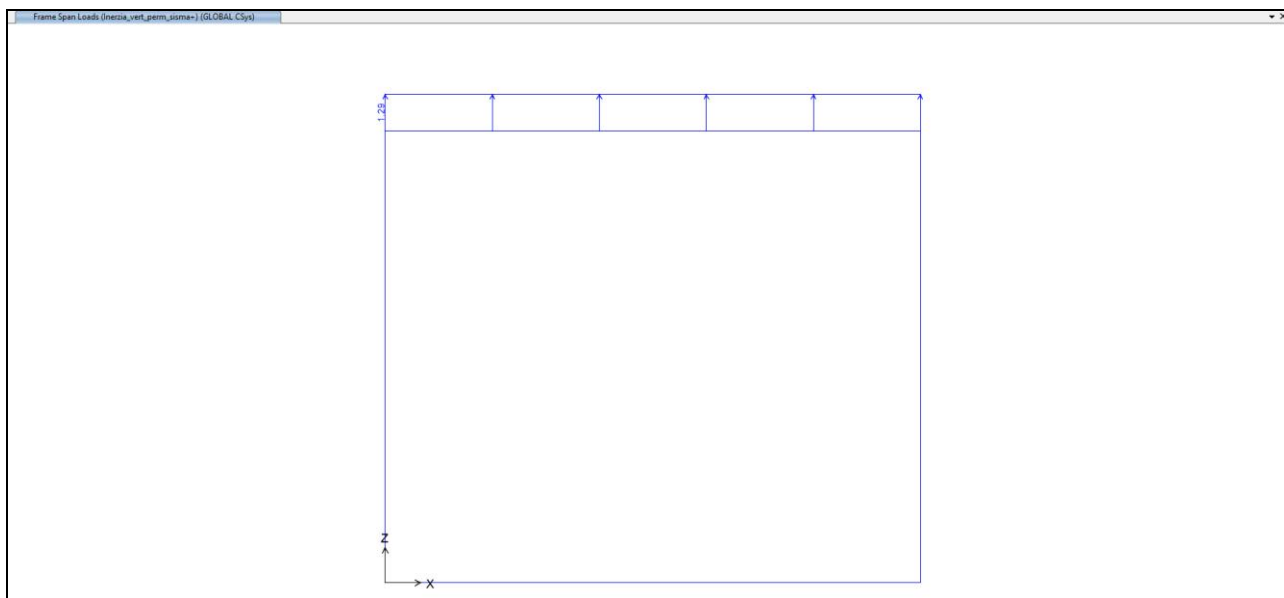
20.2.22 Azione inerziale verticale della fondazione (sisma +Z)




20.2.23 Azione inerziale verticale della fondazione (sisma -Z)

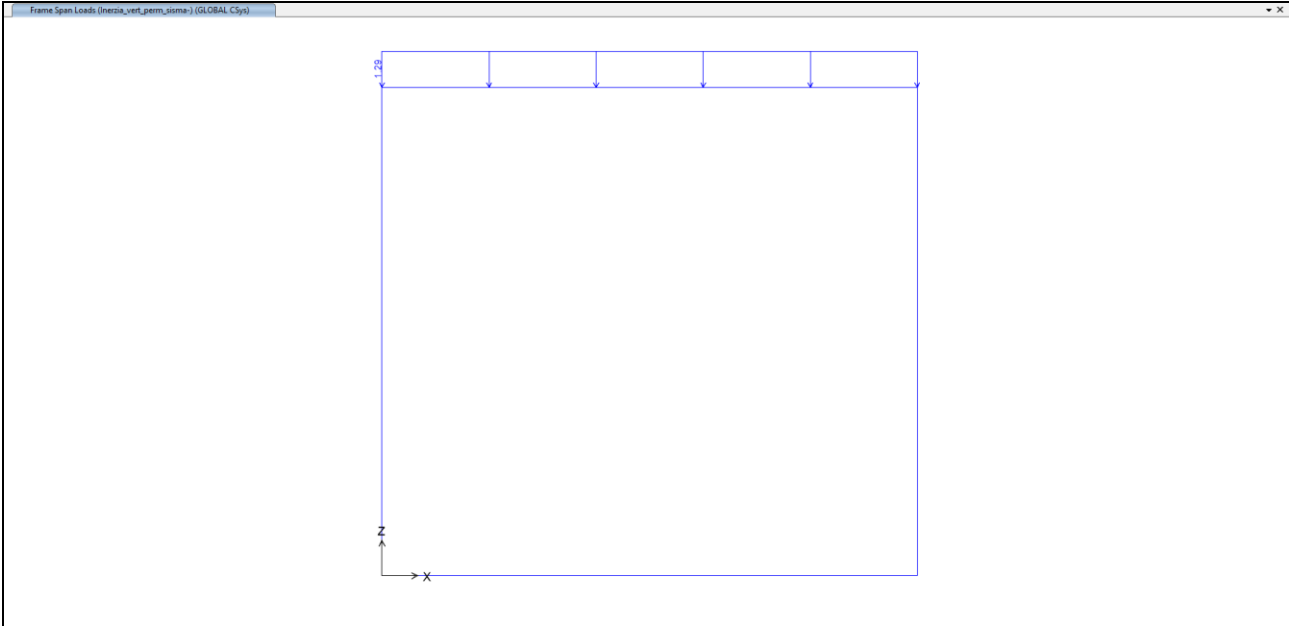


20.2.24 Azione inerziale verticale dei carichi permanenti portati (sisma +Z)



Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

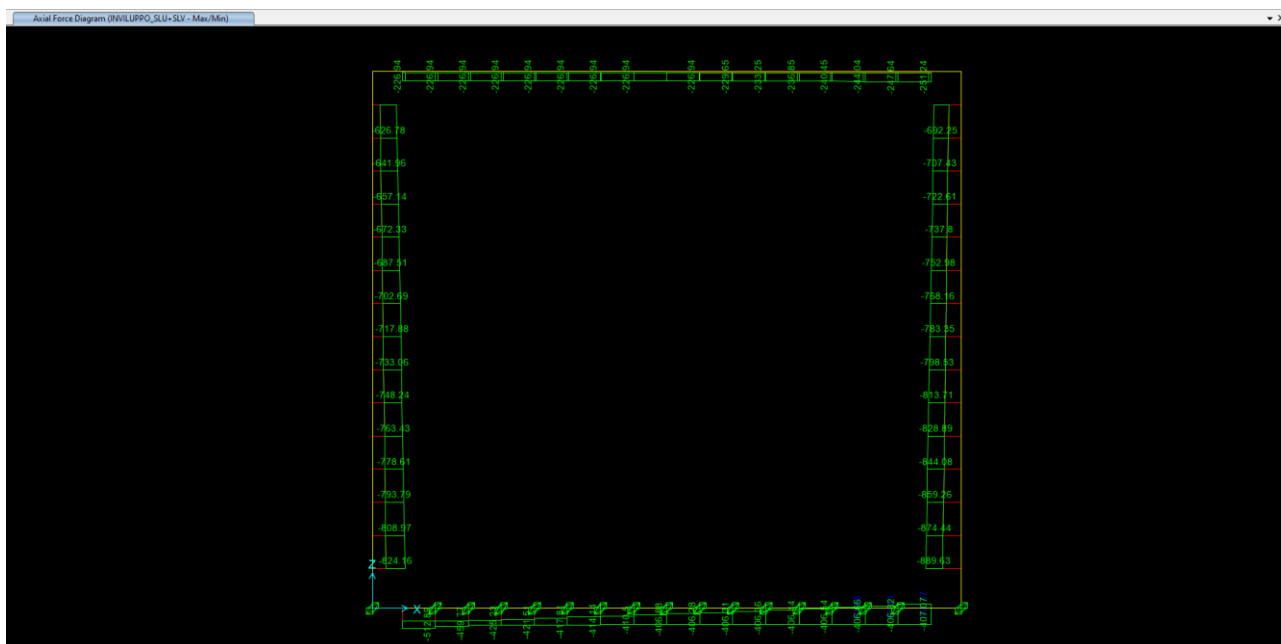
20.2.25 Azione inerziale verticale dei carichi permanenti portati (sisma -Z)



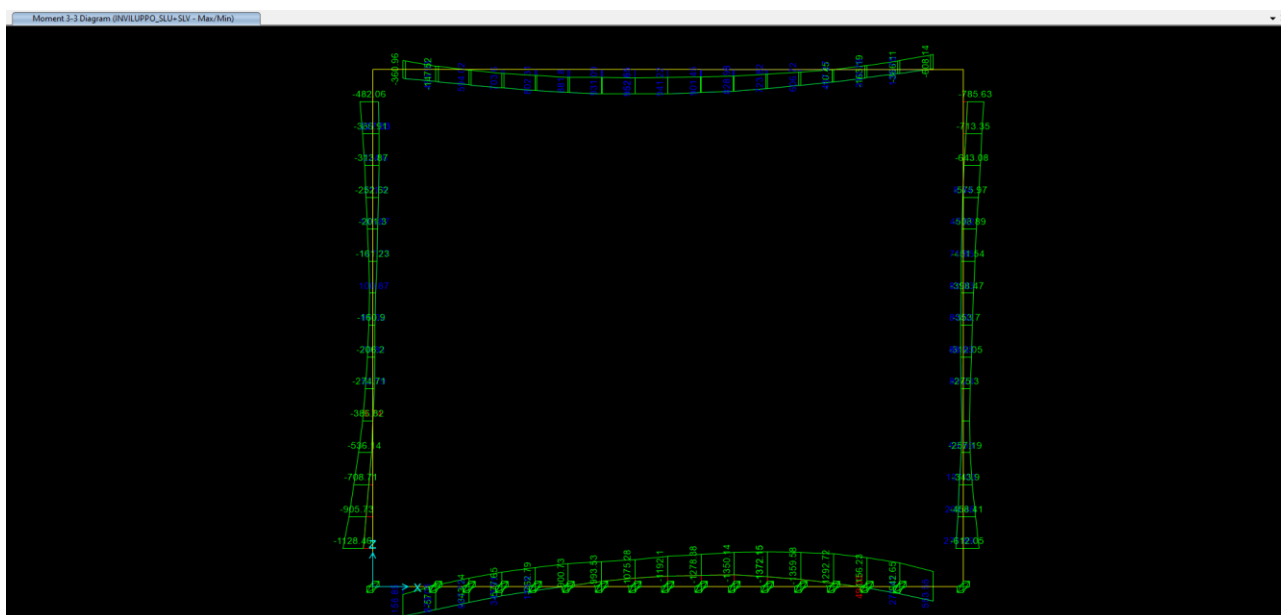
21 VALUTAZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI - SOTTOVIA

Di seguito sono riportati i diagrammi delle sollecitazioni riferite alla combinazione involuppo delle combinazioni allo stato limite ultimo statiche (STR) e sismiche (SISMA).

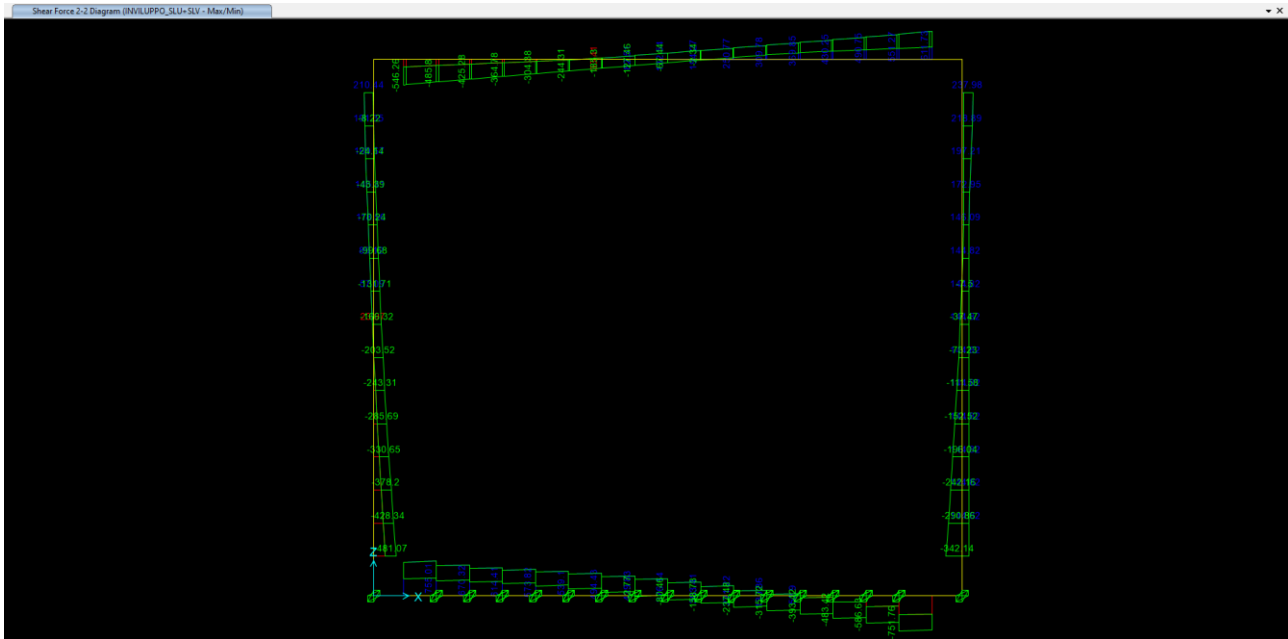
21.1 Diagramma dell'azione assiale



21.2 Diagramma del momento flettente



21.3 Diagramma dell'azione tagliante



22 SOLETTA SUPERIORE - VERIFICA STRUTTURALE - SOTTOVIA

22.1 Sezioni di verifica ed armatura di calcolo

La sezione di verifica è rettangolare con base pari a 100 cm ed altezza pari a 100 cm.

Le sezioni di verifica sono riportate nella figura seguente.

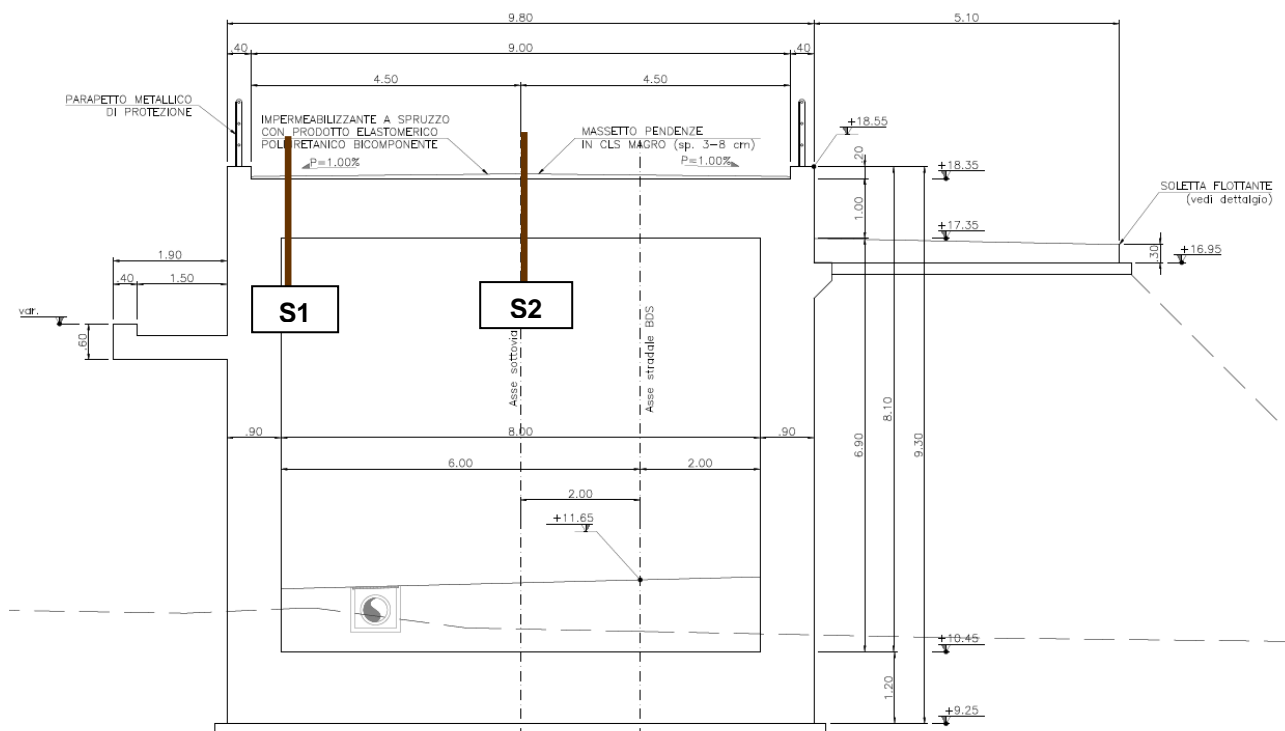



Figura 22-1: Sezioni di verifica

Nella tabella seguente si riportano le armature di calcolo assunte per ogni sezione e i momenti sollecitanti.

Sezione	Posizione	M_{max} (INV_SLU+SLV) [kNm/m]	Armatura superiore	Armatura inferiore
S1	A filo ritto (M-)	-608.1	$\phi 26 / 20$	$\phi 26 / 20$
S1	A filo ritto (M+)	329.4	$\phi 26 / 20$	$\phi 26 / 20$
S2	Mezzeria (M+ max)	952.7	$\phi 26 / 20$	$\phi 26 / 20 + \phi 26 / 40$

Tabella 22-1: Sezioni di verifica - Momenti sollecitanti ed armatura di calcolo

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

22.2 Verifica allo Stato Limite Ultimo per flessione

Le verifiche vengono svolte trascurando il contributo positivo dello sforzo normale di compressione.

Per lo svolgimento delle verifiche è stato utilizzato il software Vcaslu.

22.2.1 Verifica a filo ritto (Momento negativo) – Sezione S1

La combinazione maggiormente gravosa è risultata essere la combinazione statica.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $M_{sd} = -608.1 \text{ kNm/m}$.

Verifica C.A. S.L.U. - File: soletta_Appoggio

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

Titolo: _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	100	1	26.55	5.8
			2	26.55	94.2

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

Solecitazioni
 S.L.U. Metodo n
 N_{Ed} kN
 M_{xEd} -583.9 kNm
 M_{yEd} 0

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

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione
 Retta Deviate

Materiali
 B450C C32/40
 ϵ_{su} ‰ ϵ_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ϵ_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd} ‰
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 ϵ_{syd} ‰ $\sigma_{c,adm}$ ‰
 $\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co} ‰
 τ_{c1} ‰

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

N° rett.
 Calcola MRd Dominio M-N
 L₀ cm Col. modello
 Precompresso

Il momento resistente della sezione vale $M_{rd} = -947.7 \text{ kNm/m}$.

Essendo $M_{rd}/M_{sd} = 1.56 > 1$, la verifica risulta soddisfatta.

22.2.2 Verifica a filo retto (Momento positivo) – Sezione S1

La combinazione maggiormente gravosa è risultata essere la combinazione statica.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $M_{sd} = 329.4 \text{ kNm/m}$.

Verifica C.A. S.L.U. - File: soletta_Appoggio

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

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	100	1	26.55	5.8
			2	26.55	94.2

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
 M_{xEd} -583.9 kNm
 M_{yEd}

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C		C32/40	
ε _{su}	67.5 ‰	ε _{c2}	2 ‰
f _{yd}	391.3 N/mm²	ε _{cu}	3.5 ‰
E _s	210'000 N/mm²	f _{cd}	18.13
E _s /E _c	10	f _{cc} /f _{cd}	0.8
ε _{syd}	1.863 ‰	σ _{c,adm}	12.25
σ _{s,adm}	255 N/mm²	τ _{co}	0.7333
		τ _{c1}	2.114

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ε_c ‰
 ε_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

Il momento resistente della sezione vale $M_{rd} = 947.6 \text{ kNm/m}$.

Essendo $M_{rd}/M_{sd} = 2.88 > 1$, la verifica risulta soddisfatta.

22.2.3 Verifica in campata (Momento positivo max) – Sezione S2

La combinazione maggiormente gravosa è risultata essere la combinazione statica.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $M_{sd} = 952.7 \text{ kNm/m}$.

Verifica C.A. S.L.U. - File: soletta_mezzeria

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

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	100

N°	As [cm²]	d [cm]
1	26.55	5.8
2	26.55	94.2
3	13.27	89

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
M_{xEd} 674.2 kNm
M_{yEd}

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

B450C	C32/40
ϵ_{su} <input type="text" value="67.5"/> ‰	ϵ_{c2} <input type="text" value="2"/> ‰
f_{yd} <input type="text" value="391.3"/> N/mm²	ϵ_{cu} <input type="text" value="3.5"/> ‰
E_s <input type="text" value="210000"/> N/mm²	f_{cd} <input type="text" value="18.13"/>
E_s/E_c <input type="text" value="10"/>	f_{cc}/f_{cd} <input type="text" value="0.8"/> ?
ϵ_{syd} <input type="text" value="1.863"/> ‰	$\sigma_{c,adm}$ <input type="text" value="12.25"/>
$\sigma_{s,adm}$ <input type="text" value="255"/> N/mm²	τ_{co} <input type="text" value="0.7333"/>
	τ_{c1} <input type="text" value="2.114"/>

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ϵ_c ‰

ϵ_s ‰

d cm

x w/d

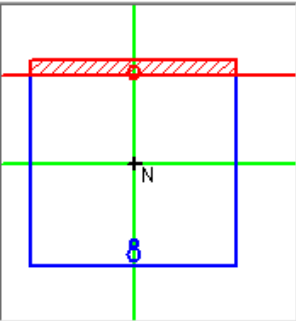
δ

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi

a T Circolare

Rettangoli Coord.



Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-

Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

N° rett.


Calcola MRd Dominio M-N

L₀ cm Col. modello

Precompresso

Il momento resistente della sezione vale $M_{rd} = 1380 \text{ kNm/m}$.

Essendo $M_{rd}/M_{sd} = 1.45 > 1$, la verifica risulta soddisfatta.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

22.3 Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio

La verifica a taglio verrà eseguita, a favore di sicurezza, senza tener conto dell'effetto positivo dell'azione normale di compressione.

L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a $V_{s,d} = 612 \text{ kN/m}$ e si ha in corrispondenza della sezione a filo ritto (S1).

Viene dapprima eseguita una verifica a taglio per elemento non armato a taglio.

Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$


larghezza sezione	b_w	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	1000
altezza utile sezione	d	[mm]	942
armatura longitudinale	A_{sl}	[mm ²]	2655
rapporto geometrico di armatura longitudinale (<0.02)	ρ_l		0.003
	k		1.461
	v_{min}	[MPa]	0.350
tensione media di compressione nella sezione (<0.2 f_{cd})	σ_{cp}	[MPa]	0.00
resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	[MPa]	32.0
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	344
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	612

non verificato

Poiché la verifica non è soddisfatta, si decide di inserire un'armatura a taglio costituita da spille $\phi 14/40 \times 40$.

Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

larghezza sezione	b_w	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	1000
altezza utile sezione	d	[mm]	942
numero armature trasversali	$n^\circ \emptyset$		2.50
diametro armature trasversali	\emptyset	[mm]	14
interasse armature trasversali	s	[mm]	400
area dell'armatura trasversale a taglio	A_{sw}	[mm ²]	385
resistenza di progetto	f_{yd}	[MPa]	391
resistenza a compressione del cls	f_{cd}	[MPa]	18.1
angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	α	[DEG]	90

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

	ctg θ		2.5
	θ	[DEG]	22
tensione di compressione calcestruzzo	σ_{cp}	[MPa]	0.00
coefficiente maggiorativo in elementi compressi	α_c		1.00
resistenza a taglio trazione	V_{Rsd}	[kN]	798
resistenza a compressione del cls ridotta	f_{cd}'	[MPa]	9.1
resistenza a taglio compressione	V_{Rcd}	[kN]	2650
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	798
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	612

verificato

La verifica a taglio con armature trasversali risulta soddisfatta, con rapporto $V_{Rd}/V_{Ed} = 1.30 > 1$.

22.4 Verifica allo Stato Limite di fessurazione

Per la verifica di fessurazione sono state considerate condizioni ambientali aggressive per le parti d'opera contro terra, condizioni ambientali ordinarie per le altre parti d'opera ed armatura poco sensibile (armatura lenta).


La scelta dello stato limite di fessurazione è stata effettuata sulla base di quanto indicato nella Tab. 2.1.IV delle NTC08, di seguito riportata.

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile Stato limite	w_k	Poco sensibile Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

I valori limite di apertura delle fessure sono i seguenti:

- $w_1 = 0.2$ mm;
- $w_2 = 0.3$ mm;
- $w_3 = 0.4$ mm.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Si riportano le sollecitazioni di verifica:

Sezione	Posizione	M_{max} (INV_SLE-FREQ.) [kNm/m]	M_{max} (INV_SLE-QP) [kNm/m]
S1	A filo ritto_M-	-330.0	-239.2
S2	Campata (M+ max)	616.8	452.0

22.4.1 Verifica a filo ritto (Momento negativo) – Sezione S1

In tal caso, essendo la sezione sollecitata prevalentemente a momento negativo (fibre superiori), la verifica viene eseguita in condizioni ambientali aggressive.

Elemento strutturale: SOLETTA

combo: SLE-F

Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica


N_{Ed} = sforzo normale	0.0 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	330.0 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	394 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	200 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0183
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	2655 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	145000 [mm ²]
b =	1000 [mm]
$h_{c,eff}$ =	145 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00041
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00041
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	142.3 [MPa]

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s/E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.6

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \varepsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.16 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]

verificato

Elemento strutturale: SOLETTA

combo: SLE-QP

Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica


N_{Ed} = sforzo normale	0.0 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	239.2 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	394 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	200 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$	0.0183
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	2655 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	145000 [mm ²]
b =	1000 [mm]
$h_{c,eff}$ =	145 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\varepsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($>= 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00030
--	---------

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00030
$\sigma_s =$ tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	103.1 [MPa]
$f_{ctm} =$ resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
$E_s =$ modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
$E_{cm} =$ modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
$\alpha_e =$ rapporto E_s/E_{cm}	6.1
$k_t =$ coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax} =$ valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.12 [mm]
$w =$ valore limite di apertura delle fessure	0.20 [mm]

verificato

22.4.2 Verifica in campata (Momento positivo max) – Sezione S2

In tal caso, essendo la sezione sollecitata a momento positivo (fibre inferiori), la verifica viene eseguita in condizioni ambientali ordinarie.

Elemento strutturale: SOLETTA

combo: SLE-F


Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica

$N_{Ed} =$ sforzo normale	0.0 [kN]
$M_{Ed} =$ momento flettente	616.8 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff} =$ distanza massima tra le fessure	475 [mm]
$c =$ copriferro	71 [mm]
$s =$ interasse barre tese	133 [mm]
$\phi =$ diametro della barra	26 [mm]
$k_1 =$ coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
$k_2 =$ coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
$k_3 =$	3.4
$k_4 =$	0.425
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$	0.0190
$A_s =$ area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	3982 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	210000 [mm ²]

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

b =	1000 [mm]
$h_{c,eff}$ =	210 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00054
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00054
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	186.4 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s / E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.6

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.26 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.40 [mm]

verificato

Elemento strutturale: SOLETTA

combo: SLE-QP


Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica

N_{Ed} = sforzo normale	0.0 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	452.0 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	475 [mm]
c = copriferro	71 [mm]
s = interasse barre tese	133 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0190

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	3982 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	210000 [mm ²]
$b =$	1000 [mm]
$h_{c,eff} =$	210 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\varepsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00040
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00040
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	136.6 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s / E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \varepsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.19 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]

verificato

22.5 Verifiche allo stato limite di limitazione delle tensioni

La massima tensione di compressione di compressione del calcestruzzo deve rispettare le seguenti limitazioni:

- $\sigma_c < 0.60 f_{ck} = 0.60 \times 32 = 19.2$ Mpa, per combinazione caratteristica (rara);
- $\sigma_c < 0.45 f_{ck} = 0.45 \times 32 = 14.4$ Mpa per combinazione quasi permanente.

Per l'acciaio la tensione massima σ_s per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

- $\sigma_s < 0.80 f_{yk} = 0.80 \times 450 = 360$ Mpa.

Il calcolo delle tensioni avviene tramite l'uso del software VCASLU.

22.5.1 Combinazione Rara

Sezione S1 - filo ritto (Momento negativo)

Verifica C.A. S.L.U. - File: soletta_Appoggio

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

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	100	1	26.55	5.8
			2	26.55	94.2

Tipologia Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	kN
M _{xEd}	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="-427.8"/>	kNm
M _{yEd}	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	

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

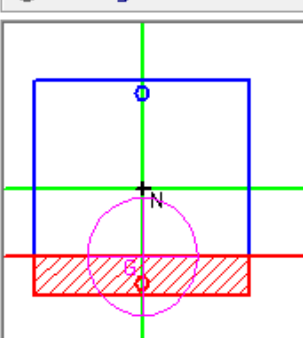
Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali

B450C		C32/40	
ε _{su}	<input type="text" value="67.5"/>	ε _{c2}	<input type="text" value="2"/>
f _{yd}	<input type="text" value="391.3"/>	ε _{cu}	<input type="text" value="3.5"/>
E _s	<input type="text" value="210'000"/>	f _{cd}	<input type="text" value="18.13"/>
E _s /E _c	<input type="text" value="10"/>	f _{cc} /f _{cd}	<input type="text" value="0.8"/>
ε _{syd}	<input type="text" value="1.863"/>	σ _{c,adm}	<input type="text" value="12.25"/>
σ _{s,adm}	<input type="text" value="255"/>	τ _{co}	<input type="text" value="0.7333"/>
		τ _{c1}	<input type="text" value="2.114"/>

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ε_s ‰
 d cm
 x w/d
 δ

Verifica
 N° iterazioni:
 Precompresso



Sezione S2 - campata (Momento positivo max)

Verifica C.A. S.L.U. - File: soletta_mezzeria

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

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	100

N°	As [cm²]	d [cm]
1	26.55	5.8
2	26.55	94.2
3	13.27	89

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi

a T Circolare

Rettangoli Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/> kN
M _{xEd}	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="691.1"/> kNm
M _{yEd}	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord.[cm] xN yN

Materiali

<input type="text" value="B450C"/>	<input type="text" value="C32/40"/>
ϵ_{su} <input type="text" value="67.5"/> ‰	ϵ_{c2} <input type="text" value="2"/> ‰
f_{yd} <input type="text" value="391.3"/> N/mm²	ϵ_{cu} <input type="text" value="3.5"/> ‰
E_s <input type="text" value="210'000"/> N/mm²	f_{cd} <input type="text" value="18.13"/>
E_s/E_c <input type="text" value="10"/>	f_{cc}/f_{cd} <input type="text" value="0.8"/> ?
ϵ_{syd} <input type="text" value="1.863"/> ‰	$\sigma_{c,adm}$ <input type="text" value="12.25"/>
$\sigma_{s,adm}$ <input type="text" value="255"/> N/mm²	τ_{co} <input type="text" value="0.7333"/>
	τ_{c1} <input type="text" value="2.114"/>

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ϵ_s ‰

d cm

x x/d

δ

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-

Metodo n

Verifica

N° iterazioni:

Precompresso

Si riassumono le tensioni calcolate in ogni sezione e gli esiti delle verifiche:

COMBINAZIONE RARA							
Sezione	Posizione	Momento Flettente [kNm/m]	Tensione nel calcestruzzo [N/mm²]	Tensione nell'acciaio [N/mm²]	Tensione limite nel calcestruzzo [N/mm²]	Tensione limite nell'acciaio [N/mm²]	Esito della verifica
S1	A filo parete	-427.8	4.42	182.8	19.2	360	VERIFICA
S2	Campata (max M+)	691.1	6.28	208	19.2	360	VERIFICA

Le verifiche tensionali risultano soddisfatte.

Sezione S2 - campata (Momento positivo max)

Verifica C.A. S.L.U. - File: soletta_mezzeria

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

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N*	b [cm]	h [cm]
1	100	100

N*	As [cm²]	d [cm]
1	26.55	5.8
2	13.27	89
3	26.55	94.2

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
 M_{xEd} 452 kNm
 M_{yEd}

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

Tipo Sezione: Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

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

Verifica N° iterazioni: Precompresso

Materiali: B450C C32/40

ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰
 E_s 210'000 N/mm² f_{cd} 18.13
 E_s/E_c 10 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ϵ_{syd} 1.863 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 12.25
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
 τ_{c1} 2.114

σ_c -4.107 N/mm²
 σ_s 136 N/mm²
 ϵ_s 0.6477 ‰
 d 94.2 cm
 x 21.85 x/d 0.2319
 δ 0.7299

Si riassumono le tensioni calcolate in ogni sezione e gli esiti delle verifiche:

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE							
Sezione	Posizione	Momento Flettente [kNm/m]	Tensione nel calcestruzzo [N/mm²]	Tensione nell'acciaio [N/mm²]	Tensione limite nel calcestruzzo [N/mm²]	Tensione limite nell'acciaio [N/mm²]	Esito della verifica
S1	A filo parete	-239.2	2.47	102.2	14.4	360	VERIFICA
S2	Campata (max M+)	452.0	4.11	136	14.4	360	VERIFICA

Le verifiche tensionali risultano soddisfatte.

23 RITTI - VERIFICA STRUTTURALE - SOTTOVIA

23.1 Sezioni di verifica ed armatura di calcolo

La sezione di verifica è rettangolare con base pari a 100 cm ed altezza pari a 90 cm.

Le sezioni di verifica sono riportate nella figura seguente.

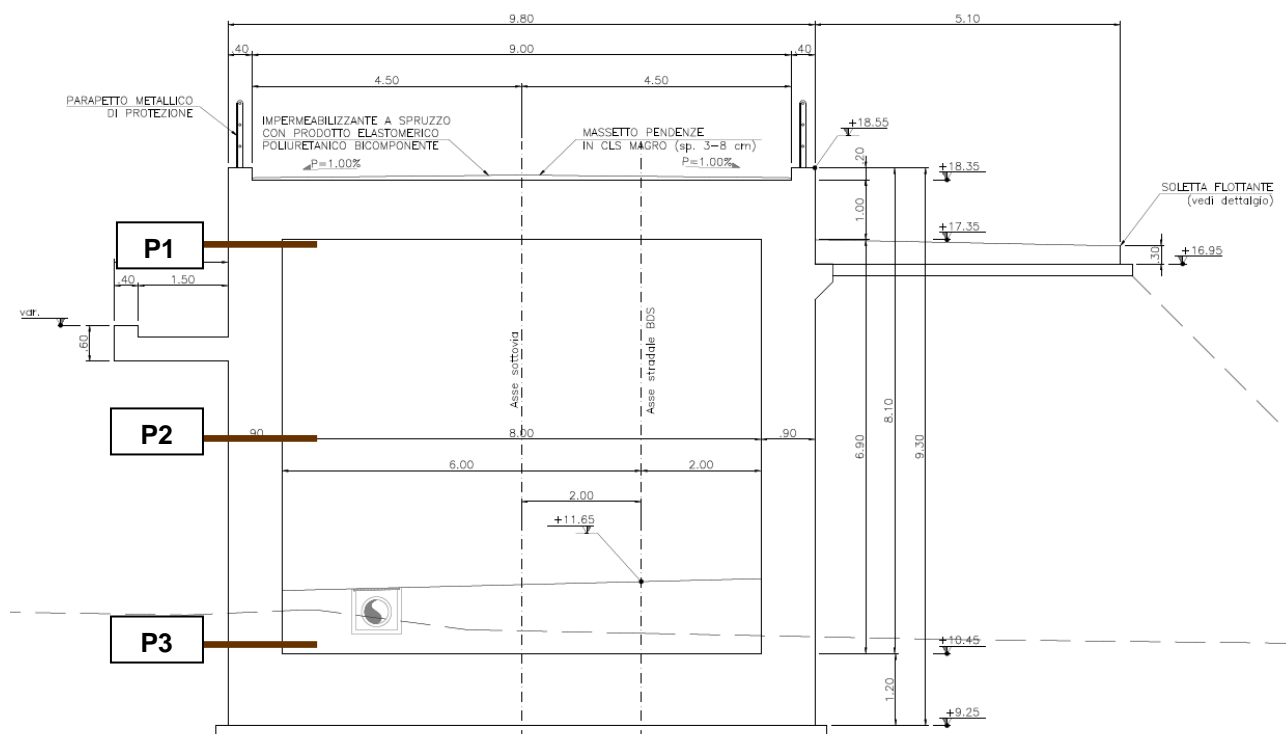


Figura 23-1: Sezioni di verifica

Nella tabella seguente si riportano le armature di calcolo assunte per ogni sezione.

Sezione	Posizione	Armatura lato contro terra	Armatura lato interno
P1	A filo intradosso soletta superiore	$\phi 26 / 20$	$\phi 20 / 20$
P2	Mezzeria	$\phi 26 / 20$	$\phi 20 / 20$
P3	A filo estradosso soletta di fondazione	$\phi 26 / 20 + \phi 26 / 20$	$\phi 20 / 20$

Tabella 23-1: Sezioni di verifica - Armature di calcolo

23.2 Verifiche allo Stato Limite Ultimo per presso-flessione

Le verifiche vengono eseguite in ognuna delle sezioni precedentemente individuate prendendo in esame le seguenti combinazioni delle azioni sollecitanti:

- $M_{max} + N$;
- $M_{min} + N$;
- $M + N_{min}$;
- $M + N_{max}$.

I momenti che tendono le fibre contro terra sono assunti negativi, mentre quelli che tendono le fibre interne sono assunti positivi. Gli sforzi normali di compressione hanno segno negativo.

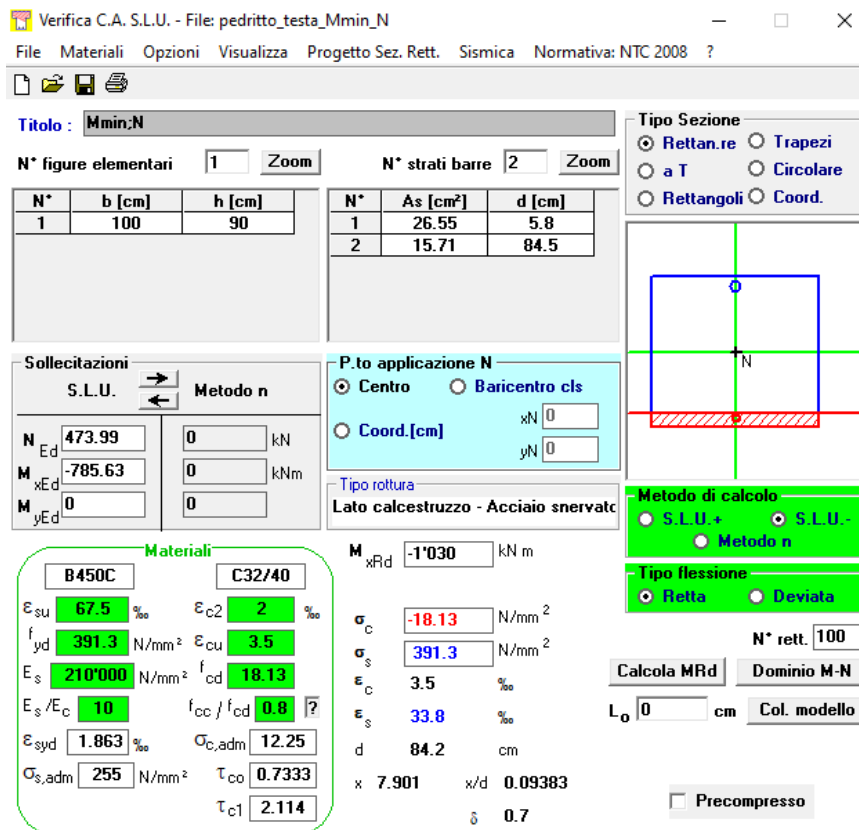
Le verifiche vengono svolte mediante il software VCASLU.

Si riportano in modo esplicito le verifiche svolte per la combinazione peggiore tra le precedenti elencate (minore coefficiente di sicurezza), sebbene la verifica sia stata comunque eseguita per tutte le combinazioni.

23.2.1 Verifica Sezione di Testa (P1)

L'azione normale di calcolo è assunta pari a $N_{sd} = -473.99$ kN/m.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $M_{sd} = -785.63$ kNm/m.



Titolo: Mmin:N

N° figure elementari: 1 **N° strati barre:** 2

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	90	1	26.55	5.8
			2	15.71	84.5

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 473.99 kN
 M_{xEd} -785.63 kNm
 M_{yEd} 0 kNm

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

Materiali: B450C C32/40

ϵ_{su} 67.5 ‰	ϵ_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391.3 N/mm²	ϵ_{cu} 3.5 ‰
E_s 210'000 N/mm²	f_{cd} 18.13
E_s/E_c 10	f_{cc}/f_{cd} 0.8
ϵ_{syd} 1.863 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 12.25
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²	τ_{co} 0.7333
	τ_{c1} 2.114

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

Tipo flessione: Retta Deviata

Calcola MRd **Dominio M-N**

M_{Rd} -1'030 kNm

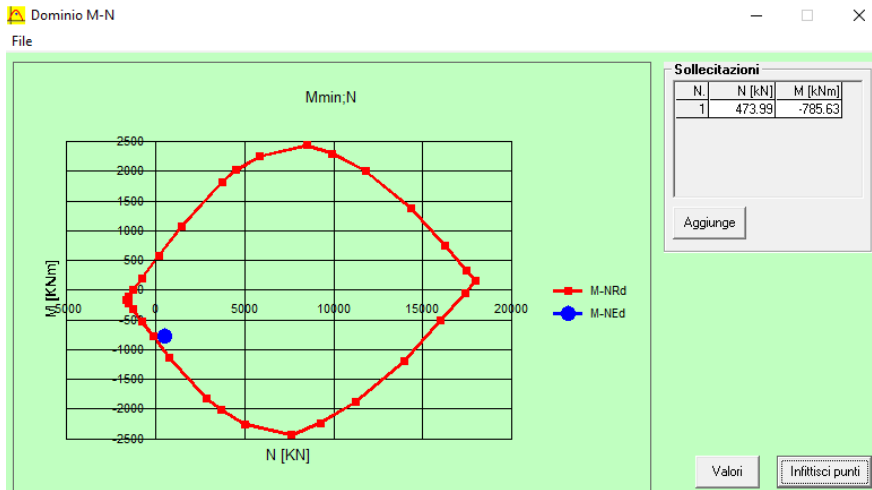
σ_c -18.13 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 33.8 ‰
 d 84.2 cm
 x 7.901 x/d 0.09383
 δ 0.7

Precompresso

Il momento resistente della sezione vale $M_{rd} = -1030 \text{ kNm/m}$.

Il rapporto $M_{rd}/M_{sd} = 1.32$.

Nell'immagine successiva è riportato il dominio di resistenza della sezione:



La verifica risulta pertanto soddisfatta.

23.2.2 Verifica Sezione di Mezzeria (P2)

L'azione normale di calcolo è assunta pari a $N_{sd} = -537.49 \text{ kN/m}$.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $M_{sd} = -353.70 \text{ kNm/m}$.

Titolo: Mmin,N

N° figure elementari: 1 **N° strati barre:** 2

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	90	1	26.55	5.8
			2	15.71	84.5

Sollecitazioni: N_{Ed} = 537.5 kN, M_{xEd} = -353.7 kNm, M_{yEd} = 0

Materiali: B450C, C32/40

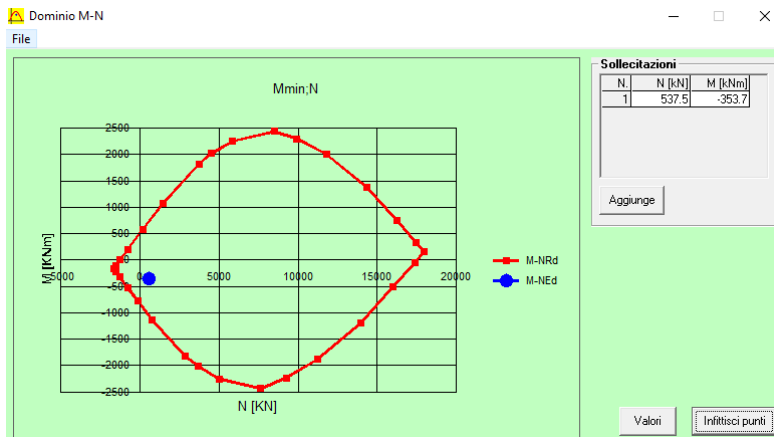
ϵ_{su}	67.5 %	ϵ_{c2}	2 %
f_{yd}	391.3 N/mm²	ϵ_{cu}	3.5 %
E_s	210'000 N/mm²	f_{cd}	18.13
E_s/E_c	10	f_{cc}/f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.863 %	$\sigma_{c,adm}$	12.25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0.7333
		τ_{c1}	2.114

Calcoli: $\sigma_c = -18.13 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_s = 391.3 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon_c = 3.5 \%$, $\epsilon_s = 32.62 \%$, $d = 84.2 \text{ cm}$, $x = 8.159$, $x/d = 0.0969$, $\delta = 0.7$

Il momento resistente della sezione vale $M_{rd} = -1055 \text{ kNm/m}$.

Il rapporto $M_{rd}/M_{sd} = 2.98$.

Nell'immagine successiva è riportato il dominio di resistenza della sezione:



La verifica risulta pertanto soddisfatta.

23.2.3 Verifica Sezione di Base (P3)

L'azione normale di calcolo è assunta pari a $N_{sd} = -498.87 \text{ kN/m}$.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $M_{sd} = -1128.46 \text{ kNm/m}$.

Verifica C.A. S.L.U. - File: pedritto_base_Mmin_N

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

Titolo: Mmin,N

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 3 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	90	1	26.55	5.8
			2	15.71	84.5
			3	26.55	11

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 498.9 kN
 M_{xEd}: -1128.46 kNm
 M_{yEd}: 0

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

Materiali
 B450C C32/40

E_{su}: 67.5‰ E_{c2}: 2‰
 f_{yd}: 391.3 N/mm² E_{cu}: 3.5‰
 E_s: 210'000 N/mm² f_{cd}: 18.13
 E_s/E_c: 10 f_{cc}/f_{cd}: 0.8
 E_{s,adm}: 1.863‰ σ_{c,adm}: 12.25
 σ_{s,adm}: 255 N/mm² τ_{co}: 0.7333
 τ_{c1}: 2.114


M_{xRd}: -1777 kNm
 σ_c: -18.13 N/mm²
 σ_s: 391.3 N/mm²
 ε_c: 3.5‰
 ε_s: 18.56‰
 d: 84.2 cm
 x: 13.36 x/d: 0.1586
 δ: 0.7

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

Tipo flessione:
 Retta Deviata

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

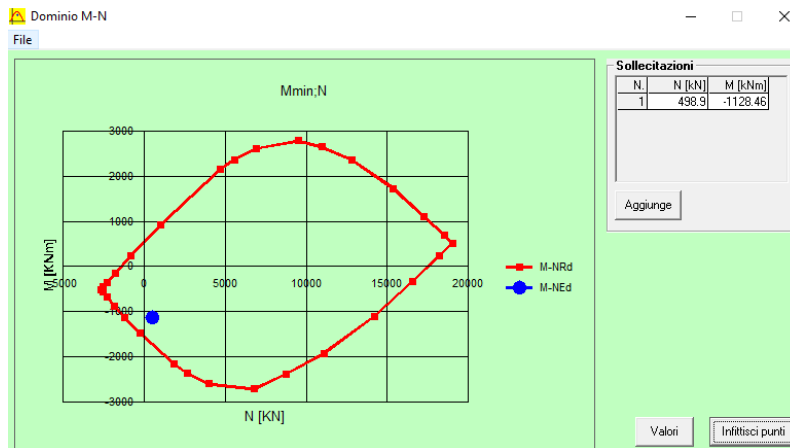
Precompresso

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Il momento resistente della sezione vale $M_{rd} = -1777 \text{ kNm/m}$.

Il rapporto $M_{rd}/M_{sd} = 1.57$.

Nell'immagine successiva è riportato il dominio di resistenza della sezione:



La verifica risulta pertanto soddisfatta.


23.2.4 Riepilogo degli esiti delle verifiche

Si riporta nella tabella seguente l'esito delle verifiche eseguite per tutte le combinazioni elencate all'inizio del paragrafo 23.2.

Sezione	Posizione	M_{max} [kNm/m]	N [kN/m]	M_{rd} [kNm/m]	FS	M_{min} [kNm/m]	N [kN/m]	M_{rd} [kNm/m]	FS
P1	A filo intradosso solettone di copertura	220.43	-286.31	624.90	2.83	-785.63	-474.00	-1030.00	1.31
P2	Mezzeria	85.02	-486.44	703.80	8.28	-353.70	-537.49	-1055.00	2.98
P3	A filo estradosso solettone di fondazione	271.89	-686.56	810.70	2.98	-1128.46	-498.87	-1777.00	1.57

Sezione	Posizione	M [kNm/m]	N_{min} [kN/m]	M_{rd} [kNm/m]	FS	M [kNm/m]	N_{max} [kN/m]	M_{rd} [kNm/m]	FS
P1	A filo intradosso solettone di copertura	-469.13	-677.06	-1109.00	2.36	184.57	-195.28	589.00	3.19
P2	Mezzeria	-214.39	-783.35	-1149.00	5.36	38.60	-271.18	618.90	16.03
P3	A filo estradosso solettone di fondazione	94.44	-889.63	884.40	9.36	-841.34	-347.07	-1723.00	2.05

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

23.3 Verifiche allo Stato Limite Ultimo per taglio

Le verifiche vengono eseguite in corrispondenza della sezione sommitale (P1) e della sezione di base (P3). Si prendono in considerazione le seguenti combinazioni delle azioni sollecitanti:

- $V_{max} + N$;
- $V_{min} + N$;
- $V + N_{min}$;
- $V + N_{max}$.

Si riportano in modo esplicito le verifiche svolte per la combinazione peggiore tra le precedenti elencate (minore coefficiente di sicurezza), sebbene la verifica sia stata comunque eseguita per tutte le combinazioni.

Poiché nella sezione di base (P3) la verifica a taglio per elementi non armati a taglio non è soddisfatta, si decide di inserire un'armatura a taglio costituita da spille ϕ 14/60 x 40 lungo tutta l'altezza dei ritti.

23.3.1 Verifica Sezione di Base (P3)

L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a $V_{sd} = -481$ kN/m.

Lo sforzo normale di calcolo corrispondente è pari a $N_{sd} = -498.87$ kN/m.


Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

larghezza sezione	b_w	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	900
altezza utile sezione	d	[mm]	816
armatura longitudinale	A_{sl}	[mm ²]	1571
rapporto geometrico di armatura longitudinale (<0.02)	ρ_l		0.002
	k		1.495
	v_{min}	[MPa]	0.362
tensione media di compressione nella sezione (<0.2 f_{cd})	σ_{cp}	[MPa]	0.55
resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	[MPa]	32.0
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	363
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	481

non verificato

La verifica assenza di armature trasversali resistenti a taglio risulta non soddisfatta ($V_{Rd}/V_{Ed} = 0.75 < 1$).

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

larghezza sezione	b_w	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	900
altezza utile sezione	d	[mm]	816
numero armature trasversali	$n^\circ \emptyset$		2.50
diámetro armature trasversali	\emptyset	[mm]	16
interasse armature trasversali	s	[mm]	600
area dell'armatura trasversale a taglio	A_{sw}	[mm ²]	503
resistenza di progetto	f_{yd}	[MPa]	391
resistenza a compressione del cls	f_{cd}	[MPa]	18.1
angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	α	[DEG]	90
	$ctg \theta$		2.5
	θ	[DEG]	22
tensione di compressione calcestruzzo	σ_{cp}	[MPa]	0.55
coefficiente maggiorativo in elementi compressi	α_c		1.03
resistenza a taglio trazione	V_{Rsd}	[kN]	602
resistenza a compressione del cls ridotta	f_{cd}'	[MPa]	9.1
resistenza a taglio compressione	V_{Rcd}	[kN]	2366
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	602
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	481

verificato


La verifica con armature trasversali resistenti a taglio risulta soddisfatta ($V_{Rd}/V_{Ed} = 1.25 > 1$).

23.3.2 Verifica Sezione di Testa (P1)

L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a $V_{sd} = 237.97$ kN/m.

Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

larghezza sezione	b_w	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	900
altezza utile sezione	d	[mm]	842
numero armature trasversali	$n^\circ \emptyset$		2.50
diámetro armature trasversali	\emptyset	[mm]	16
interasse armature trasversali	s	[mm]	600
area dell'armatura trasversale a taglio	A_{sw}	[mm ²]	503
resistenza di progetto	f_{yd}	[MPa]	391
resistenza a compressione del cls	f_{cd}	[MPa]	18.1
angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	α	[DEG]	90
	$ctg \theta$		2.5
	θ	[DEG]	22
tensione di compressione calcestruzzo	σ_{cp}	[MPa]	0.45
coefficiente maggiorativo in elementi compressi	α_c		1.03

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

resistenza a taglio trazione	V_{Rsd}	[kN]	621
resistenza a compressione del cls ridotta	f_{cd}'	[MPa]	9.1
resistenza a taglio compressione	V_{Rcd}	[kN]	2428
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	621
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	238

verificato

La verifica con armature trasversali resistenti a taglio risulta soddisfatta ($V_{Rd}/V_{Ed} = 2.61 > 1$).


23.3.3 Riepilogo degli esiti delle verifiche

Si riporta nella tabella seguente l'esito delle verifiche eseguite per tutte le combinazioni elencate all'inizio del paragrafo 23.2.

Posizione	V_{max} [kN/m]	N [kN/m]	V_{rd} [kN/m]	FS	V_{min} [kN/m]	N [kN/m]	V_{rd} [kN/m]	FS
A filo intradosso solettone di copertura	237.98	-408.53	621.00	2.61	5.11	-300.72	621.00	121.46
A filo estradosso solettone di fondazione	144.82	-686.56	602.00	4.16	-481.07	-498.87	-602.00	1.25

Posizione	V [kN/m]	N_{min} [kN/m]	V_{rd} [kN/m]	FS	V [kN/m]	N_{max} [kN]	V_{rd} [kN/m]	FS
A filo intradosso solettone di copertura	72.78	-677.06	621.00	8.53	31.84	-195.28	621.00	19.50
A filo estradosso solettone di fondazione	92.58	-889.63	602.00	6.50	-387.57	-347.07	602.00	1.55

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

23.4 Verifiche allo Stato Limite di fessurazione

Per la verifica di fessurazione sono state considerate condizioni ambientali aggressive per le parti d'opera contro terra, condizioni ambientali ordinarie per le altre parti d'opera ed armatura poco sensibile (armatura lenta).

La scelta dello stato limite di fessurazione è stata effettuata sulla base di quanto indicato nella Tab. 2.1.IV delle NTC08, di seguito riportata.

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile Stato limite	w_k	Poco sensibile Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

I valori limite di apertura delle fessure sono i seguenti:


- $w_1 = 0.2$ mm;
- $w_2 = 0.3$ mm;
- $w_3 = 0.4$ mm.

23.4.1 Sollecitazioni di calcolo

Si riportano nella tabella seguente le sollecitazioni allo SLE in combinazione frequente e quasi permanente usate nelle verifiche a fessurazione.

COMBINAZIONE FREQUENTE

SEZIONE	M_{max}	N	M_{min}	N	M	N_{min}	M	N_{max}
	[kNm/m]	[KN/m]	[kNm/m]	[KN/m]	[kNm/m]	[KN/m]	[kNm/m]	[KN/m]
P1	57.88	-235.77	-468.48	-327.42	-347.75	-445.99	57.40	-235.77
P2	41.16	-360.32	-227.37	-398.14	-163.47	-524.72	-0.57	-314.49
P3	67.31	-484.88	-724.41	-393.22	20.80	-603.45	-684.08	-393.22

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

SEZIONE	M _{max} [kNm/m]	N [KN/m]	M _{min} [kNm/m]	N [KN/m]	M [kNm/m]	N _{min} [KN/m]	M [kNm/m]	N _{max} [KN/m]
P1	25.72	-243.78	-345.64	-319.42	-308.97	-319.42	25.72	-243.78
P2	11.97	-360.32	-168.02	-398.14	-168.02	-398.14	-25.21	-322.50
P3	19.43	-476.87	-623.30	-401.23	-27.08	-476.87	-623.30	-401.23

Le verifiche vengono eseguite in ogni sezione, considerando il massimo momento negativo e positivo, con lo sforzo normale associato.

Nel caso di verifica a momento negativo (fibre contro terra tesa) vengono assunte condizioni ambientali aggressive, per le verifiche a momento positivo (fibre interne tese) vengono assunte condizioni ambientali ordinarie.

23.4.2 Verifica sezione di testa (P1) - Momento negativo

Elemento strutturale: PIEDRITTO

combo: SLE-F


Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica

N _{Ed} = sforzo normale	327.4 [kN]
M _{Ed} = momento flettente	468.5 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{s,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	394 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	200 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k ₁ = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k ₂ = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k ₃ =	3.4
k ₄ =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0183
A _s = area della sezione di acciaio nell'area A _{c,eff}	2655 [mm ²]
A _{c,eff} = b h _{c,eff}	145000 [mm ²]

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

b =	1000 [mm]
$h_{c,eff}$ =	145 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\varepsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00050
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00050
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	173.3 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s / E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.6

Verifica dell'apertura delle fessure

$W_d = \varepsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.20 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]

verificato

Elemento strutturale: PIEDRITTO

combo: SLE-QP


Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica

N_{Ed} = sforzo normale	319.4 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	345.6 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	394 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	200 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0183

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	2655 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	145000 [mm ²]
$b =$	1000 [mm]
$h_{c,eff} =$	145 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\varepsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00034
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00034
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	115.6 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s / E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \varepsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.13 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.20 [mm]

verificato

23.4.3 Verifica sezione di mezzeria (P2) - Momento negativo

Elemento strutturale: PIEDRITTO

combo: SLE-F


Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica

N_{Ed} = sforzo normale	398.1 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	227.4 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	394 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	200 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
$k_3 =$	3.4

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

$k_4 =$	0.425
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$	0.0183
$A_s =$ area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	2655 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	145000 [mm ²]
$b =$	1000 [mm]
$h_{c,eff} =$	145 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\varepsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff})/\rho_{eff}]/E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s/E_s$)	0.00014
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00014
$\sigma_s =$ tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	49.3 [MPa]
$f_{ctm} =$ resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
$E_s =$ modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
$E_{cm} =$ modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
$\alpha_e =$ rapporto E_s/E_{cm}	6.1
$k_t =$ coefficiente di sollecitazione	0.6

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \varepsilon_{sm} \Delta_{smax} =$ valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.06 [mm]
$w =$ valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]

verificato

Elemento strutturale: PIEDRITTO

combo: SLE-QP


Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica

$N_{Ed} =$ sforzo normale	398.1 [kN]
$M_{Ed} =$ momento flettente	168.0 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff} =$ distanza massima tra le fessure	394 [mm]
$c =$ copriferro	45 [mm]
$s =$ interasse barre tese	200 [mm]
$\phi =$ diametro della barra	26 [mm]
$k_1 =$ coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$	0.0183
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	2655 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	145000 [mm ²]
b =	1000 [mm]
$h_{c,eff}$ =	145 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\varepsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff})/\rho_{eff}]/E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s/E_s$)	0.00007
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00007
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	24.6 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s/E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \varepsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.03 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.20 [mm]

verificato

23.4.4 Verifica sezione di base (P3) - Momento negativo

Elemento strutturale: PIEDRITTO

combo: SLE-F


Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica

N_{Ed} = sforzo normale	393.2 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	724.4 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	252 [mm]
c = copriferro	71 [mm]
s = interasse barre tese	10 [mm]

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$	0.4186
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	5309 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	12684 [mm ²]
b =	100 [mm]
$h_{c,eff}$ =	127 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff})/\rho_{eff}]/E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s/E_s$)	0.00075
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00050
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	170.3 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s/E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.6

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.19 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]

verificato

Elemento strutturale: PIEDRITTO

combo: SLE-QP


Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica

N_{Ed} = sforzo normale	401.2 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	623.3 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	413 [mm]
c = copriferro	71 [mm]

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

s = interasse barre tese	100 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k ₁ = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k ₂ = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k ₃ =	3.4
k ₄ =	0.425
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$	0.0257
A _s = area della sezione di acciaio nell'area A _{c,eff}	5309 [mm ²]
A _{c,eff} = b h _{c,eff}	206489 [mm ²]
b =	1000 [mm]
h _{c,eff} =	206 [mm]


Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\varepsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff})/\rho_{eff}]/E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s/E_s$)	0.00038
0.6 $\sigma_s / E_s =$	0.00038
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	129.4 [MPa]
f _{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E _s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E _{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E _s /E _{cm}	6.1
k _t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

w _d = $\varepsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.16 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.20 [mm]

verificato

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

23.5 Verifiche allo stato limite di limitazione delle tensioni

La massima tensione di compressione di compressione del calcestruzzo deve rispettare le seguenti limitazioni:

- $\sigma_c < 0.60 f_{ck} = 0.60 \times 32 = 19.2$ Mpa, per combinazione caratteristica (rara);
- $\sigma_c < 0.45 f_{ck} = 0.45 \times 32 = 14.4$ Mpa per combinazione quasi permanente.

Per l'acciaio la tensione massima σ_s per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

- $\sigma_s < 0.80 f_{yk} = 0.80 \times 450 = 360$ Mpa.

Il calcolo delle tensioni avviene tramite l'uso del software VCASTU.

Si riportano le tabelle riassuntive con gli esiti delle verifiche per ogni sezione, eseguite considerando le combinazioni delle azioni descritte al paragrafo 14.2.

Mmax;N

COMBINAZIONE RARA									
Sezione	Posizione	sezione	Momento Flettente [kNm/m]	N [KN/m]	Tensione nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione nell'acciaio [N/mm ²]	Tensione limite nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione limite nell'acciaio [N/mm ²]	Esito della verifica
P1	A filo intradosso solettone di copertura	100x90	150.1	-212.082	2.23	58.31	19.2	360	VERIFICA
P2	Mezzeria	100x90	56.6	-360.323	0.746	0	19.2	360	VERIFICA
P3	A filo estradosso solettone di fondazione	100x90	167.6	-508.563	1.848	13.66	19.2	360	VERIFICA

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE									
Sezione	Posizione	sezione	Momento Flettente [kNm/m]	N [KN/m]	Tensione nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione nell'acciaio [N/mm ²]	Tensione limite nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione limite nell'acciaio [N/mm ²]	Esito della verifica
P1	A filo intradosso solettone di copertura	100x90	25.7	-243.776	0.42	0	14.4	360	VERIFICA
P2	Mezzeria	100x90	12.0	-360.323	0.45	0	14.4	360	VERIFICA
P3	A filo estradosso solettone di fondazione	100x90	19.4	-476.869	0.57	0	14.4	360	VERIFICA

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

Mmin;N

COMBINAZIONE RARA

Sezione	Posizione	sezione	Momento Flettente [kNm/m]	N [KN/m]	Tensione nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione nell'acciaio [N/mm ²]	Tensione limite nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione limite nell'acciaio [N/mm ²]	Esito della verifica
P1	A filo intradosso solettone di copertura	100x90	-563.1	-351.11	7.46	210.4	19.2	360	VERIFICA
P2	Mezzeria	100x90	-253.9	-398.142	3.315	57.7	19.2	360	VERIFICA
P3	A filo estradosso solettone di fondazione	100x90	-829.0	-369.536	8.92	187.9	19.2	360	VERIFICA

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

Sezione	Posizione	sezione	Momento Flettente [kNm/m]	N [KN/m]	Tensione nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione nell'acciaio [N/mm ²]	Tensione limite nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione limite nell'acciaio [N/mm ²]	Esito della verifica
P1	A filo intradosso solettone di copertura	100x90	-345.6	-319.415	4.59	112.1	14.4	360	VERIFICA
P2	Mezzeria	100x90	-168.0	-398.142	2.095	21.9	14.4	360	VERIFICA
P3	A filo estradosso solettone di fondazione	100x90	-623.3	-401.23	6.79	130.8	14.4	360	VERIFICA

M;Nmin

COMBINAZIONE RARA

Sezione	Posizione	sezione	Momento Flettente [kNm/m]	N [KN/m]	Tensione nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione nell'acciaio [N/mm ²]	Tensione limite nell'acciaio [N/mm ²]	Esito della verifica	Esito della verifica
P1	A filo intradosso solettone di copertura	100x90	-360.7	-501.529	4.74	91.24	19.2	360	VERIFICA
P2	Mezzeria	100x90	-162.0	-580.256	1.91	7.678	19.2	360	VERIFICA
P3	A filo estradosso solettone di fondazione	100x90	36.8	-658.983	0.85	0	19.2	360	VERIFICA

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

Sezione	Posizione	sezione	Momento Flettente [kNm/m]	N [KN/m]	Tensione nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione nell'acciaio [N/mm ²]	Tensione limite nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione limite nell'acciaio [N/mm ²]	Esito della verifica
P1	A filo intradosso solettone di copertura	100x90	-309.0	-319.415	4.101	94.9	14.4	360	VERIFICA
P2	Mezzeria	100x90	-168.0	-398.142	2.085	21.9	14.4	360	VERIFICA
P3	A filo estradosso solettone di fondazione	100x90	-27.1	-476.869	0.71	0	14.4	360	VERIFICA

M;Nmax

COMBINAZIONE RARA

Sezione	Posizione	sezione	Momento Flettente [kNm/m]	N [KN/m]	Tensione nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione nell'acciaio [N/mm ²]	Tensione limite nell'acciaio [N/mm ²]	Esito della verifica	Esito della verifica
P1	A filo intradosso solettone di copertura	100x90	149.6	-212.078	2.21	57.93	19.2	360	VERIFICA
P2	Mezzeria	100x90	6.3	-290.805	0.34	0	19.2	360	VERIFICA
P3	A filo estradosso solettone di fondazione	100x90	-788.7	-369.532	8.51	177.3	19.2	360	VERIFICA

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

Sezione	Posizione	sezione	Momento Flettente [kNm/m]	N [KN/m]	Tensione nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione nell'acciaio [N/mm ²]	Tensione limite nel calcestruzzo [N/mm ²]	Tensione limite nell'acciaio [N/mm ²]	Esito della verifica
P1	A filo intradosso solettone di copertura	100x90	25.7	-243.776	0.4217	0	14.4	360	VERIFICA
P2	Mezzeria	100x90	-25.2	-322.503	0.52	0	14.4	360	VERIFICA
P3	A filo estradosso solettone di fondazione	100x90	-623.3	-401.23	6.8	130.9	14.4	360	VERIFICA

Tutte le verifiche tensionali risultano soddisfatte.

24 SOLETTA DI FONDAZIONE - VERIFICA STRUTTURALE - SOTTOVIA

24.1 Sezioni di verifica ed armatura di calcolo

La sezione di verifica è rettangolare con base pari a 100 cm ed altezza pari a 120 cm.

Le sezioni di verifica sono riportate nella figura seguente.

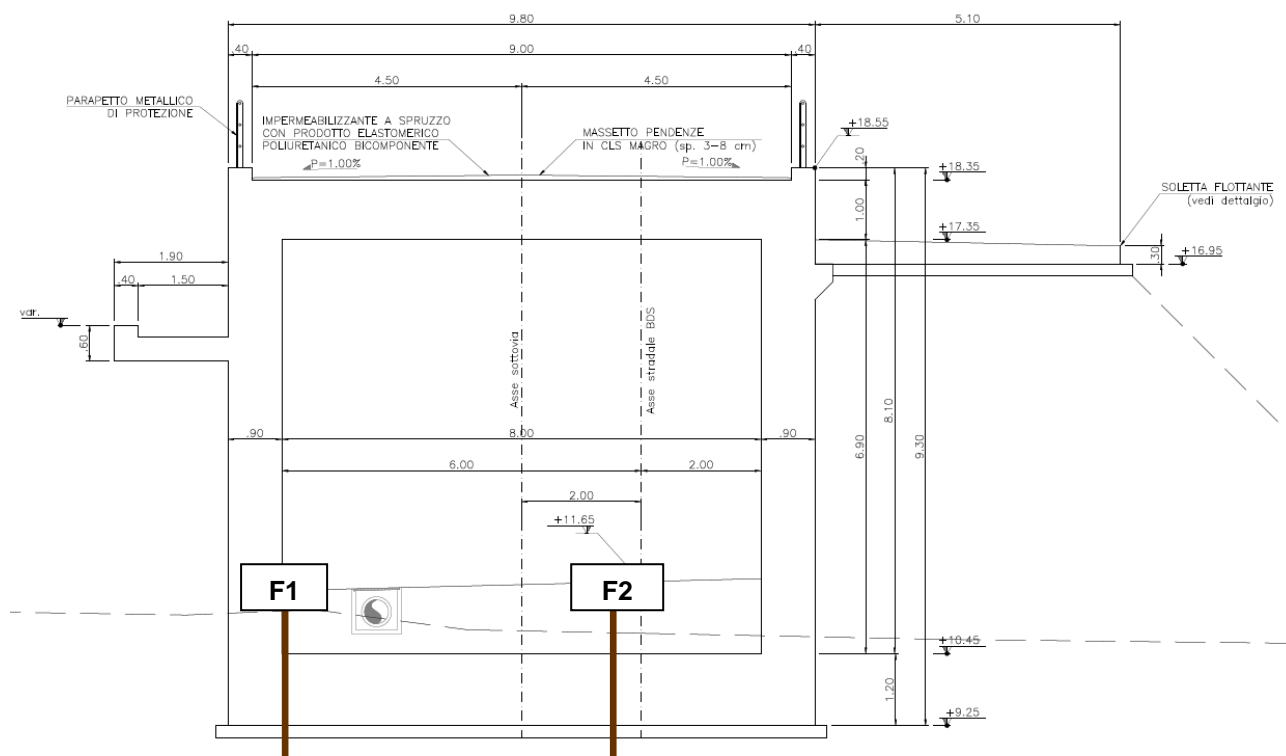


Figura 24-1: Sezioni di verifica

Nella tabella seguente si riportano le armature di calcolo assunte per ogni sezione e i momenti sollecitanti.

Sezione	Posizione	M_{max} (INV_SLU+SLV) [kNm/m]	Armatura superiore	Armatura inferiore
F1	A filo ritto (M+)	1156.85	φ26 /20	φ26 /20+ φ26 /40
F1	A filo ritto (M-)	-603.26	φ26 /20	φ26 /20+ φ26 /40
F2	Campata (max M-)	-1359.58	φ26 /20+ φ26 /40	φ26 /20

Tabella 24-1: Sezioni di verifica - Momenti sollecitanti ed armatura di calcolo

24.2 Verifica allo Stato Limite Ultimo per flessione

Le verifiche vengono svolte trascurando il contributo positivo dello sforzo normale di compressione.

Per lo svolgimento delle verifiche è stato utilizzato il software VCASTU.

24.2.1 Verifica a filo retto (Momento positivo)- Sezione F1

La combinazione maggiormente gravosa è risultata essere la combinazione statica.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $M_{sd} = 1156.85 \text{ kNm/m}$.

Il momento resistente della sezione vale $M_{rd} = 1706 \text{ kNm/m}$.

Essendo $M_{rd}/M_{sd} = 1.24 > 1$, la verifica risulta soddisfatta.

24.2.2 Verifica a filo retto (Momento negativo) – Sezione F1

La combinazione maggiormente gravosa è risultata essere la combinazione statica.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $M_{sd} = -603.28 \text{ kNm/m}$.

Verifica C.A. S.L.U. - File: soletta_Appoggio

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

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	100	1	26.55	5.8
			2	26.55	94.2

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
 M_{xEd} -583.9 kNm
 M_{yEd} kNm

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C		C32/40	
ε _{su}	67.5 ‰	ε _{c2}	2 ‰
f _{yd}	391.3 N/mm²	ε _{cu}	3.5 ‰
E _s	210'000 N/mm²	f _{cd}	18.13
E _s /E _c	10	f _{cc} /f _{cd}	0.8
ε _{syd}	1.863 ‰	σ _{c,adm}	12.25
σ _{s,adm}	255 N/mm²	τ _{co}	0.7333
		τ _{c1}	2.114

M_{xRd} kNm

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ε_c ‰
 ε_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

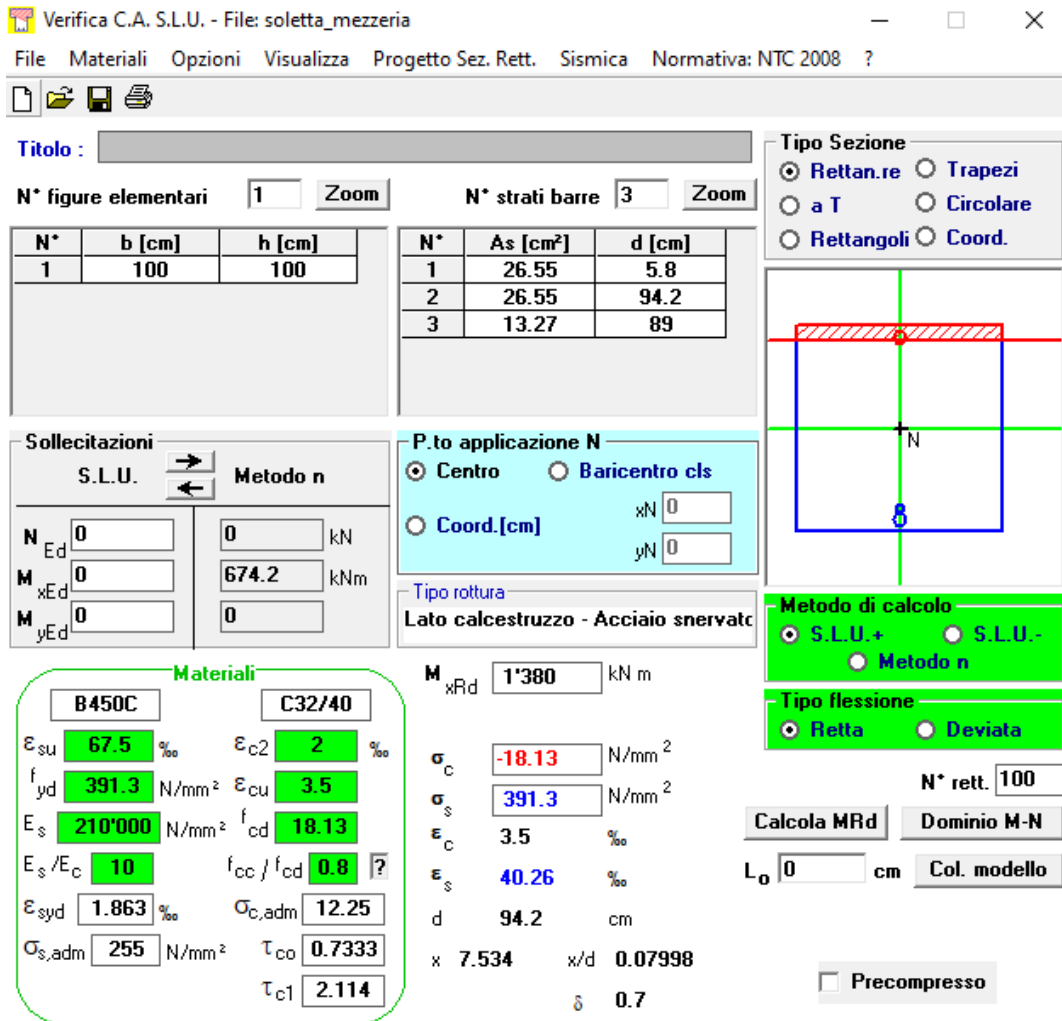
Il momento resistente della sezione vale $M_{rd} = -1706 \text{ kNm/m}$.

Essendo $M_{rd}/M_{sd} = 2.83 > 1$, la verifica risulta soddisfatta.

24.2.3 Verifica in campata (Momento negativo max) -Sezione F2

La combinazione maggiormente gravosa è risultata essere la combinazione statica.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $M_{sd} = -1359.58 \text{ kNm/m}$.



Titolo : _____

N° figure elementari **Zoom** **N° strati barre** **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	100

N°	As [cm²]	d [cm]
1	26.55	5.8
2	26.55	94.2
3	13.27	89

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

Materiali

B450C	C32/40
ϵ_{su} 67.5 ‰	ϵ_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391.3 N/mm²	ϵ_{cu} 3.5 ‰
E_s 210'000 N/mm²	f_{cd} 18.13
E_s/E_c 10	f_{cc}/f_{cd} 0.8
ϵ_{syd} 1.863 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 12.25
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²	τ_{co} 0.7333
	τ_{c1} 2.114

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ϵ_c 3.5 ‰

ϵ_s 40.26 ‰

d 94.2 cm

x 7.534 x/d 0.07998

δ 0.7


Calcola MRd **Dominio M-N**

L₀ cm **Col. modello**

Precompresso

Il momento resistente della sezione vale $M_{rd} = -1691 \text{ kNm/m}$.

Essendo $M_{rd}/M_{sd} = 1.24 > 1$, la verifica risulta soddisfatta.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

24.3 Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio

La verifica a taglio verrà eseguita, a favore di sicurezza, senza tener conto dell'effetto positivo dell'azione normale di compressione.

L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a $V_{s,d} = 755 \text{ kN/m}$ e si ha in corrispondenza della sezione a filo ritto (S1).

Viene dapprima eseguita una verifica a taglio per elemento non armato a taglio.

Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$


larghezza sezione	b_w	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	1200
altezza utile sezione	d	[mm]	1116
armatura longitudinale	A_{sl}	[mm ²]	3982
rapporto geometrico di armatura longitudinale (<0.02)	ρ_l		0.004
	k		1.423
	v_{\min}	[MPa]	0.336
tensione media di compressione nella sezione (<0.2 f_{cd})	σ_{cp}	[MPa]	0.00
resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	[MPa]	32.0
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	429
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	755

non verificato

Poiché la verifica non è soddisfatta, si decide di inserire un'armatura a taglio costituita da cavallotti $\phi 16/60 \times 40$.

Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

larghezza sezione	b_w	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	1200
altezza utile sezione	d	[mm]	1116
numero armature trasversali	$n^\circ \emptyset$		2.50
diametro armature trasversali	\emptyset	[mm]	16
interasse armature trasversali	s	[mm]	600
area dell'armatura trasversale a taglio	A_{sw}	[mm ²]	503
resistenza di progetto	f_{yd}	[MPa]	391
resistenza a compressione del cls	f_{cd}	[MPa]	18.1
angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	α	[DEG]	90
	$\text{ctg } \theta$		2.5

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

	θ	[DEG]	22
tensione di compressione calcestruzzo	σ_{cp}	[MPa]	0.00
coefficiente maggiorativo in elementi compressi	α_c		1.00
resistenza a taglio trazione	V_{Rsd}	[kN]	823
resistenza a compressione del cls ridotta	f_{cd}'	[MPa]	9.1
resistenza a taglio compressione	V_{Rod}	[kN]	3140
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	823
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	755

verificato

La verifica a taglio con armature trasversali risulta soddisfatta, con rapporto $V_{Rd}/V_{Ed} = 1.09 > 1$.

24.4 Verifica allo Stato Limite di fessurazione

Per la verifica di fessurazione sono state considerate condizioni ambientali aggressive per le parti d'opera contro terra, condizioni ambientali ordinarie per le altre parti d'opera ed armatura poco sensibile (armatura lenta).

La scelta dello stato limite di fessurazione è stata effettuata sulla base di quanto indicato nella Tab. 2.1.IV delle NTC08, di seguito riportata.

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione


Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile Stato limite	w_k	Poco sensibile Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

I valori limite di apertura delle fessure sono i seguenti:

- $w_1 = 0.2$ mm;
- $w_2 = 0.3$ mm;
- $w_3 = 0.4$ mm.

Si riportano le sollecitazioni di verifica:

Sezione	Posizione	M_{max} (INV_SLE-FREQ.) [kNm/m]	M_{max} (INV_SLE-QP) [kNm/m]
F1	A filo parete_M+	718.9	626.6
F2	Campata (max M-)	-905.0	-729.7

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

24.4.1 Verifica a filo ritto (Momento positivo) – Sezione F1

In tal caso, essendo la sezione sollecitata prevalentemente a momento negativo (fibre superiori), la verifica viene eseguita in condizioni ambientali aggressive.

Elemento strutturale: SOLETTA DI FONDAZIONE

combo: SLE-F

Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica


N_{Ed} = sforzo normale	0.0 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	718.9 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	314 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	133 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0275
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	3982 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	145000 [mm ²]
b =	1000 [mm]
$h_{c,eff}$ =	145 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\varepsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00050
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00050
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	170.6 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s / E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.6

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.16 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]

verificato

Elemento strutturale: SOLETTA DI FONDAZIONE

combo: SLE-QP

Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica


N_{Ed} = sforzo normale	0.0 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	626.6 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	314 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	133 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0275
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	3982 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	145000 [mm ²]
b =	1000 [mm]
$h_{c,eff}$ =	145 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00047
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00043
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	148.7 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s / E_{cm}	6.1

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

k_t = coefficiente di sollecitazione 0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure 0.15 [mm]

w = valore limite di apertura delle fessure 0.20 [mm]

verificato

24.4.2 Verifica in campata (Momento negativo max) – Sezione F2

In tal caso, essendo la sezione sollecitata a momento positivo (fibre inferiori), la verifica viene eseguita in condizioni ambientali ordinarie.

Elemento strutturale: SOLETTA DI FONDAZIONE

combo: SLE-F

Stato limite di apertura delle fessure

Sollecitazioni di verifica

N_{Ed} = sforzo normale 0.0 [kN]

M_{Ed} = momento flettente 905.0 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure 346 [mm]

c = copriferro 45 [mm]

s = interasse barre tese 160 [mm]

ϕ = diametro della barra 26 [mm]

k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra 0.8

k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni 0.5

k_3 = 3.4

k_4 = 0.425

$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$ 0.0229

A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$ 3982 [mm²]

$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$ 174000 [mm²]


b = 1200 [mm]

$h_{c,eff}$ = 145 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$) 0.00082

$0.6 \sigma_s / E_s =$ 0.00076

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	262.5 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s/E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.6

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.29 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.40 [mm]

verificato

Elemento strutturale: SOLETTA DI FONDAZIONE

combo: SLE-F

Stato limite di apertura delle fessure


Sollecitazioni di verifica

N_{Ed} = sforzo normale	0.0 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	729.7 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	314 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	133 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$	0.0275
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	3982 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	145000 [mm ²]
b =	1000 [mm]
$h_{c,eff}$ =	145 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

$\varepsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00059
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00051
$\sigma_s =$ tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	174.1 [MPa]
$f_{ctm} =$ resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
$E_s =$ modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
$E_{cm} =$ modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
$\alpha_e =$ rapporto E_s / E_{cm}	6.1
$k_t =$ coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \varepsilon_{sm} \Delta_{smax} =$ valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.18 [mm]
$w =$ valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]

verificato

24.5 Verifiche allo stato limite di limitazione delle tensioni

La massima tensione di compressione di compressione del calcestruzzo deve rispettare le seguenti limitazioni:

- $\sigma_c < 0.60 f_{ck} = 0.60 \times 32 = 19.2$ Mpa, per combinazione caratteristica (rara);
- $\sigma_c < 0.45 f_{ck} = 0.45 \times 32 = 14.4$ Mpa per combinazione quasi permanente.

Per l'acciaio la tensione massima σ_s per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

- $\sigma_s < 0.80 f_{yk} = 0.80 \times 450 = 360$ Mpa.

Il calcolo delle tensioni avviene tramite l'uso del software VCASTU.

24.5.1 Combinazione Rara

Sezione F1 - filo ritto (Momento positivo)

Verifica C.A. S.L.U. - File: fondazione_app

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

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	120

N°	As [cm²]	d [cm]
1	26.55	5.8
2	13.27	114.2
3	13.27	11
4	26.55	109

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

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

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

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

Materiali

B450C		C32/40	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm ²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	210000 N/mm ²	f_{cd}	18.13
E_s/E_c	10	f_{cc}/f_{cd}	0.8 ?
ϵ_{syd}	1.863 ‰	$\sigma_{c,adm}$	12.25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm ²	τ_{co}	0.7333
		τ_{c1}	2.114

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

Verifica
 N° iterazioni:

Precompresso

Sezione F2 - campata (Momento negativo max)

Verifica C.A. S.L.U. - File: fondazione_mezz

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

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	120

N°	As [cm²]	d [cm]
1	26.55	5.8
2	26.55	114.2
3	13.27	11

Tipologia Sezione: Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Diagramma della sezione:

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

Verifica N° iterazioni: 5

Precompresso

Materiali

Proprietà	B450C	C28/35
ϵ_{su}	67.5 ‰	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm²	3.5 N/mm²
E_s	210'000 N/mm²	18.67 N/mm²
E_s/E_c	10	0.8
ϵ_{syd}	1.863 ‰	11
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	0.6667
		1.971

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

Calcoli finali:

- σ_c -6.554 N/mm²
- σ_s 239.7 N/mm²
- ϵ_s 1.142 ‰
- d 114.2 cm
- x 24.52 w/d 0.2147
- δ 0.7083

Si riassumono le tensioni calcolate in ogni sezione e gli esiti delle verifiche:

COMBINAZIONE RARA							
Sezione	Posizione	Momento Flettente [kNm/m]	Tensione nel calcestruzzo [N/mm²]	Tensione nell'acciaio [N/mm²]	Tensione limite nel calcestruzzo [N/mm²]	Tensione limite nell'acciaio [N/mm²]	Esito della verifica
F1	A filo parete	848.3804	5.64	215	19.2	360	VERIFICA
F2	Campata (max M-)	-980.2	6.55	239.7	19.2	360	VERIFICA

Le verifiche tensionali risultano soddisfatte.

24.5.2 Combinazione Quasi permanente

Sezione F1 - filo ritto (Momento negativo)

Verifica C.A. S.L.U. - File: fondazione_app

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

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

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	120

N°	As [cm²]	d [cm]
1	26.55	5.8
2	26.55	114.2
3	13.27	109
4	13.27	11

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

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

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

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

Materiali

B450C		C32/40	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm ²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	210'000 N/mm ²	f_{cd}	18.13
E_s/E_c	10	f_{cc}/f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.863 ‰	$\sigma_{c,adm}$	12.25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm ²	τ_{co}	0.7333
		τ_{c1}	2.114

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

Verifica

N° iterazioni:

Precompresso

Sezione F2 - campata (Momento positivo max)

Verifica C.A. S.L.U. - File: fondazione_mezz

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

TITOLO :

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	120

N°	As [cm²]	d [cm]
1	26.55	5.8
2	26.55	114.2
3	13.27	11

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

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

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

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

Materiali
 B450C C32/40
 ϵ_{su} ‰ ϵ_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ϵ_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd} ‰
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 ϵ_{syd} ‰ $\sigma_{c,adm}$ N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co} τ_{c1}

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_s ‰
 d cm
 x x/d δ

Verifica
 N° iterazioni:

Precompresso

Si riassumono le tensioni calcolate in ogni sezione e gli esiti delle verifiche:

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE							
Sezione	Posizione	Momento Flettente [kNm/m]	Tensione nel calcestruzzo [N/mm²]	Tensione nell'acciaio [N/mm²]	Tensione limite nel calcestruzzo [N/mm²]	Tensione limite nell'acciaio [N/mm²]	Esito della verifica
F1	A filo parete	626.641	4.065	153.1	14.4	360	VERIFICA
F2	Campata (M- max)	-729.7	4.879	178.5	14.4	360	VERIFICA

Le verifiche tensionali risultano soddisfatte.