

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: AT1: 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:



SOTTOVIA

SOTTOVIA (ASSE TIPO D)

ST03D Sottovia al km 1+720

Relazione tecnica e di calcolo



CODICE PROGETTO

PROGETTO

LIV. PROG. ANNO

DPCA00029 E 21

NOME FILE

T02_ST03_STR_RE01_A

CODICE ELAB.

T02ST03STRRE01

REVISIONE

SCALA:

A

-

D

-

C

-

B

-

A

EMISSIONE

Giugno 2021

E. RICCI

G. CAPOGNA

G. PIAZZA

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA	5
2	NORME E SPECIFICHE	5
3	MATERIALI	6
	3.1 Calcestruzzo	6
	3.2 Acciaio per barre di armatura lenta	6
	3.1 Classe di esposizione e copriferro	6
4	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	7
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI.....	7
6	CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	8
7	ANALISI DEI CARICHI	10
	7.1 Peso proprio delle strutture in cemento armato	10
	7.2 Peso proprio della pavimentazione stradale	10
	7.3 Carichi accidentali da traffico agenti sulla soletta di copertura	10
	7.4 Spinta laterale dei terreni	18
	7.5 Spinta laterale dovuta ai sovraccarichi accidentali	18
	7.6 Azione della frenatura.....	18
	7.7 Ritiro della soletta di copertura	19
	7.8 Azione termica longitudinale	20
	7.9 Azione termica differenziale	20
8	AZIONE SISMICA	20
	8.1 Azione inerziale delle masse	20
	8.2 Sovrappinta dinamica dei terreni	21
9	COMBINAZIONI DI CARICO.....	22
	9.1 Combinazioni di carico statiche allo SLU.....	22
	9.2 Combinazioni di carico statiche allo SLE	23
	9.3 Combinazioni di carico sismiche	23
	9.1 Riepilogo delle combinazioni di carico.....	24
	9.1.1 Combinazioni allo Stato Limite Ultimo.....	24
	9.1.2 Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Rare.....	24
	9.1.3 Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Frequenti	25
	9.1.4 Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Quasi Permanenti	25
	9.1.5 Combinazioni sismiche	25
10	MODELLO DI CALCOLO	26

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	

10.1	Definizione del modello di calcolo	26
10.2	Applicazione dei carichi.....	29
10.2.1	Carichi permanenti dovuti al peso della pavimentazione stradale	29
10.2.2	Spinta del terreno sul ritto sinistro.....	30
10.2.3	Spinta del terreno sul ritto destro	30
10.2.4	Azione del ritiro sulla soletta superiore	31
10.2.5	Carichi accidentali da traffico sulla soletta superiore.....	31
10.2.6	Spinta del sovraccarico accidentale sul ritto sinistro	31
10.2.7	Spinta del sovraccarico accidentale sul ritto destro.....	31
10.2.8	Azione orizzontale della frenatura sulla soletta superiore	32
10.2.9	Sovrappinta dinamica del terreno sul ritto sinistro (sisma +Y)	32
10.2.10	Sovrappinta dinamica del terreno sul ritto destro (sisma -X)	32
10.2.11	Azione inerziale orizzontale delle masse	33
10.2.12	Azione inerziale verticale delle masse	33
11	VALUTAZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI	34
11.1	Soletta superiore.....	34
11.1.1	Momento flettente M22.....	34
11.1.2	Momento flettente M11	35
11.1.3	Taglio V23	36
11.1.4	Taglio V13	37
11.1	Ritti 38	
11.1.1	Momento flettente M22.....	38
11.1.2	Momento flettente M11	39
11.1.3	Sforzo normale F22	40
11.1.4	Taglio V23	41
11.1	Soletta di fondazione	42
11.1.1	Momento flettente M22.....	42
11.1.2	Momento flettente M11	43
11.1.3	Taglio V23	44
11.1.4	Taglio V13	45
12	SOLETTA SUPERIORE - VERIFICA STRUTTURALE.....	46
12.1	Sezione di verifica ed armatura di calcolo	46
12.2	Verifica allo Stato Limite Ultimo per flessione.....	46
12.2.1	Verifica armature in direzione trasversale (Y globale).....	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	Relazione tecnica e di calcolo	

12.2.2	Verifica armature in direzione longitudinale (X globale)	49
12.1	Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio	51
12.1.1	Taglio V23	51
12.1.2	Taglio V13	53
12.1	Verifica allo Stato Limite di fessurazione	55
12.1.1	Momento M22 positivo massimo	56
12.1.2	Momento M22 negativo massimo	58
12.1.3	M11 positivo massimo	61
12.1.4	M11 negativo massimo.....	63
12.2	Verifiche allo stato limite di limitazione delle tensioni.....	66
12.2.1	Momento M22 positivo massimo	66
12.2.2	M22 negativo massimo.....	69
12.2.3	M11 positivo massimo	71
12.2.4	M11 negativo massimo.....	74
13	RITTI - VERIFICA STRUTTURALE.....	77
13.1	Sezione di verifica ed armatura di calcolo	77
13.2	Verifiche allo Stato Limite Ultimo per presso-flessione.....	77
13.2.1	Verifica armature in direzione verticale (Z globale)	77
13.2.2	Verifica armature in direzione longitudinale (X globale)	80
13.3	Verifiche allo Stato Limite Ultimo per taglio.....	81
13.3.1	Taglio V23	81
13.3.2	Taglio V13	82
13.4	Verifiche allo Stato Limite di fessurazione	84
13.4.1	Verifica sezione in testa (a filo intradosso soletta superiore).....	84
13.4.2	Verifica sezione di base (a filo estradosso soletta di fondazione)	87
13.5	Verifiche allo stato limite di limitazione delle tensioni.....	90
13.5.1	Verifica sezione in testa (a filo intradosso soletta superiore).....	90
13.5.2	Verifica sezione di base (a filo estradosso soletta di fondazione)	92
14	SOLETTA DI FONDAZIONE - VERIFICA STRUTTURALE	96
14.1	Sezione di verifica ed armatura di calcolo	96
14.2	Verifica allo Stato Limite Ultimo per flessione.....	96
14.2.1	Verifica armature in direzione trasversale (Y globale).....	97
14.2.2	Verifica armature in direzione longitudinale (X globale)	98
14.3	Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio	100

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>	

14.3.1	Taglio V23	100
14.3.2	Taglio V13	102
14.4	Verifica allo Stato Limite di fessurazione	104
14.4.1	Momento M22 positivo massimo	105
14.4.2	Momento M22 negativo massimo	108
14.4.3	M11 positivo massimo	110
14.4.4	M11 negativo massimo.....	113
14.5	Verifiche allo stato limite di limitazione delle tensioni.....	115
14.5.1	Momento M22 positivo massimo	116
14.5.2	Momento M22 negativo massimo	118
14.5.3	M11 positivo massimo	120
14.5.4	M11 negativo massimo.....	123
15	CORDOLO – VERIFICA STRUTTURALE.....	125
15.1	Verifica a flessione	125
15.1.1	Verifica in campata (M+ massimo).....	125
15.1.2	Verifica all'appoggio (M- massimo).....	127
15.2	Verifica a taglio.....	128

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>	

1 PREMESSA

La presente relazione riporta il dimensionamento e le verifiche delle strutture in cemento armato del sottovia al km 1+720 dell'Asse Tipo D 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	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

3 MATERIALI

3.1 Calcestruzzo

Per le strutture in cemento armato 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 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 sverramento di calcolo ($\gamma_c = 1.15$)	f_{yd}	391.3 N/mm ²
Modulo elastico istantaneo	E_s	210000.00 N/mm ²

3.1 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 sia per le solette che per le elevazioni.

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>	

4 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il sottovia è una struttura scatolare in cemento armato ordinario gettato in opera. Lo scatolare presenta una sezione trasversale a singola canna avente luce netta pari a 13.30 m (in retto) e 23.60 m (in obliquo).

Lo spessore della soletta superiore è pari a 110 cm, mentre lo spessore della soletta di fondazione è pari a 150 cm. Lo spessore dei ritti è pari a 150 cm.

Lungo i bordi obliqui della soletta superiore è disposto un cordolo avente sezione rettangolare con base pari a 150 cm ed altezza 130 cm.

5 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 rinfiaccio**

$$\phi = 35^\circ$$

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

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

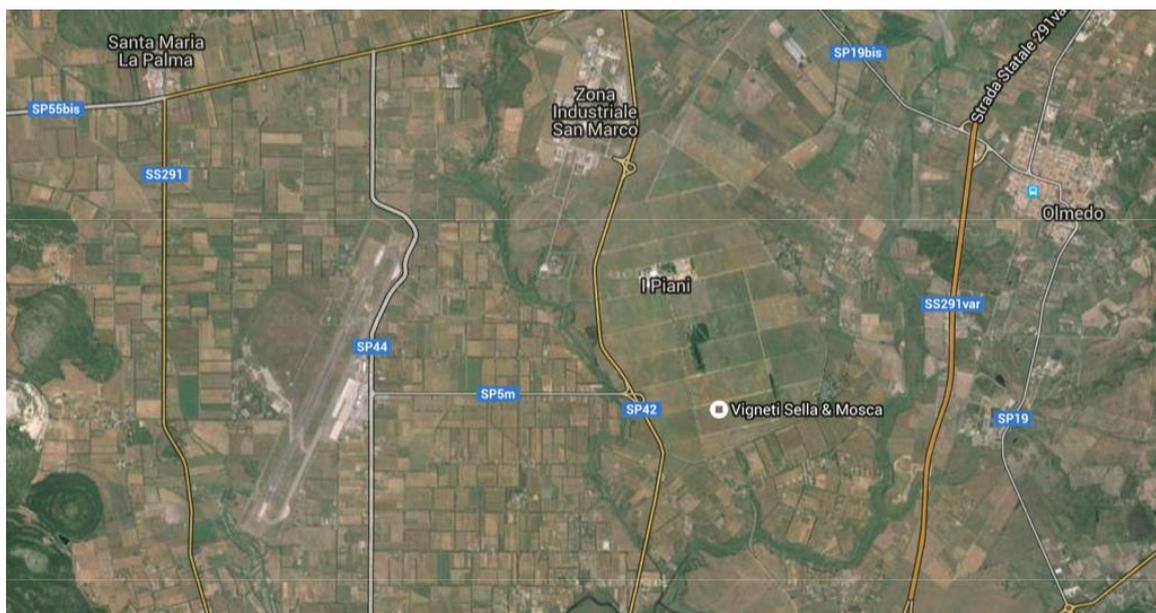
Per la valutazione dell'interazione tra terreno e struttura è stata considerata una costante di sottofondo verticale pari a $k_{\text{vert}} = 20000 \text{ kN/m}^3$.

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

Sono state considerate condizioni di falda assente.

6 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.

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	

7 ANALISI DEI CARICHI

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.

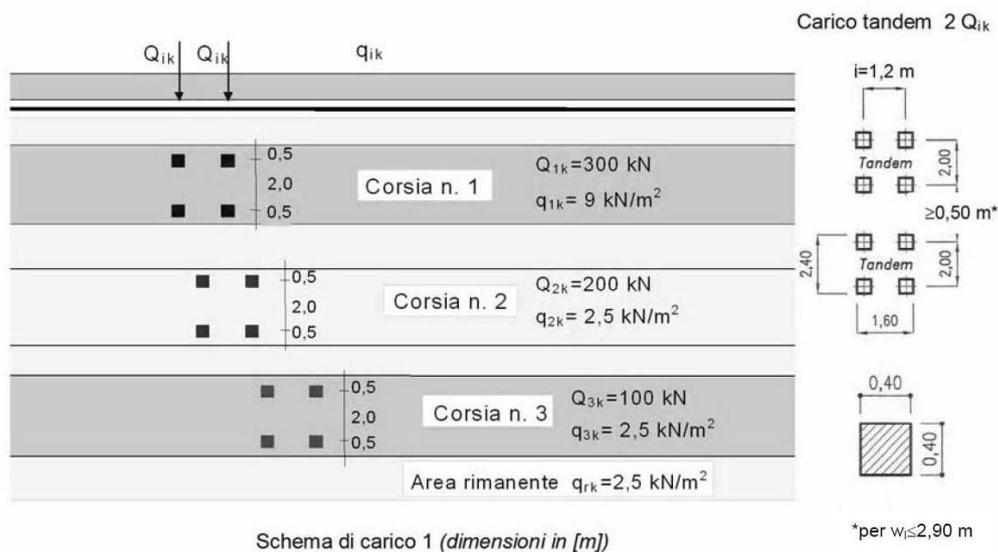
7.2 Peso proprio della pavimentazione stradale

Il peso per unità di superficie associato alla pavimentazione stradale risulta pertanto pari a:

$$p_{pav} = 5.00 \text{ kN/m}^2.$$

7.3 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;

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	

- 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, si considerano 3 corsie convenzionali più la 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°

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	0.15	m	Spessore della pavimentazione
α_1	45	°	Angolo di diffusione del carico attraverso la pavimentazione stradale
h_2	0	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
$Q_{k1,diff}$	66.7	kN/m ²	Carico concentrato stradale diffuso fino alla linea media della soletta superiore
a_{diff}	3.00	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	0.15	m	Spessore della pavimentazione
α_1	45	°	Angolo di diffusione del carico attraverso la pavimentazione stradale
h_2	0	m	Spessore del terreno di ricoprimento

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_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
$Q_{k2,diff}$	44.4	kN/m ²	Carico concentrato stradale diffuso fino alla linea media della soletta superiore
a_{diff}	3.00	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° 3

Q_{k3}	200	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	0.15	m	Spessore della pavimentazione
α_1	45	°	Angolo di diffusione del carico attraverso la pavimentazione stradale
h_2	0	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
$Q_{k3,diff}$	22.2	kN/m ²	Carico concentrato stradale diffuso fino alla linea media della soletta superiore
a_{diff}	3.00	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

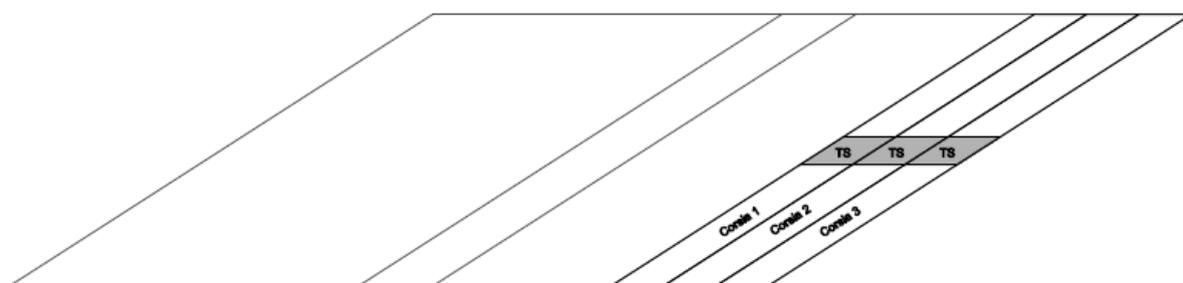
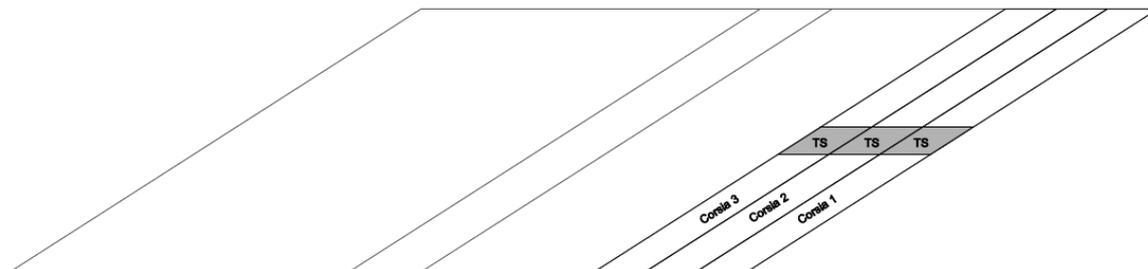
La superficie di diffusione, valutata in corrispondenza del piano medio della soletta di copertura, presenta una lunghezza pari a **3.00 m** ed una larghezza pari a **3.00 m** (la dimensione della superficie di diffusione in direzione perpendicolare al traffico è stata limitata a 3.00 m a favore di sicurezza).

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 **67 kN/m²**; il carico concentrato Q_{k2} produce un carico per unità di superficie pari a **44 kN/m²**; il carico concentrato Q_{k3} produce un carico per unità di superficie pari a **22 kN/m²**.

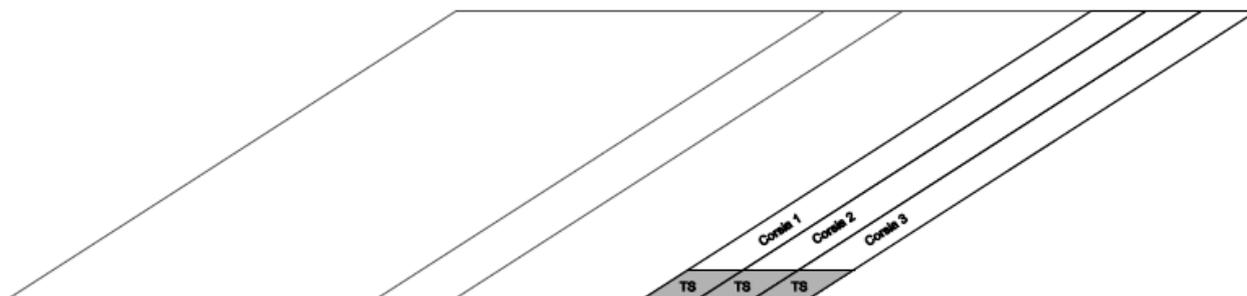
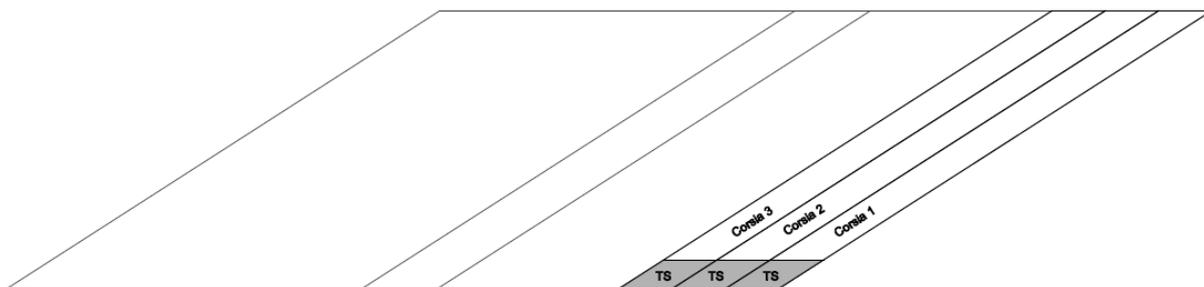
Ai carichi concentrati diffusi, su ciascuna delle corsie convenzionali, si aggiungono i carichi distribuiti $q_{1k} =$ **9.00 kN/m²**, $q_{2k} =$ **2.5 kN/m²** e $q_{3k} =$ **2.5 kN/m²**, più il carico distribuito sulla zona rimanente pari anch'esso a **2.5 kN/m²**.

Si riportano le disposizioni in pianta adottate le corsie convenzionali e i relativi carichi da traffico, ai fini di massimizzare le sollecitazioni nelle sezioni di interesse.

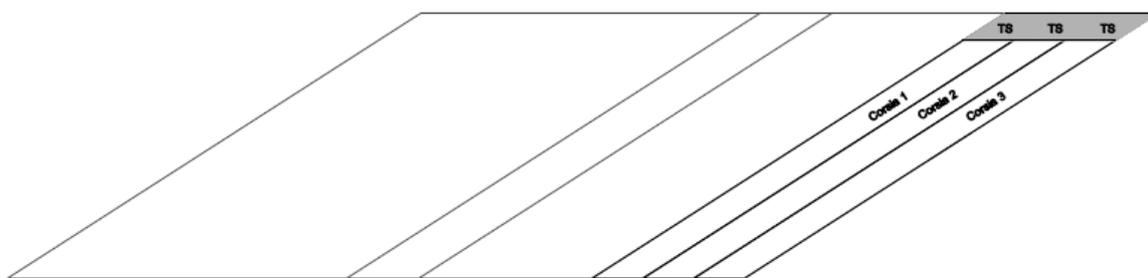
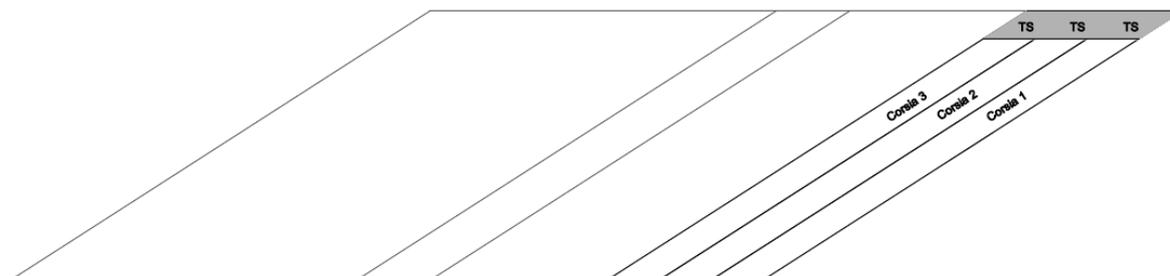
Corsie da traffico sul bordo della soletta e carico tandem in mezzzeria



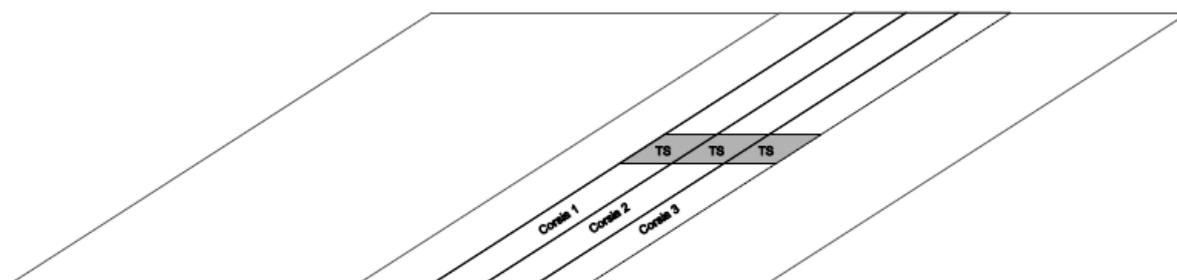
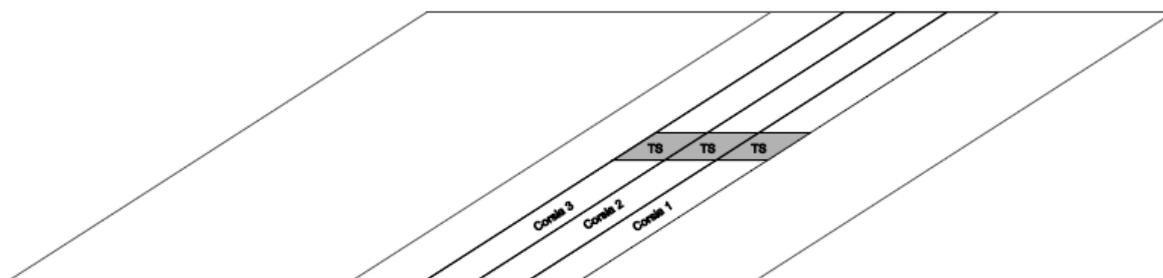
Corsie da traffico sul bordo della soletta e carico tandem in corrispondenza del ritto sinistro



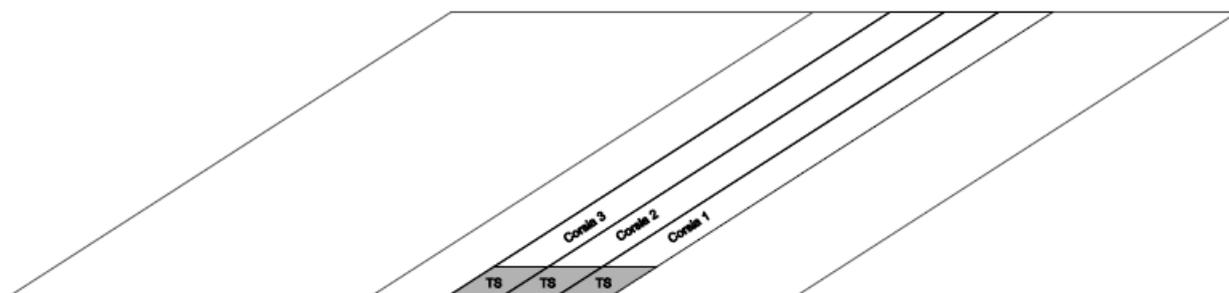
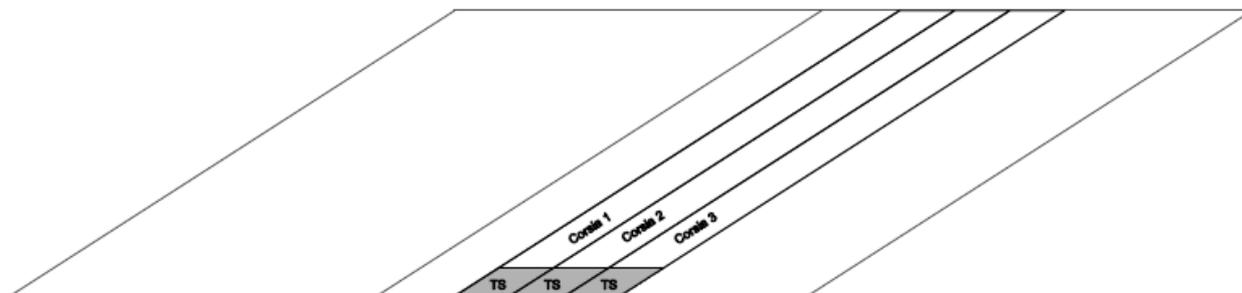
Corsie da traffico sul bordo della soletta e carico tandem in corrispondenza del ritto destro



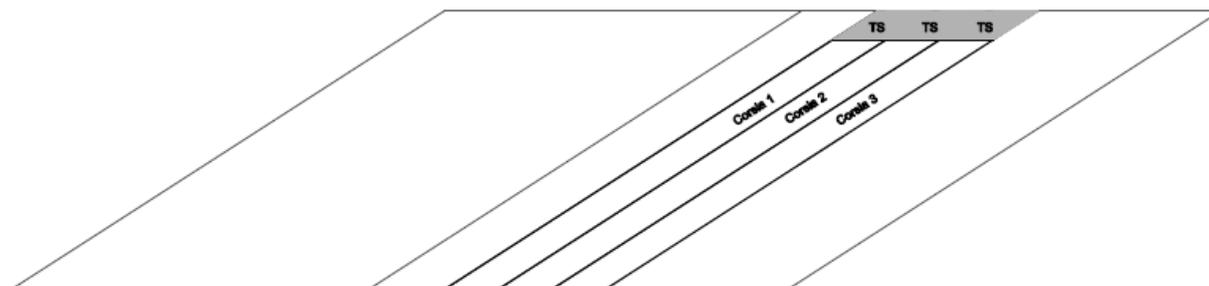
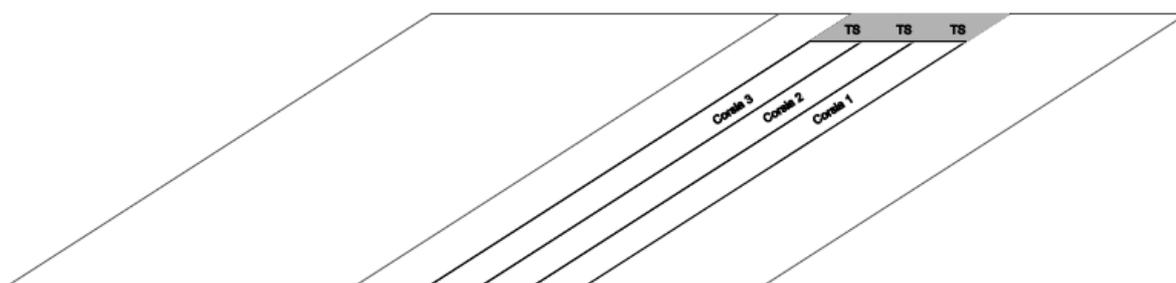
Corsie da traffico nella zona centrale della soletta (caso 1) e carico tandem in corrispondenza della mezzeria



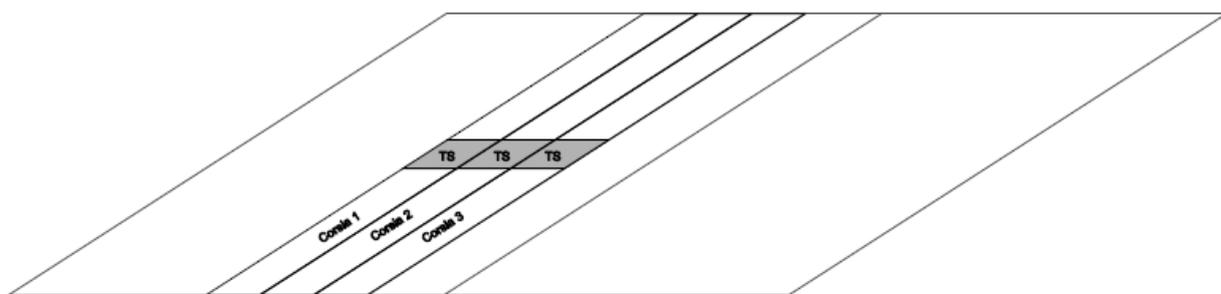
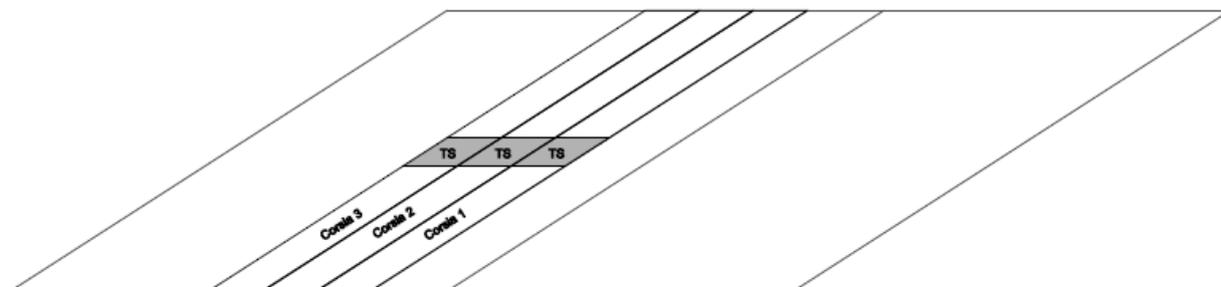
Corsie da traffico nella zona centrale della soletta (caso 1) e carico tandem in corrispondenza del ritto sx



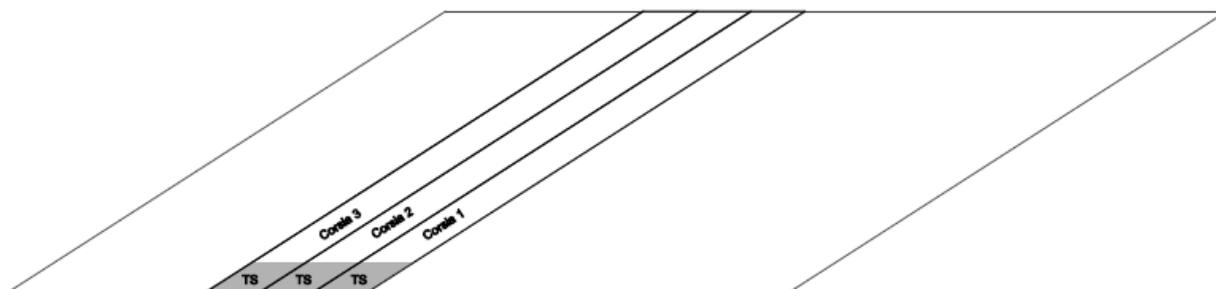
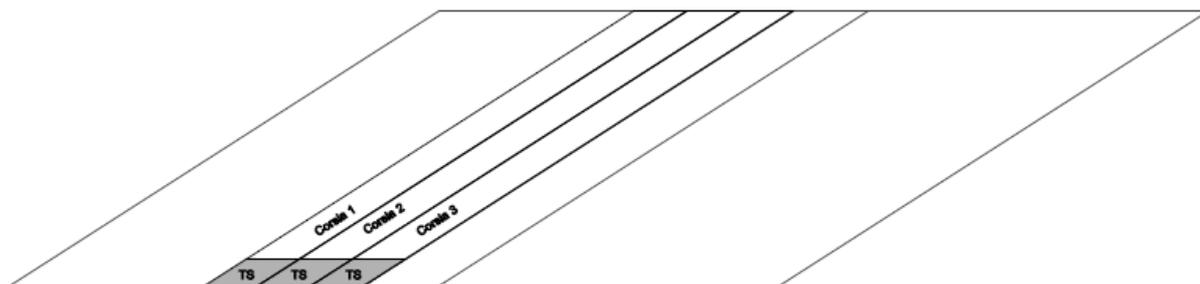
Corsie da traffico nella zona centrale della soletta (caso 1) e carico tandem in corrispondenza del ritto dx



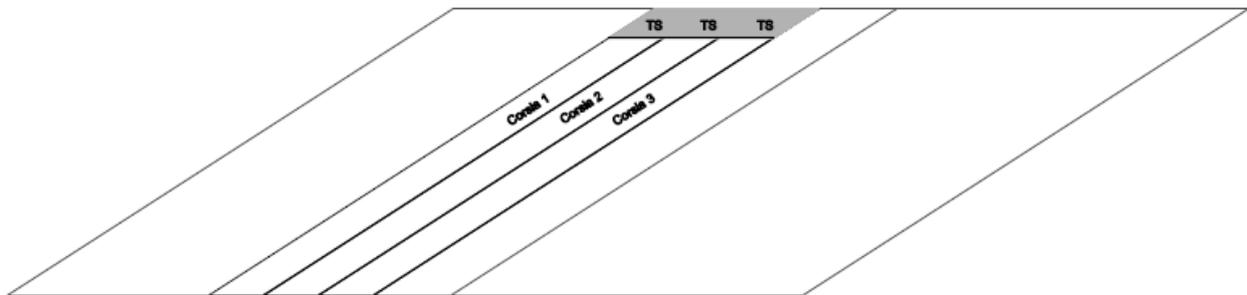
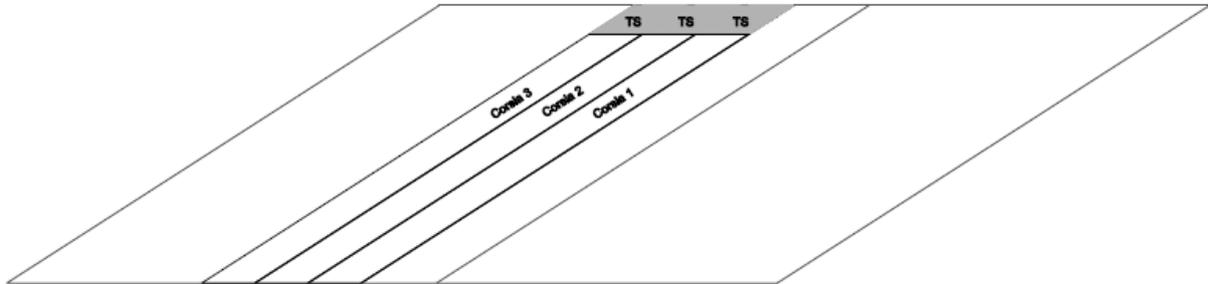
Corsie da traffico nella zona centrale della soletta (caso 2) e carico tandem in corrispondenza della mezzeria



Corsie da traffico nella zona centrale della soletta (caso 2) e carico tandem in corrispondenza del ritto sx



Corsie da traffico nella zona centrale della soletta (caso 2) e carico tandem in corrispondenza del ritto dx



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>	

7.4 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:

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

La spinta è considerata agente contemporaneamente su entrambi i ritti.

7.5 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 $\Delta q = 20 \text{ kN/m}^2$;
- 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.

7.6 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:

$$q_3 = 0.6 \times (2 \times 300) + 0.10 \times 9 \times 3 \times 25.6 = 429.04 \text{ kN,}$$

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	

avendo considerato una lunghezza L della zona caricata pari a 25.6 m, pari alla larghezza in obliquo dello scatolare, comprese le pareti laterali.

L'azione frenante viene quindi diffusa trasversalmente all'asse stradale su una larghezza di 3.00 m:

$$q_{3_diff} = q_3 / 3.00 \text{ m} = 143.01 \text{ kN/m}$$

Infine, si divide q_{3_diff} per la larghezza del portale (25.6 m), ottenendo:

$$q_{frenatura} = 143.01/25.6 = 5.60 \text{ kN/m}^2.$$

7.7 Ritiro della soletta di copertura

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

Valutazione del ritiro differenziale trave-soletta

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 27.1
 s = spessore medio della soletta m 1.1
 A_c = area della sezione trasversale del getto di cls m^2 29.81
 u = perimetro della soletta a contatto con l'atmosfera m 24.10
 h_0 = dimensione fittizia dell'elemento mm 2474
 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
 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**

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	

Poiché il fenomeno del ritiro è un fenomeno molto lento, si considera una deformazione pari a 1/3 del di quella precedentemente determinata. Si ottiene pertanto:

$$\varepsilon_{cs} = 0.00027 / 3 = 0.00009$$

7.8 Azione termica longitudinale

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

7.9 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.

8 AZIONE SISMICA

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:

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

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	

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.

Allo Stato Limite di Salvaguardia della vita, si ha:

a_g	0.060	g
S	1.2	-
H	8.3	m

ΔP [kN/m]	89.28
ΔP [kN/m²]	10.76

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		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

9 COMBINAZIONI DI CARICO

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;

- 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		Ritiro	Carico mobile tandem	Carico mobile distribuito	Frenatura	Spinta_carico mobile		Termica	Sisma_H_sx	Sisma_H_dx	Sisma_V+	Sisma_V-
			sx	dx					sx	dx					
SLU01	1.35	1.35	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU02	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU03	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.35	1.35	0	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU04	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	1.35	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU05	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	0	0	0	1.5	0	0	0	0
SLU06	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.35	1.35	0	1.35	1.35	0.9	0	0	0	0
SLU07	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	1.35	1.35	1.35	0.9	0	0	0	0
SLU08	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	0	1.0125	####	1.5	0	0	0	0
SLU09	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	0	0	0	1.35	1.35	0.9	0	0	0	0
SLU10	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	0	0	0	1.0125	####	1.5	0	0	0	0
SLU11	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.35	1.35	0	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU12	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.0125	0.54	1.35	0	0	0.9	0	0	0	0
SLU13	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.0125	0.54	0	0	0	1.5	0	0	0	0
SLU14	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.35	1.35	0	1.35	1.35	0.9	0	0	0	0
SLU15	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.0125	0.54	1.35	1.35	1.35	0.9	0	0	0	0
SLU16	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.0125	0.54	0	1.0125	####	1.5	0	0	0	0
SLU17	1.35	1.35	1.35	1.35	0	0	0	0	1.35	1.35	0.9	0	0	0	0
SLU18	1.35	1.35	1.35	1.35	0	0	0	0	1.0125	####	1.5	0	0	0	0
SLU19	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU20	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	1.35	0	0	0	0	0	0	0
SLU21	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.35	1.35	0	1.35	1.35	0	0	0	0	0
SLU22	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	1.0125	0.54	1.35	1.35	1.35	0	0	0	0	0
SLU23	1.35	1.35	1.35	1.35	1.2	0	0	0	1.35	1.35	0	0	0	0	0

9.1.2 Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Rare

COMBINAZIONI	AZIONI														
	Peso_proprio	Sovraccarico permanente	Spinta_terre		Ritiro	Carico mobile tandem	Carico mobile distribuito	Frenatura	Spinta_carico mobile		Termica	Sisma_H_sx	Sisma_H_dx	Sisma_V+	Sisma_V-
			sx	dx					sx	dx					
SLE_rara_1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_2	1	1	1	1	1	0.75	0.4	1	0	0	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_3	1	1	1	1	1	0.75	0.4	0	0	0	1	0	0	0	0
SLE_rara_4	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_5	1	1	1	1	1	0.7500	0.4	1	1	1	0.6	0	0	0	0
SLE_rara_6	1	1	1	1	1	0.7500	0.4	0	0.75	0.75	1	0	0	0	0

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

9.1.3 Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Frequenti

COMBINAZIONI	AZIONI														
	Peso_proprio	Sovraccarico_permanente	Spinta_terre		Ritiro	Carico_mobile_tandem	Carico_mobile_distribuito	Frenatura	Spinta_carico_mobile		Termica	Sisma_H_sx	Sisma_H_dx	Sisma_V+	Sisma_V-
			sx	dx					sx	dx					
SLE_frequente_1	1	1	1	1	1	0.75	0.4	0	0	0	0.5	0	0	0	0
SLE_frequente_2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0
SLE_frequente_3	1	1	1	1	1	0.75	0.4	0	0.75	0.75	0.5	0	0	0	0

9.1.4 Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Quasi Permanenti

COMBINAZIONI	AZIONI														
	Peso_proprio	Sovraccarico_permanente	Spinta_terre		Ritiro	Carico_mobile_tandem	Carico_mobile_distribuito	Frenatura	Spinta_carico_mobile		Termica	Sisma_H_sx	Sisma_H_dx	Sisma_V+	Sisma_V-
			sx	dx					sx	dx					
SLE_q_perm_1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0

9.1.5 Combinazioni sismiche

COMBINAZIONI	AZIONI														
	Peso_proprio	Sovraccarico_permanente	Spinta_terre		Ritiro	Carico_mobile_tandem	Carico_mobile_distribuito	Frenatura	Spinta_carico_mobile		Termica	Sisma_H_sx	Sisma_H_dx	Sisma_V+	Sisma_V-
			sx	dx					sx	dx					
SLV01	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0.5	1	0	1	0
SLV02	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0.5	1	0	0	1
SLV03	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0.5	0	1	1	0
SLV04	1	1	1	1	1	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

10.1 Definizione del modello di calcolo

Per il sottovia è stato predisposto un modello di calcolo 3D agli elementi finiti, in cui la soletta superiore, la soletta di fondazione e le pareti laterali sono state modellate mediante elementi bidimensionali tipo “shell”, posizionati in corrispondenza dei rispettivi piani medi.

Il cordolo disposto lungo il lato obliquo della soletta superiore è stato anch'esso modellato tramite elementi “shell”, aventi spessore pari all'altezza del cordolo stesso.

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

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

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

Si riportano di seguito alcune immagini del modello di calcolo.

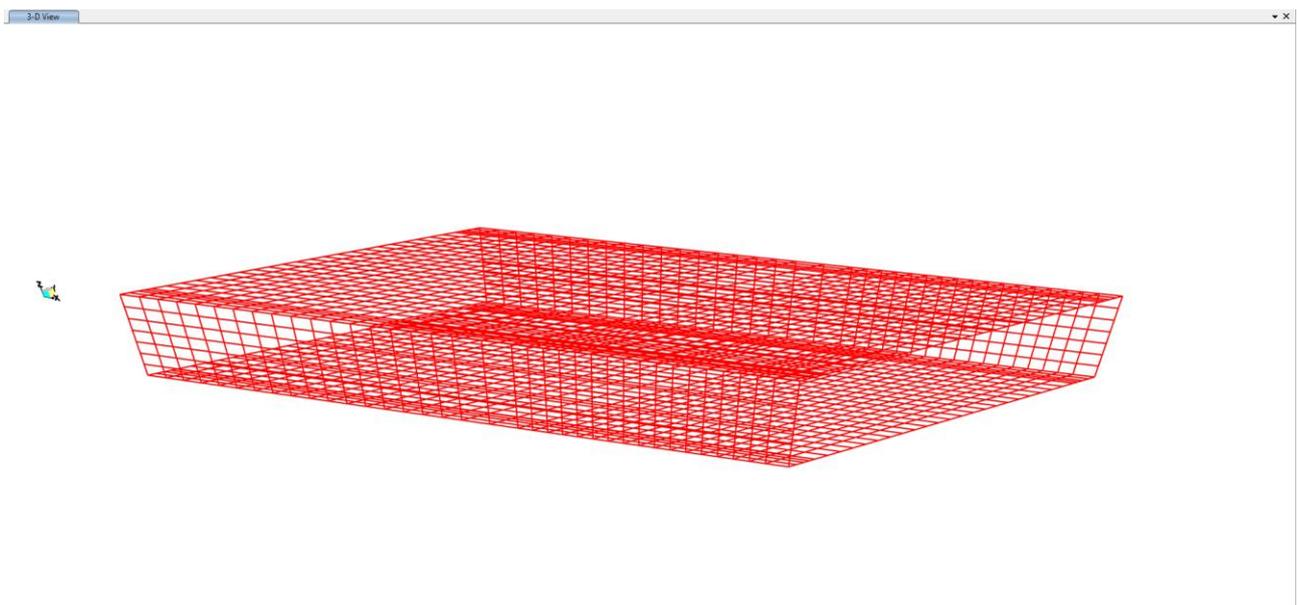


Figura 10-1: Modello di calcolo agli elementi finiti - vista 3D

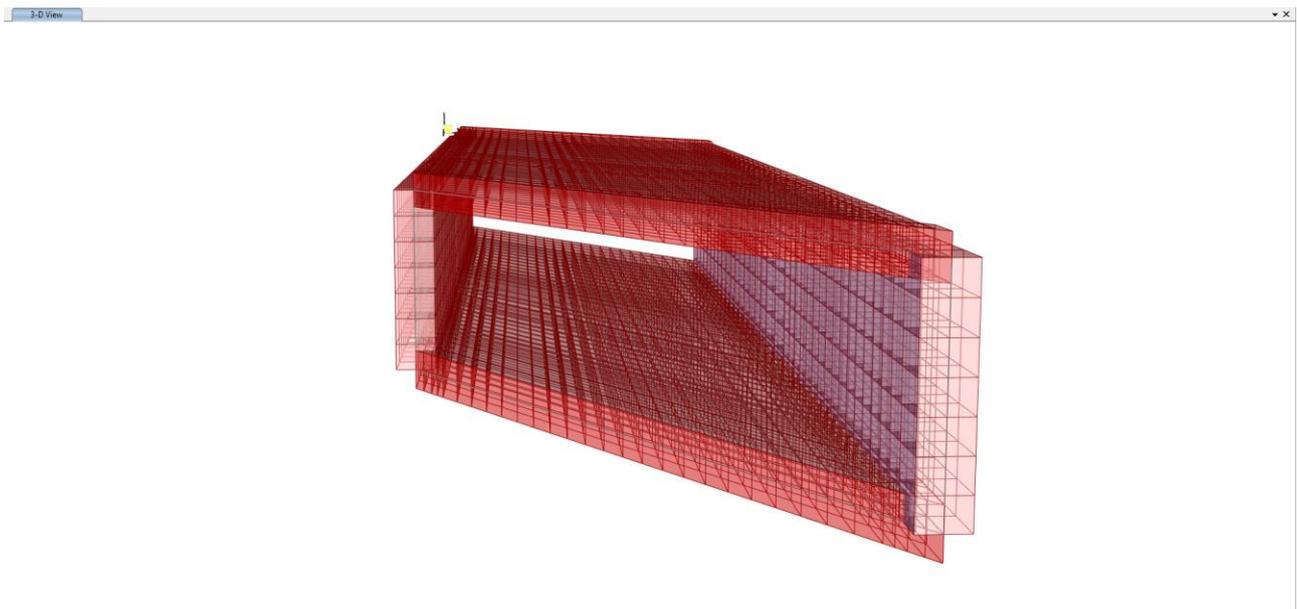


Figura 10-2: Modello di calcolo agli elementi finiti - vista 3D estrusa

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>	

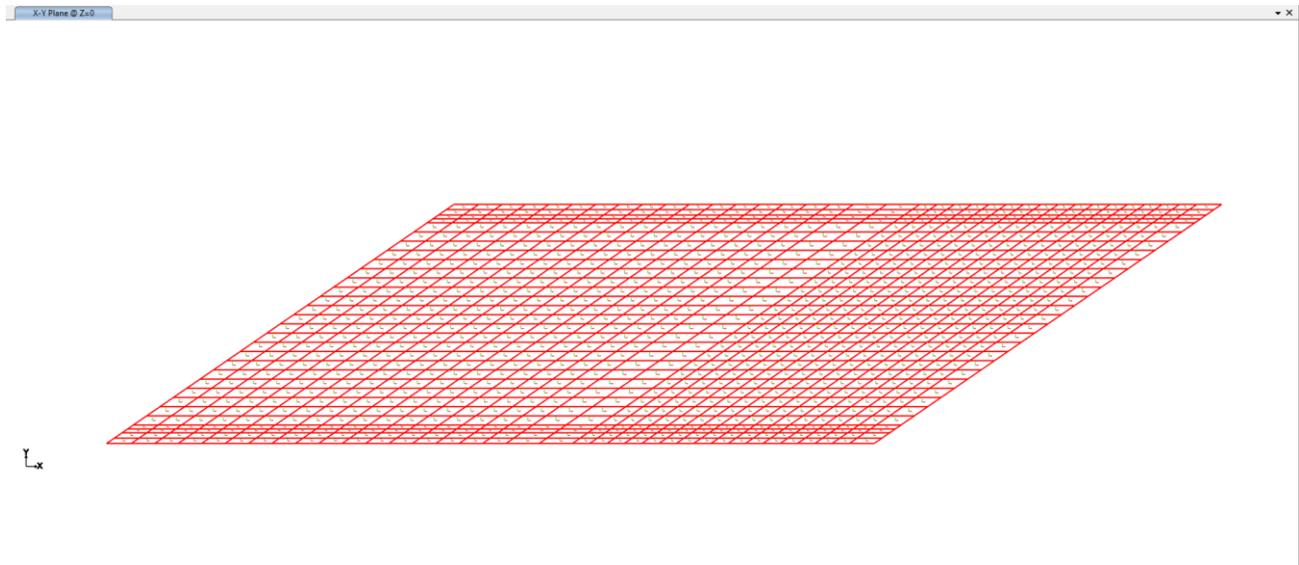


Figura 10-3: Vista dall'alto della soletta superiore con gli assi locali degli elementi shell

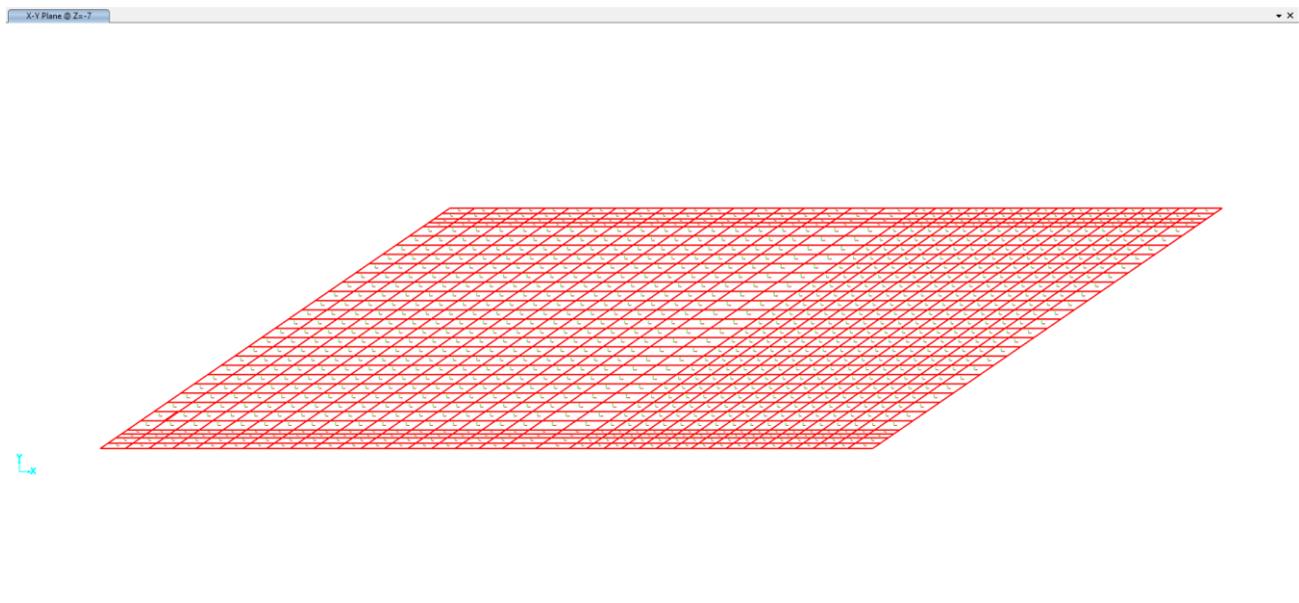


Figura 10-4: Vista dall'alto della soletta di fondazione con gli assi locali degli elementi shell

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>	

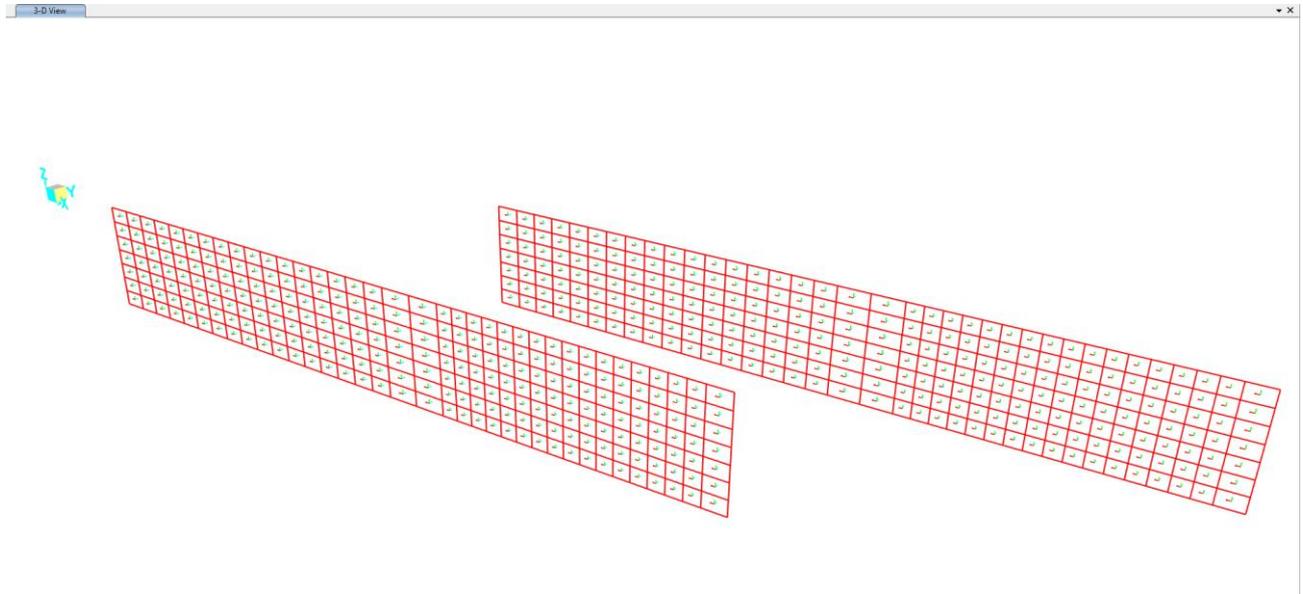
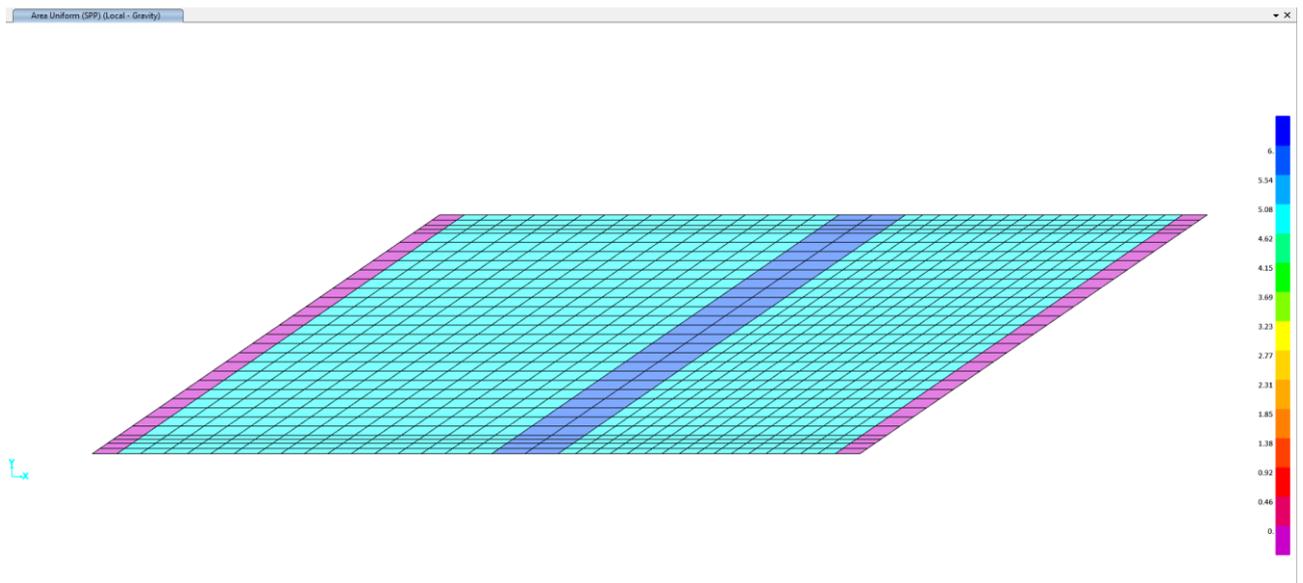


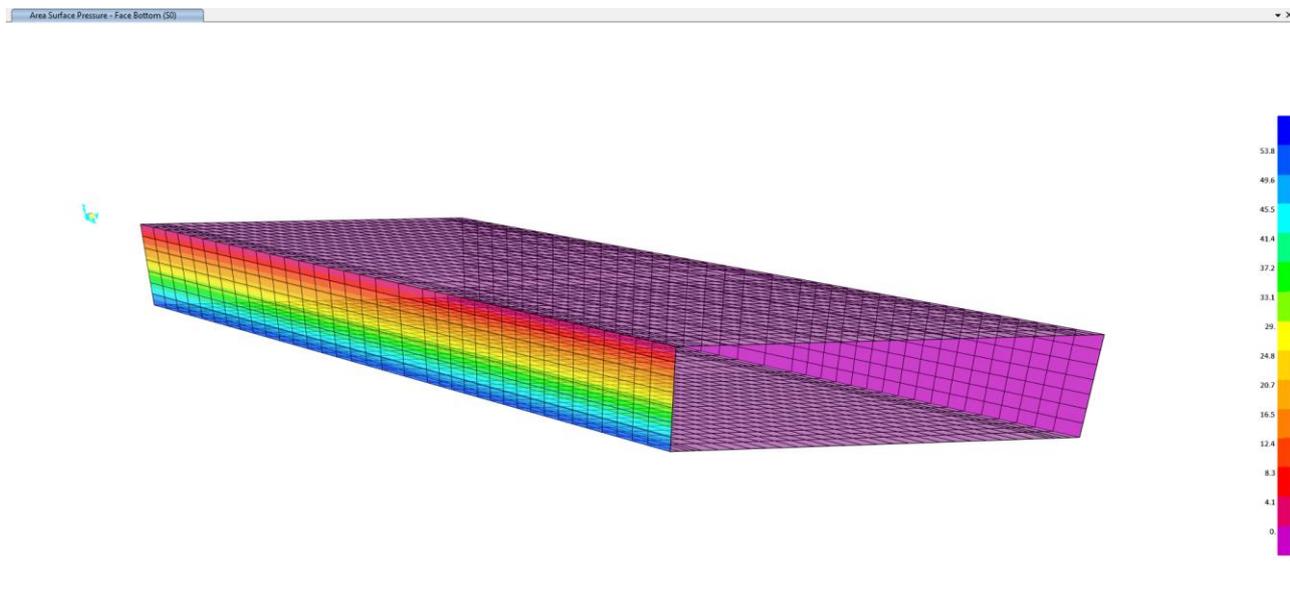
Figura 10-5: Vista delle pareti con gli assi locali degli elementi shell

10.2 Applicazione dei carichi

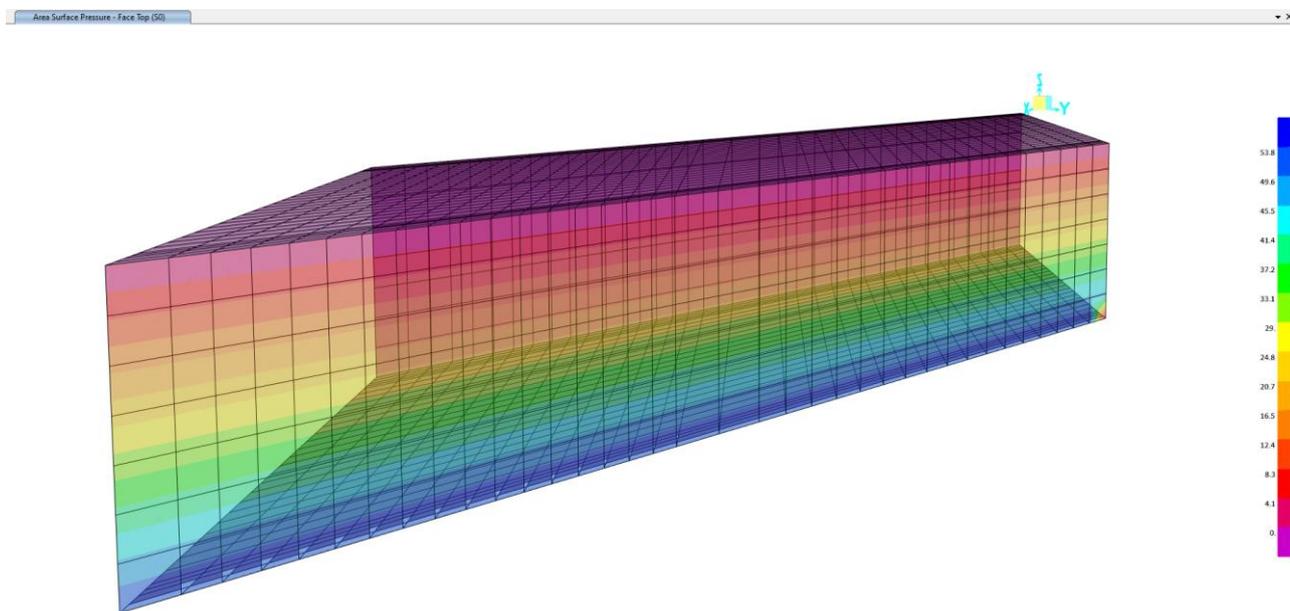
10.2.1 Carichi permanenti dovuti al peso della pavimentazione stradale



10.2.2 Spinta del terreno sul ritto sinistro



10.2.3 Spinta del terreno sul ritto destro



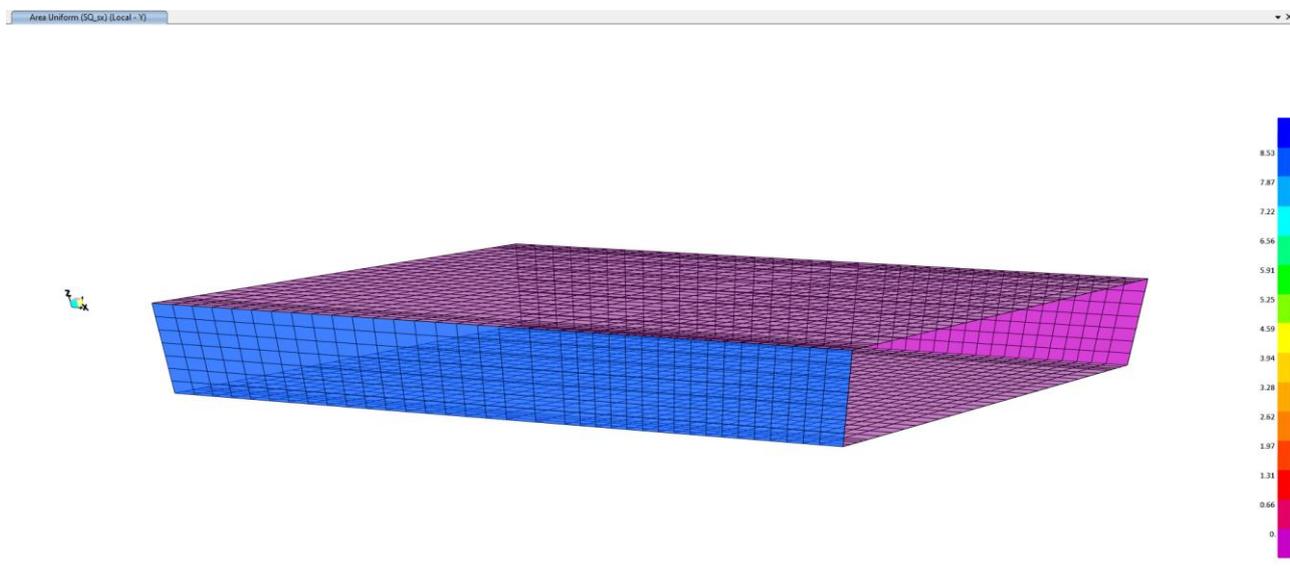
10.2.4 Azione del ritiro sulla soletta superiore

L'azione del ritiro calcolata nel paragrafo 7.7 è stata direttamente applicata come una deformazione (strain) agli elementi shell rappresentativi della soletta.

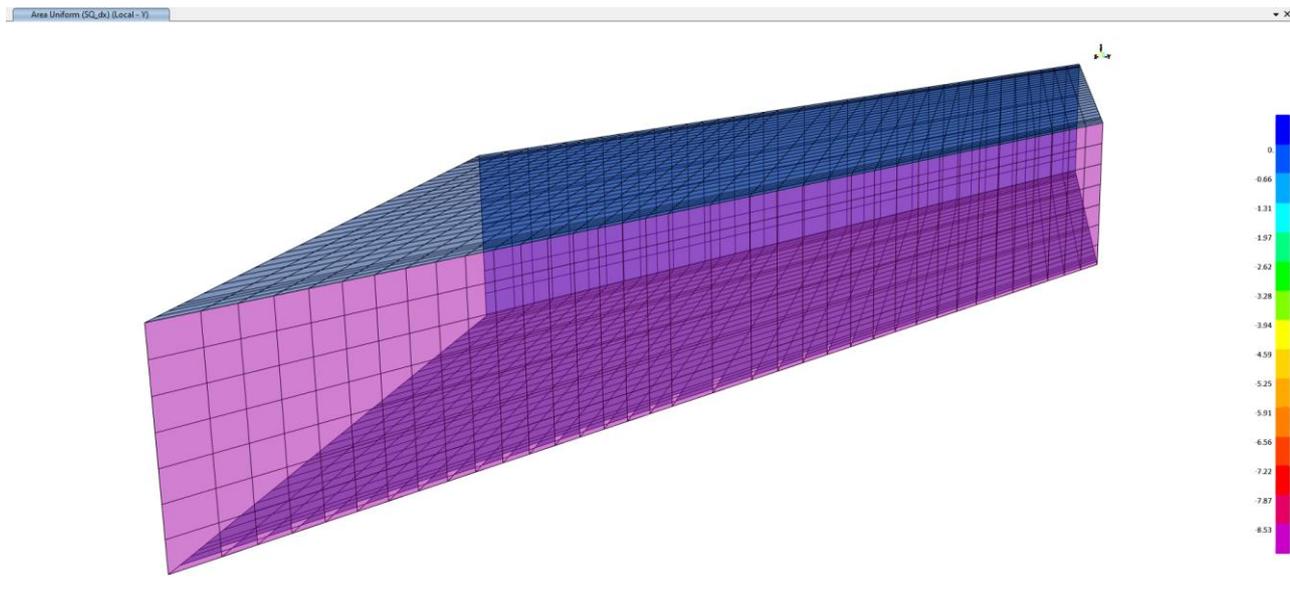
10.2.5 Carichi accidentali da traffico sulla soletta superiore

I carichi accidentali da traffico sono stati applicati sulla soletta superiore come carichi superficiali secondo le varie disposizioni descritte paragrafo 7.3.

10.2.6 Spinta del sovraccarico accidentale sul ritto sinistro



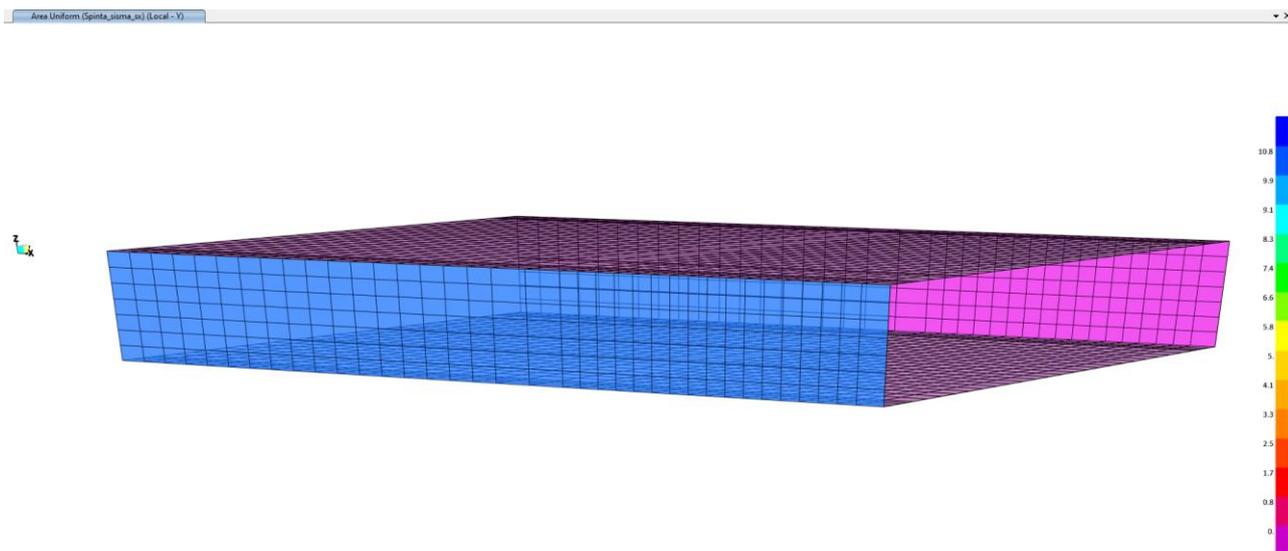
10.2.7 Spinta del sovraccarico accidentale sul ritto destro



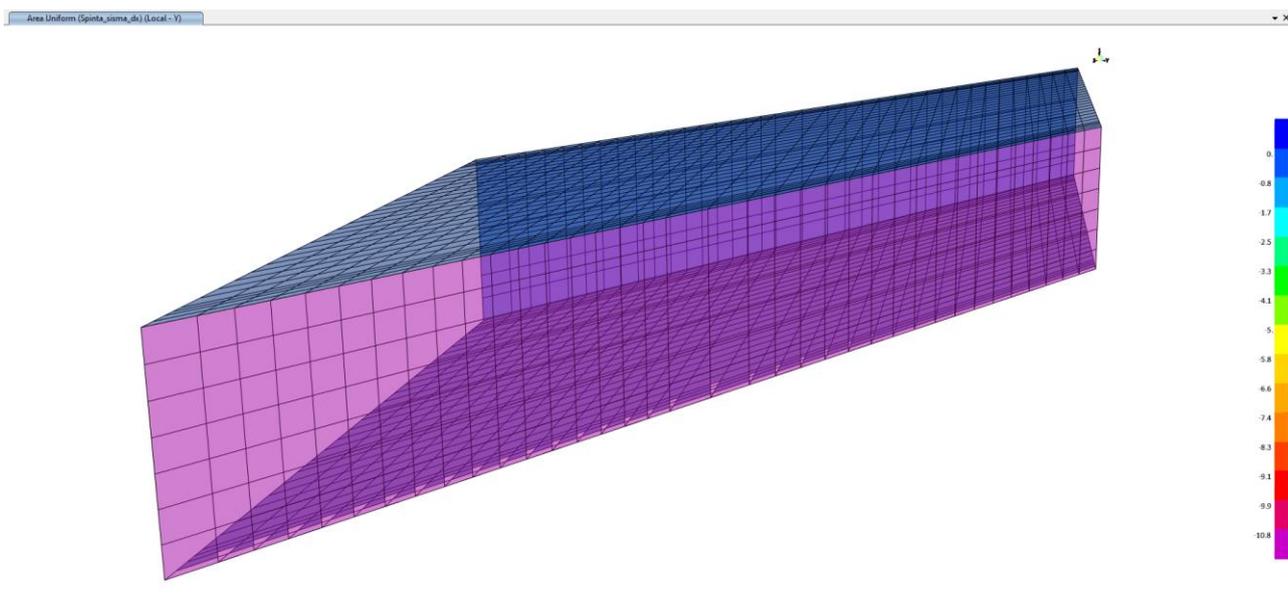
10.2.8 Azione orizzontale della frenatura sulla soletta superiore

La forza di frenatura è stata applicata lungo la corsia convenzionale n° 1, secondo le diverse disposizioni dei carichi da traffico descritte nel paragrafo 7.3.

10.2.9 Sovrappinta dinamica del terreno sul ritto sinistro (sisma +Y)



10.2.10 Sovrappinta dinamica del terreno sul ritto destro (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>	

10.2.11 Azione inerziale orizzontale delle masse

L'azione inerziale è stata applicata agli elementi del modello (soletta superiore, soletta di fondazione e pareti laterali) tramite l'uso dei Gravity Multipliers.

Nel caso dell'inerzia orizzontale, è stato inserito un Gravity Multipliers in direzione Y pari a $k_n = \pm 0.072$, a seconda del verso dell'azione sismica.

10.2.12 Azione inerziale verticale delle masse

L'azione inerziale è stata applicata agli elementi del modello (soletta superiore, soletta di fondazione e pareti laterali) 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.

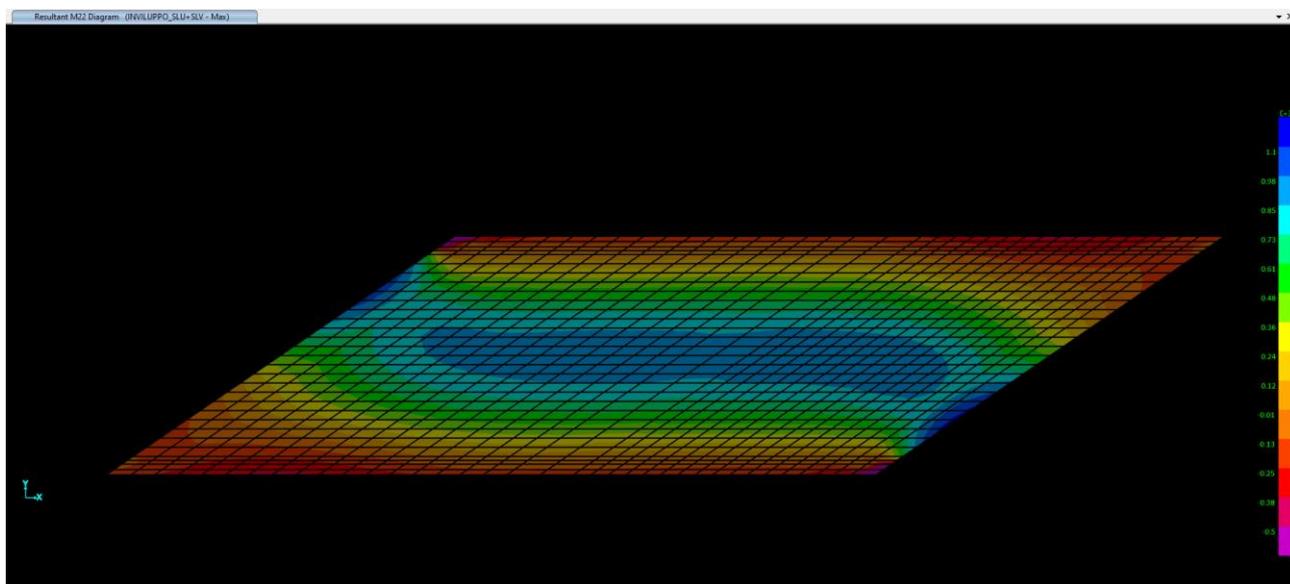
11 VALUTAZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI

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

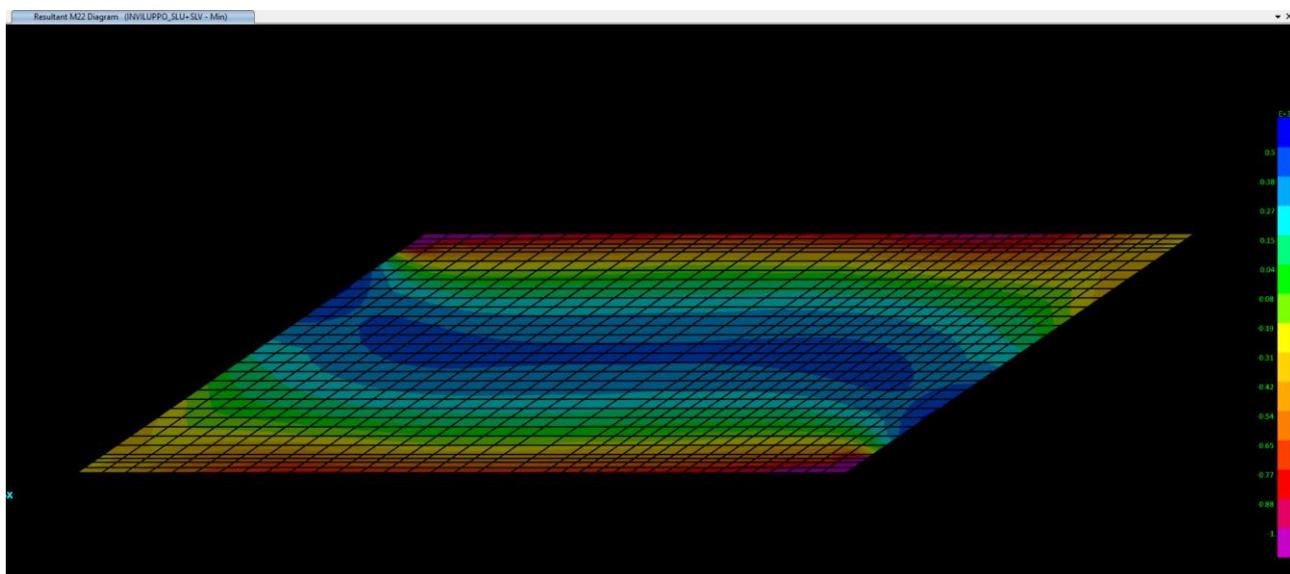
11.1 Soletta superiore

11.1.1 Momento flettente M22

Inviluppo SLU-SLV_MAX

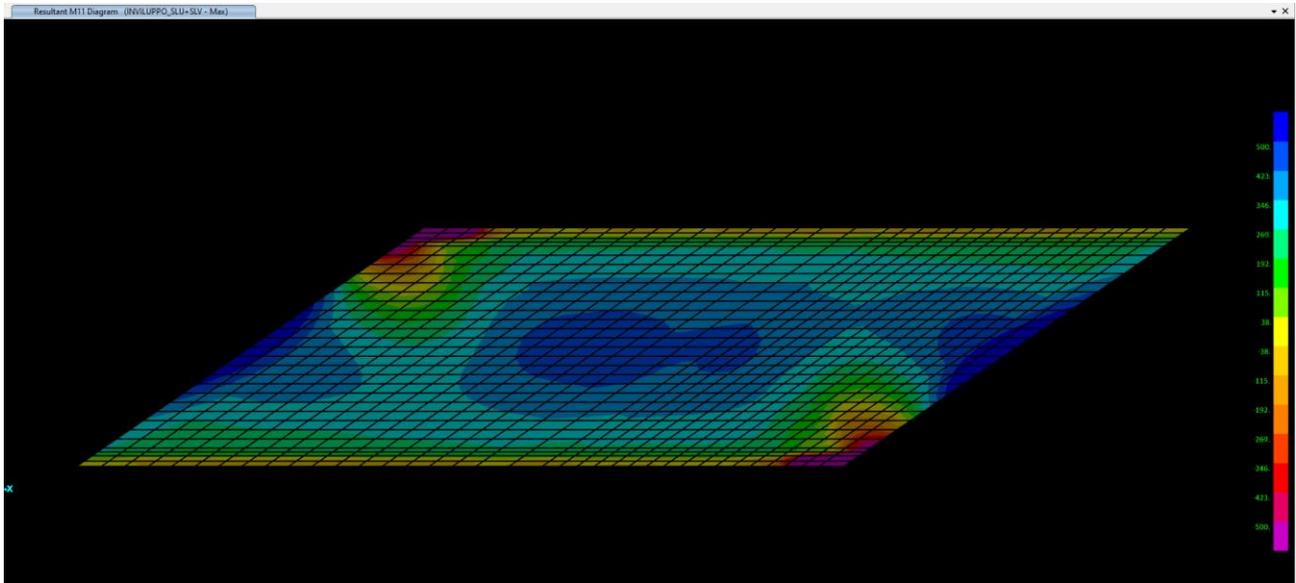


Inviluppo SLU-SLV_MIN

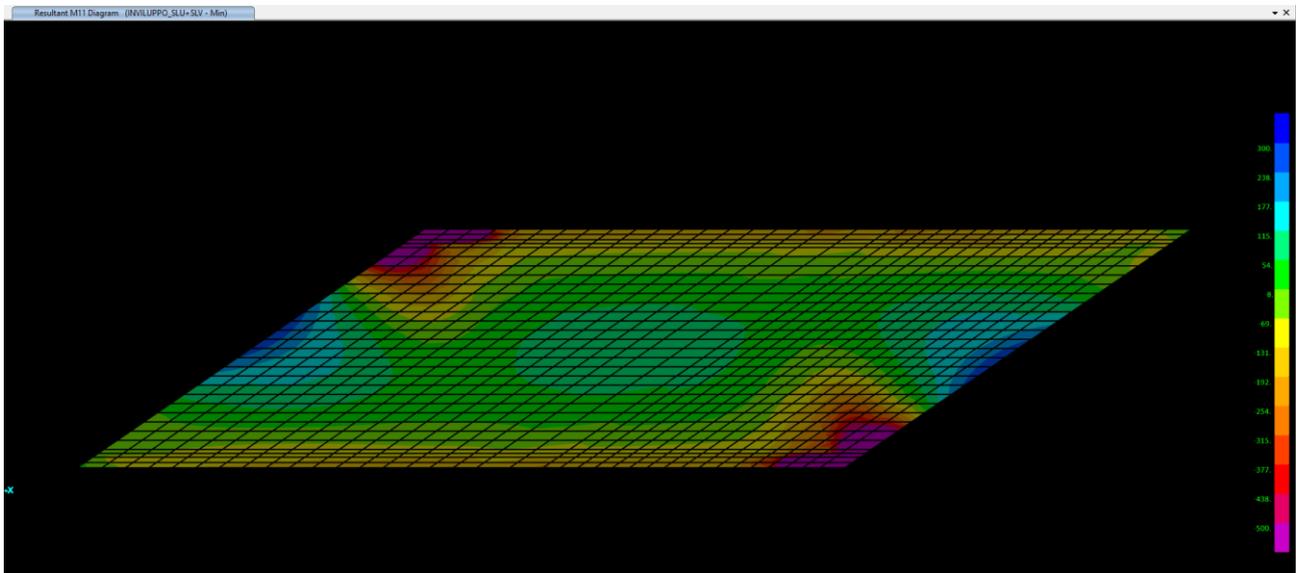


11.1.2 Momento flettente M11

Inviluppo SLU-SLV_MAX

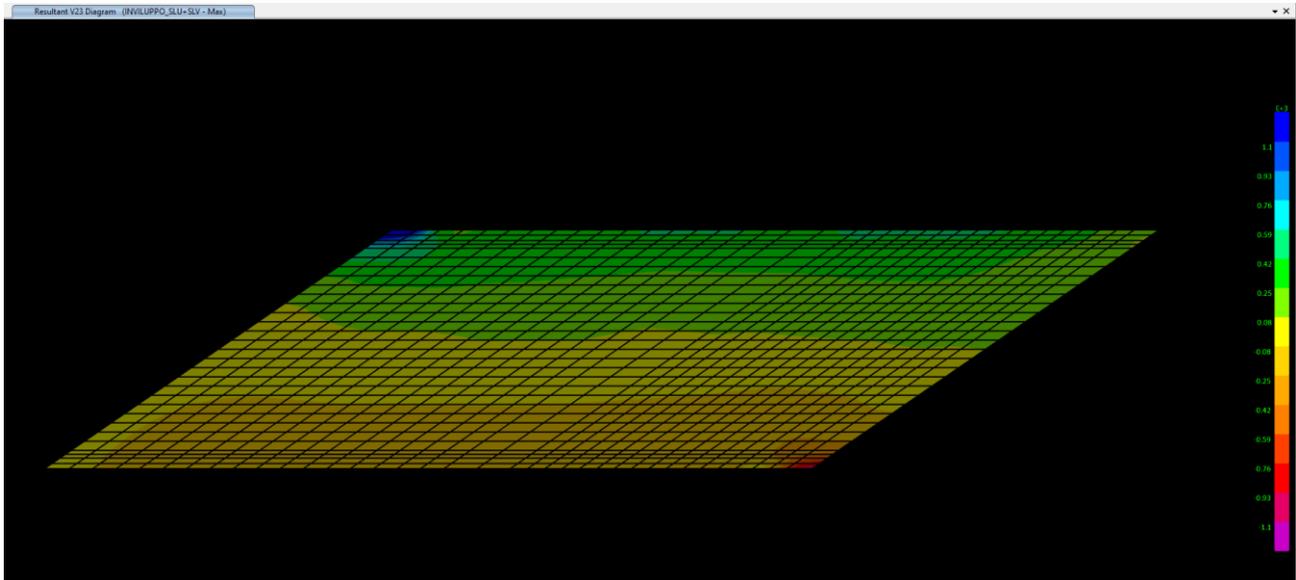


Inviluppo SLU-SLV_MIN

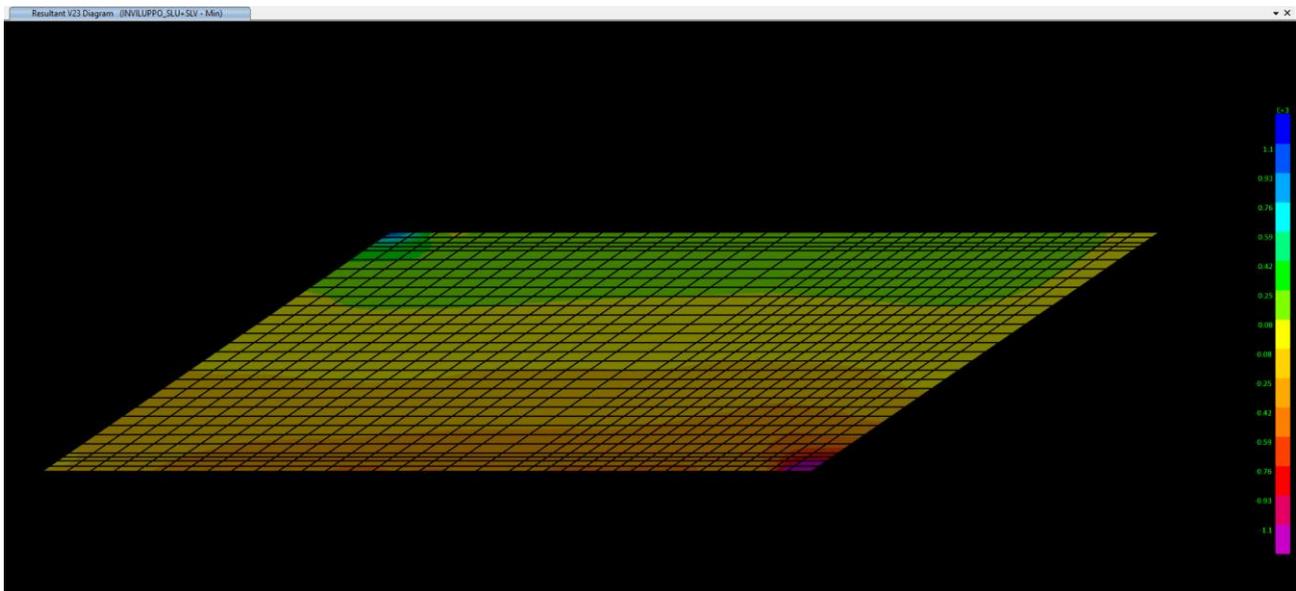


11.1.3 Taglio V23

Inviluppo SLU-SLV_MAX

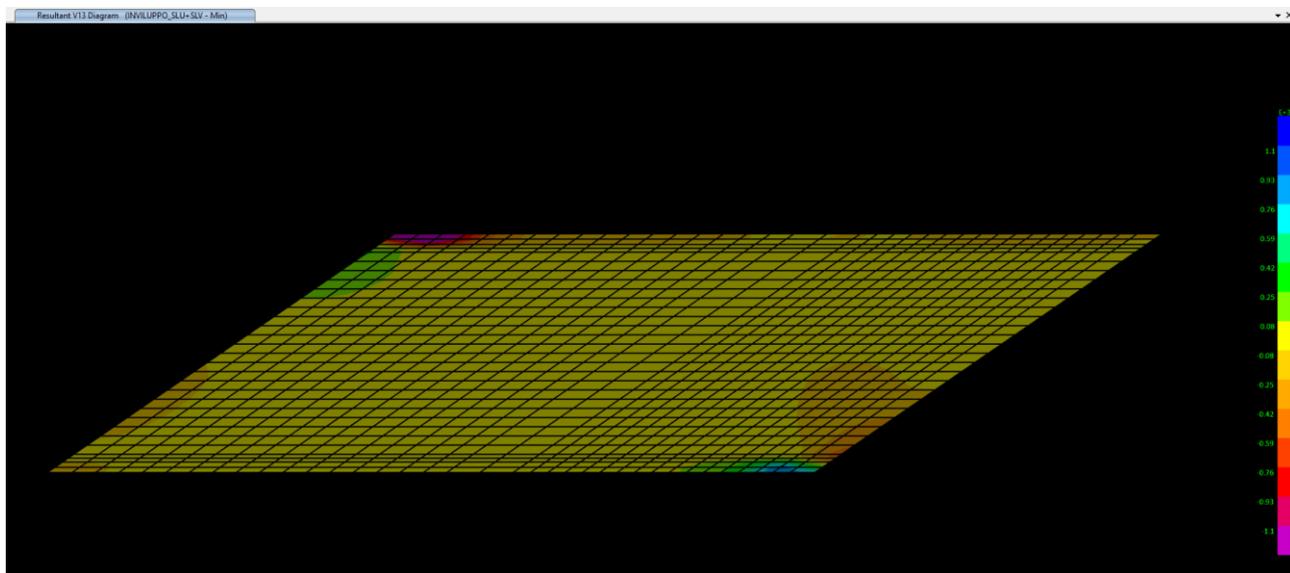


Inviluppo SLU-SLV_MIN

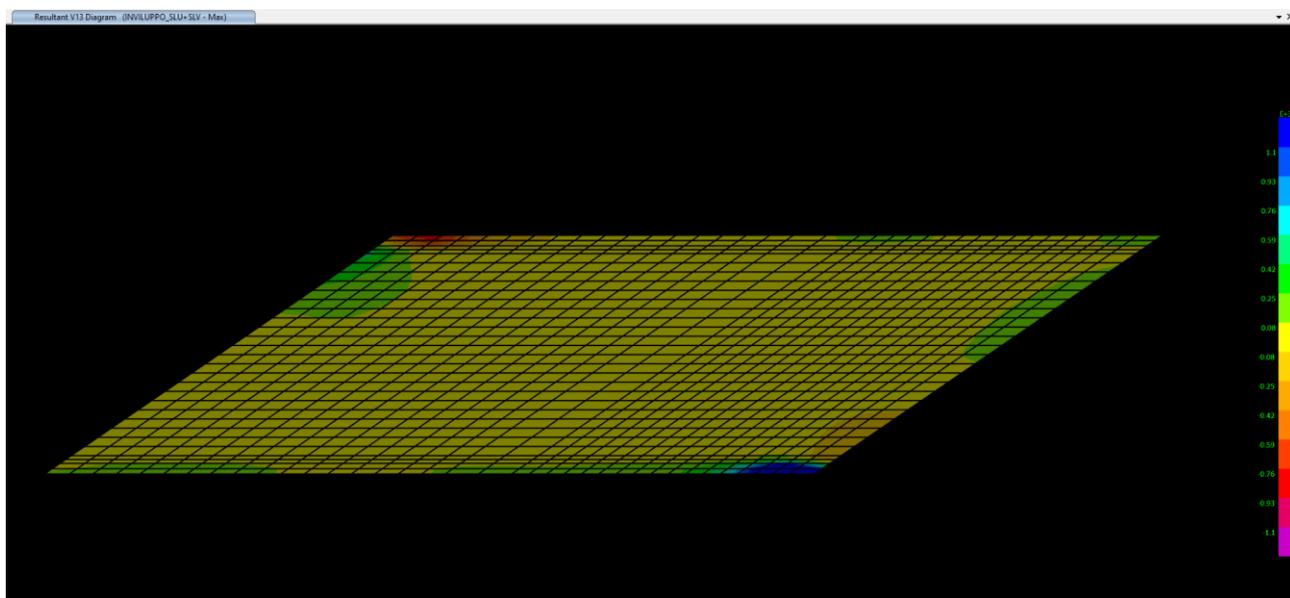


11.1.4 Taglio V13

Inviluppo SLU-SLV_MAX



Inviluppo SLU-SLV_MIN

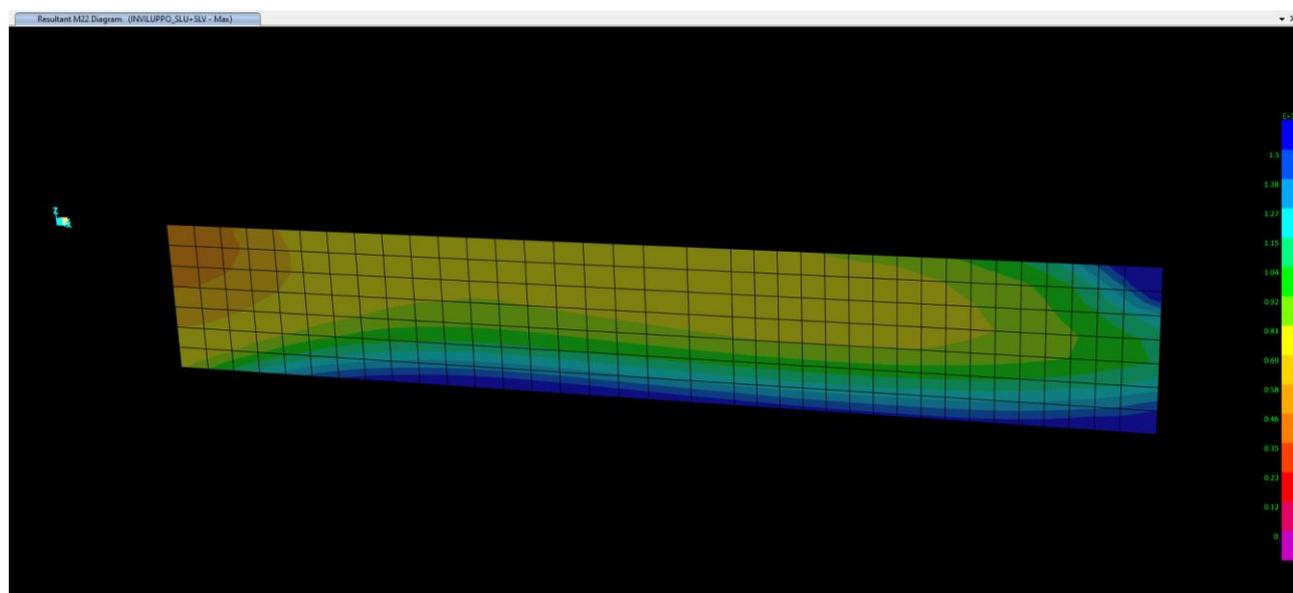


11.1 Ritti

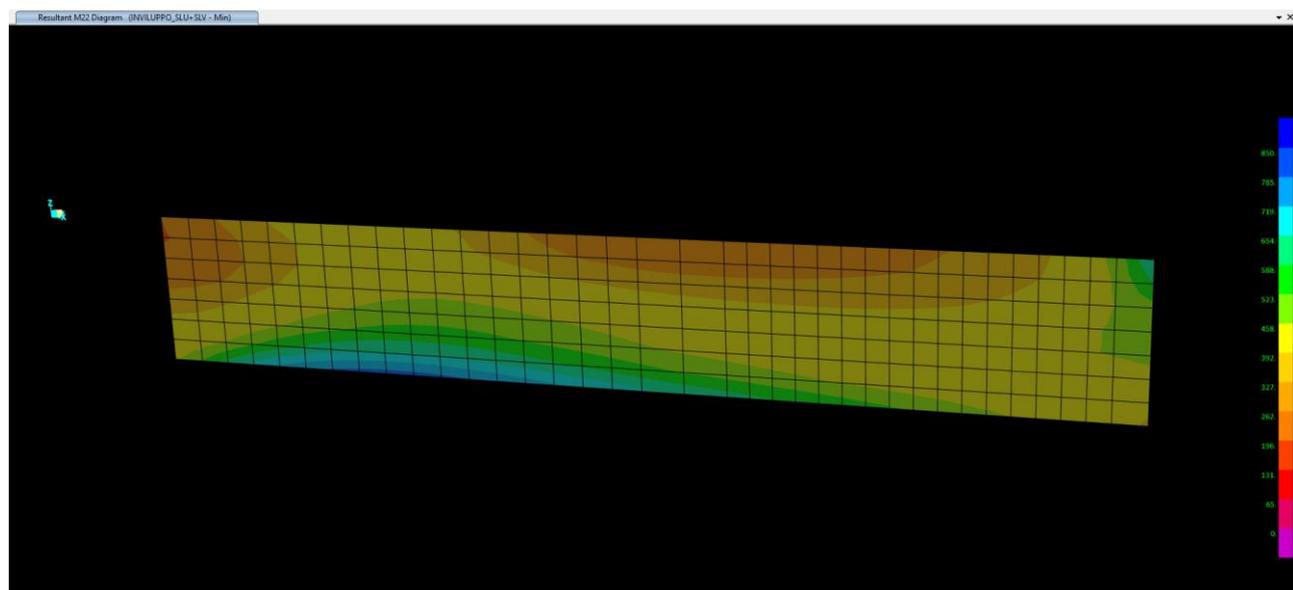
Si riportano le sollecitazioni sul ritto più sollecitato.

11.1.1 Momento flettente M22

Inviluppo SLU-SLV_MAX

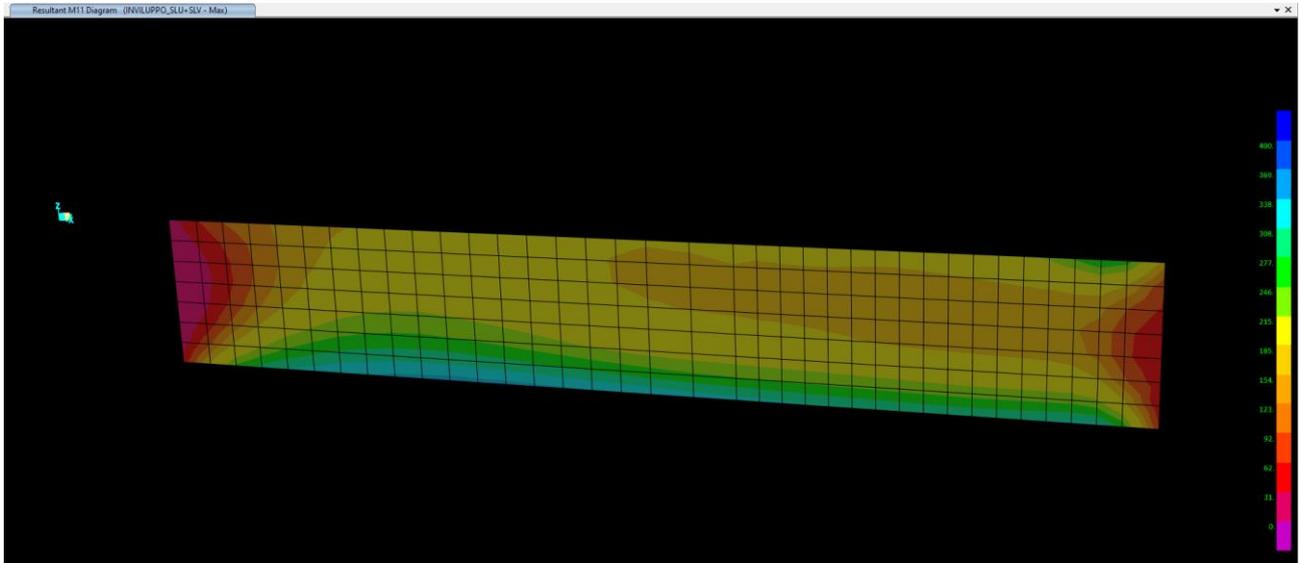


Inviluppo SLU-SLV_MIN

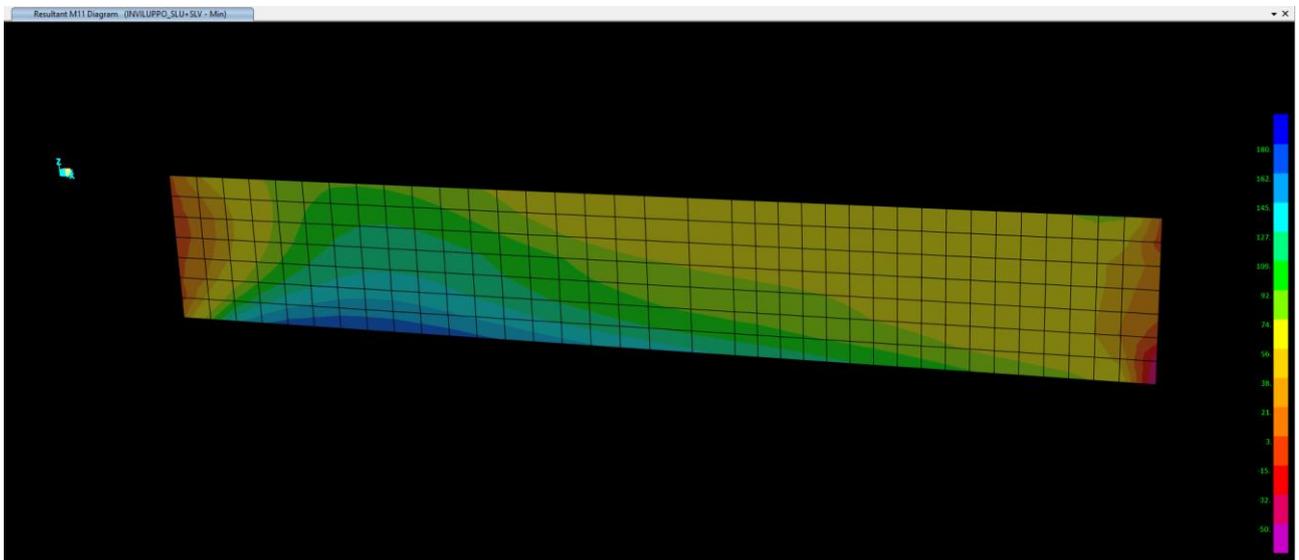


11.1.2 Momento flettente M11

Inviluppo SLU-SLV_MAX

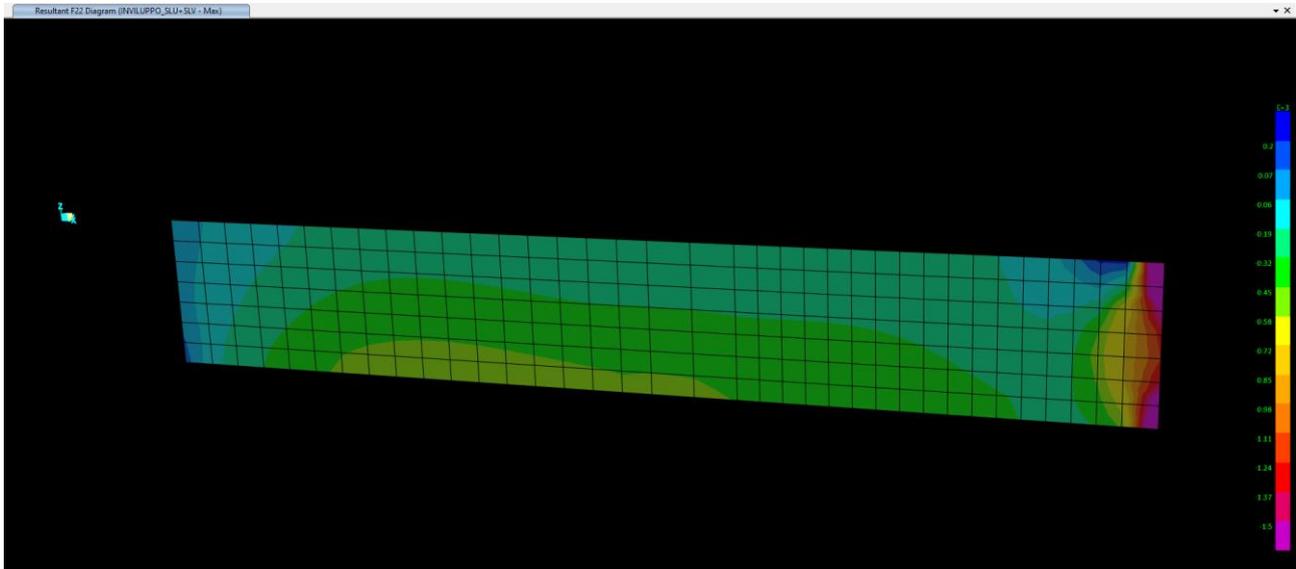


Inviluppo SLU-SLV_MIN

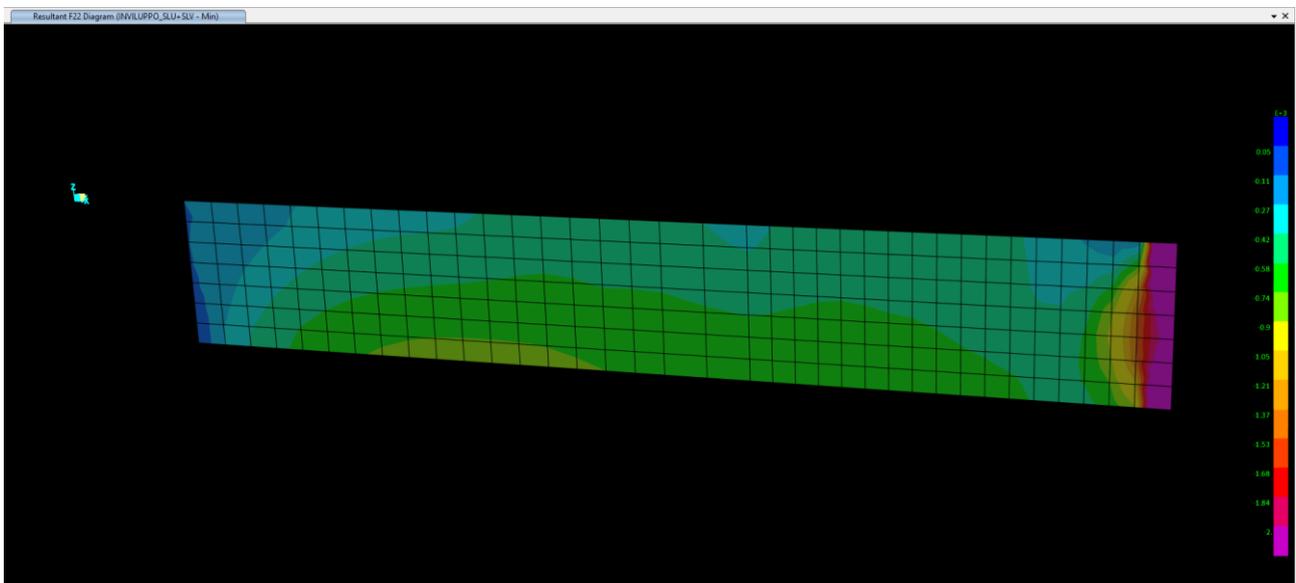


11.1.3 Sforzo normale F22

Inviluppo SLU-SLV_MAX

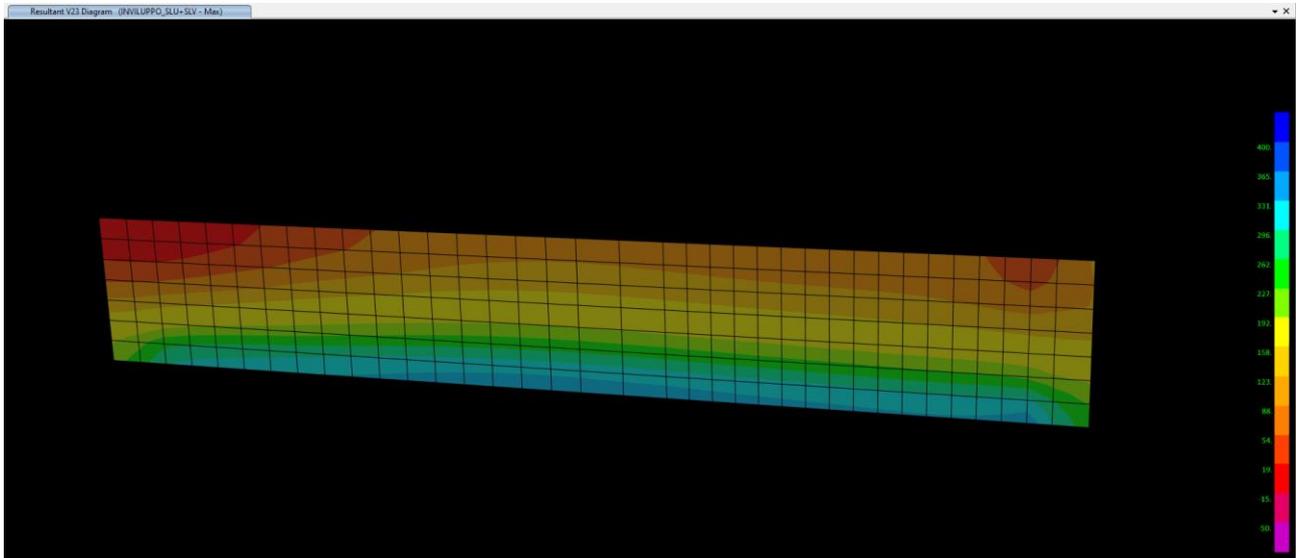


Inviluppo SLU-SLV_MIN

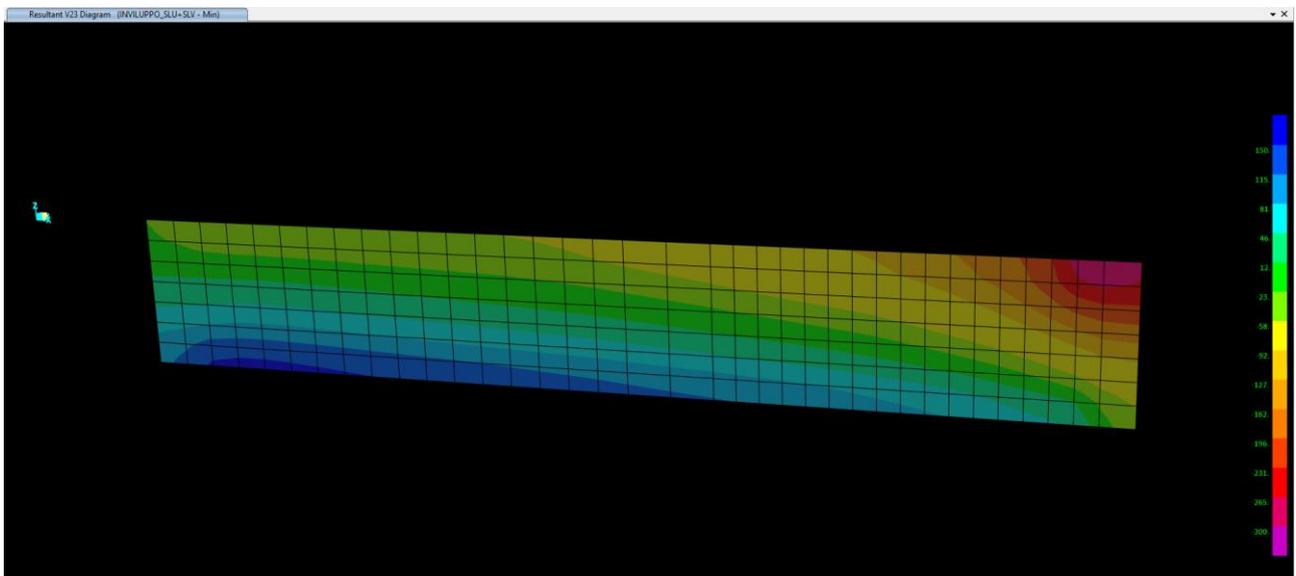


11.1.4 Taglio V23

Inviluppo SLU-SLV_MAX



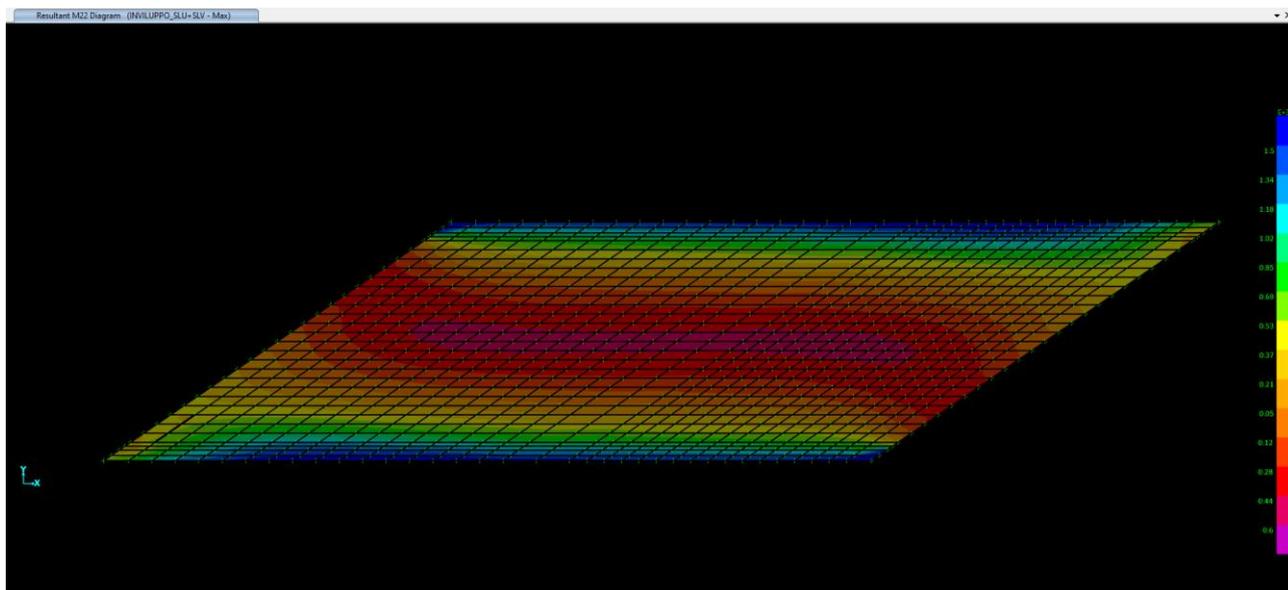
Inviluppo SLU-SLV_MIN



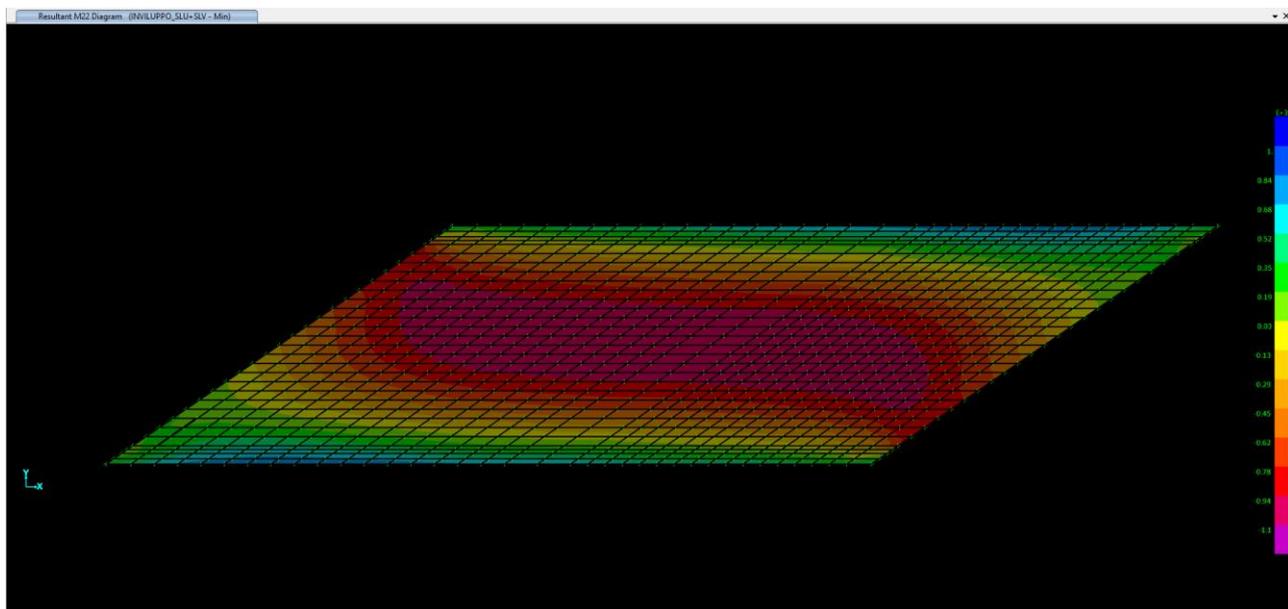
11.1 Soletta di fondazione

11.1.1 Momento flettente M22

Inviluppo SLU-SLV_MAX

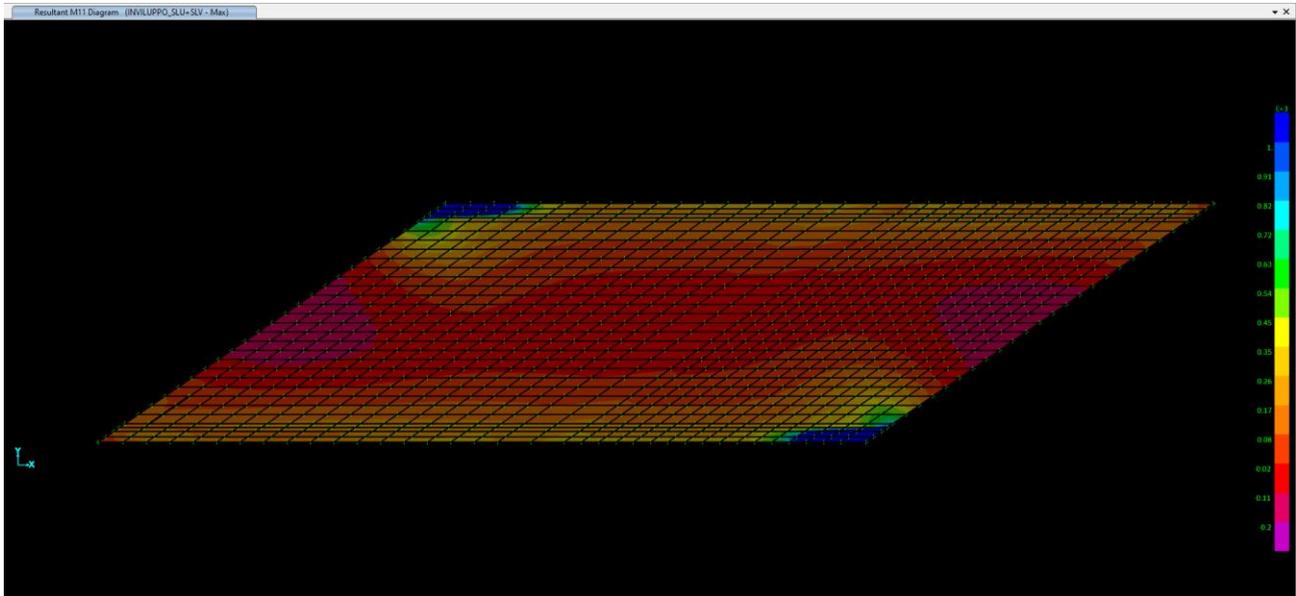


Inviluppo SLU-SLV_MIN

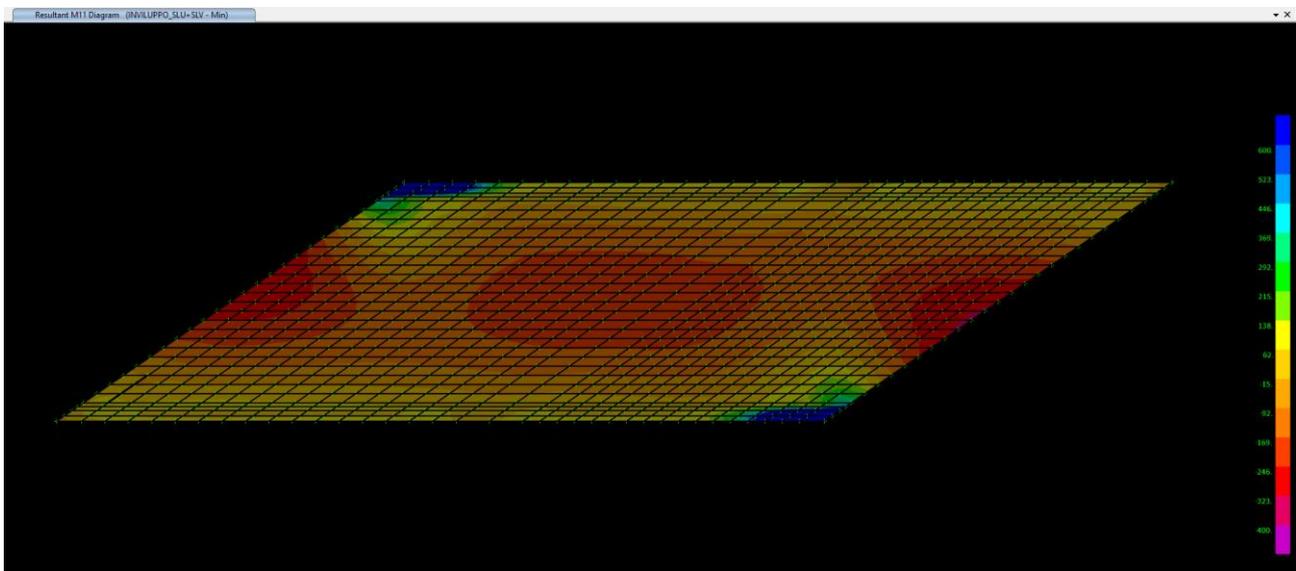


11.1.2 Momento flettente M11

Inviluppo SLU-SLV_MAX

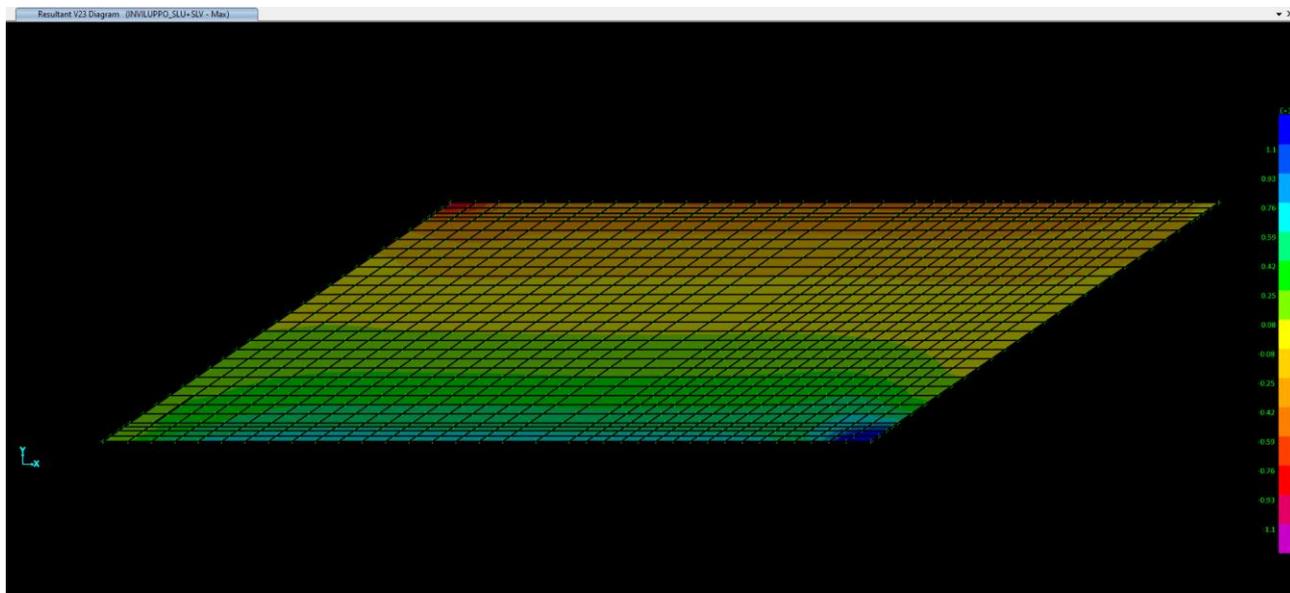


Inviluppo SLU-SLV_MIN

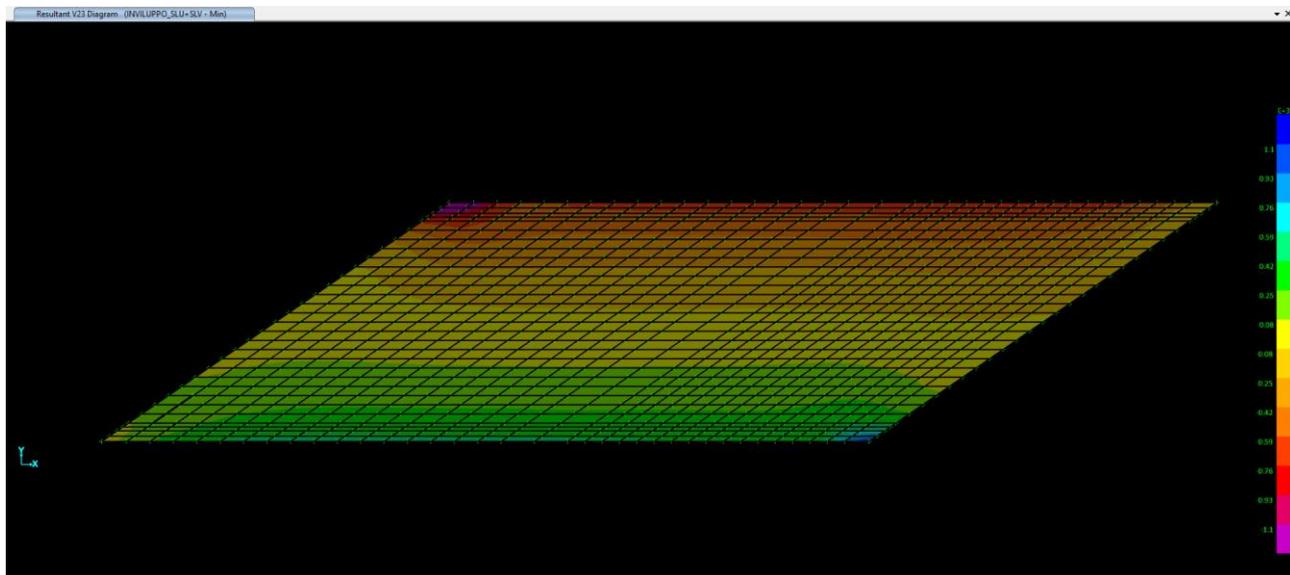


11.1.3 Taglio V23

Inviluppo SLU-SLV_MAX

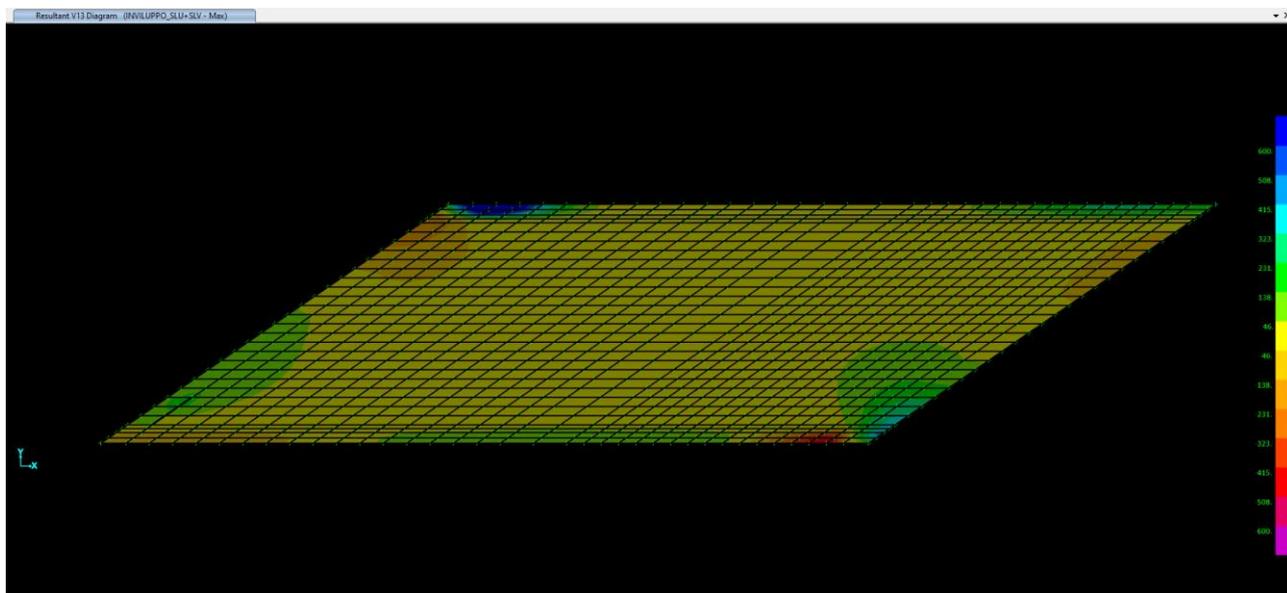


Inviluppo SLU-SLV_MIN

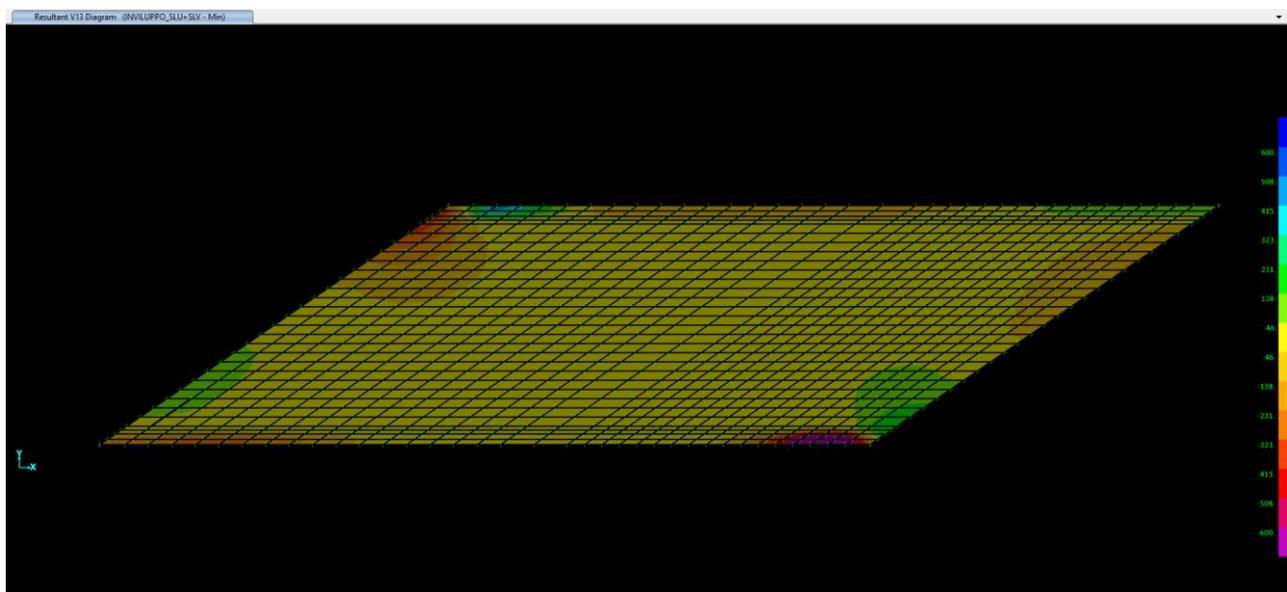


11.1.4 Taglio V13

Inviluppo SLU-SLV_MAX



Inviluppo SLU-SLV_MIN



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>	

12 SOLETTA SUPERIORE - VERIFICA STRUTTURALE

12.1 Sezione di verifica ed armatura di calcolo

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

Si sceglie di disporre le seguenti barre d'armatura:

- **Direzione trasversale (asse Y globale)**

Al lembo inferiore: 1 strato di $\phi 26 / 20$ correnti ($A_s = 26.55 \text{ cm}^2/\text{m}$), a cui si aggiunge un ulteriore strato di $\phi 26 / 20$ ($A_s = 26.55 \text{ cm}^2/\text{m}$) in corrispondenza della fascia centrale della soletta;

Al lembo superiore: 1 strato di $\phi 26 / 20$ correnti ($A_s = 26.55 \text{ cm}^2/\text{m}$), a cui si aggiunge un ulteriore strato di $\phi 26 / 20$ ($A_s = 26.55 \text{ cm}^2/\text{m}$) in corrispondenza della fascia della soletta adiacente ai ritzi verticali.

- **Direzione longitudinale (asse X globale)**

Al lembo inferiore: 1 strato di $\phi 26 / 20$ ($A_s = 26.55 \text{ cm}^2/\text{m}$) in corrispondenza della fascia della soletta adiacente ai bordi obliqui, che diventano $\phi 20 / 20$ ($A_s = 15.71 \text{ cm}^2/\text{m}$) nella zona interna della soletta;

Al lembo superiore: 1 strato di $\phi 26 / 20$ ($A_s = 26.55 \text{ cm}^2/\text{m}$) in corrispondenza della fascia della soletta adiacente ai bordi obliqui, che diventano $\phi 20 / 20$ ($A_s = 15.71 \text{ cm}^2/\text{m}$) nella zona interna della soletta.

12.2 Verifica allo Stato Limite Ultimo per flessione

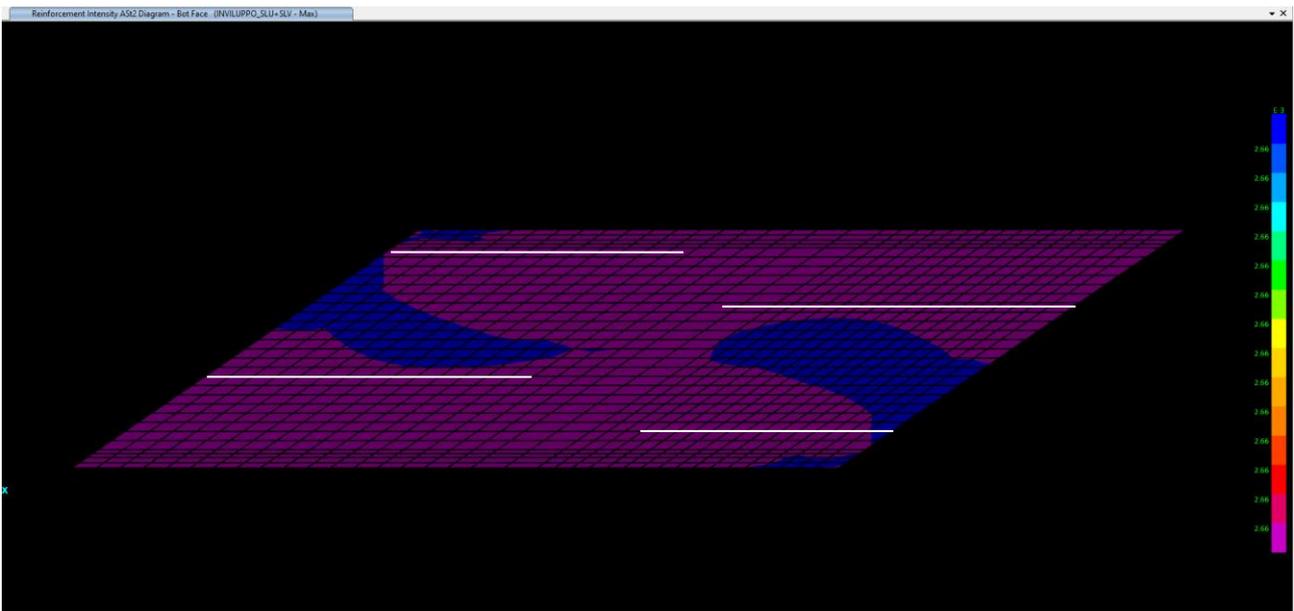
Le verifiche vengono svolte utilizzando direttamente il software di calcolo, che attraverso la funzione "Concrete Design", fornisce il quantitativo di armatura longitudinale al metro necessaria per il soddisfacimento della verifica. Confrontando il quantitativo di armatura corrispondente alle barre prescelte, si osserva dunque in automatico se tale quantitativo è sufficiente a soddisfare la verifica nelle varie zone della piastra in esame.

Ai fini delle verifiche, non si prendono in considerazione le zone in corrispondenza degli angoli tra i lati della soletta in cui si verificano picchi concentrati delle sollecitazioni e le zone a ridosso dei ritzi verticali (fino ad una distanza di circa un metro dal piano medio degli stessi).

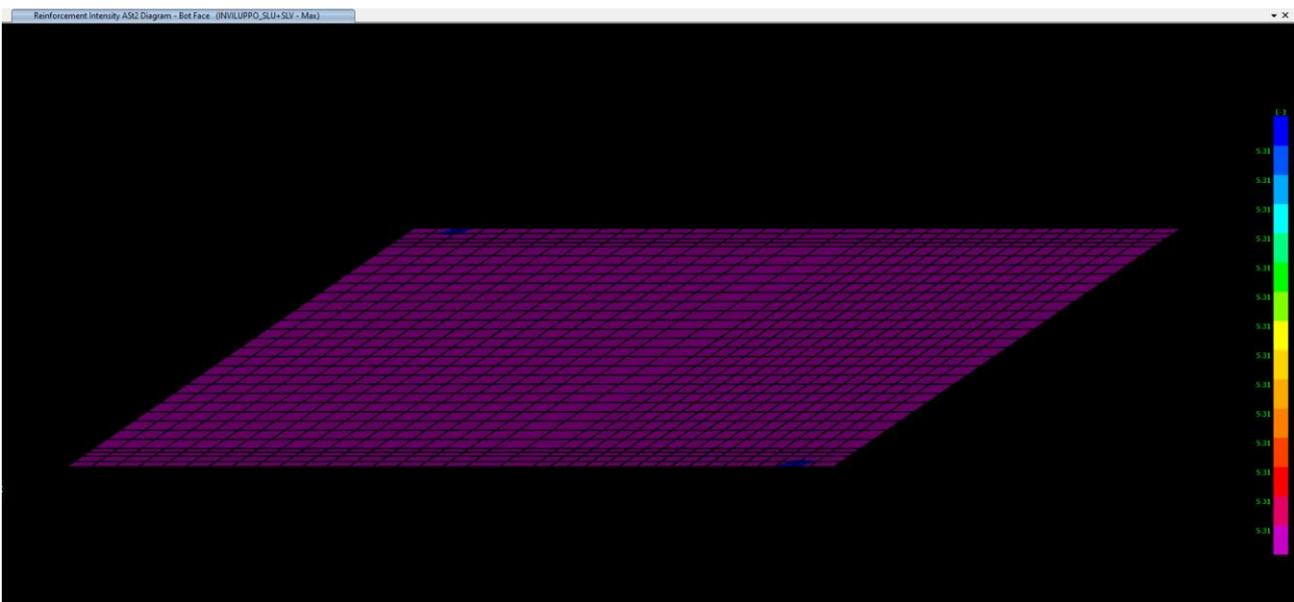
Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

12.2.1 Verifica armature in direzione trasversale (Y globale)

Considerando, al lembo inferiore, solo 1 strato di $\phi 26 / 20$ correnti, nella fascia centrale della soletta la verifica a flessione non risulta soddisfatta, come mostrato nell'immagine seguente, in cui è possibile individuare le zone che necessitano di un'armatura aggiuntiva.

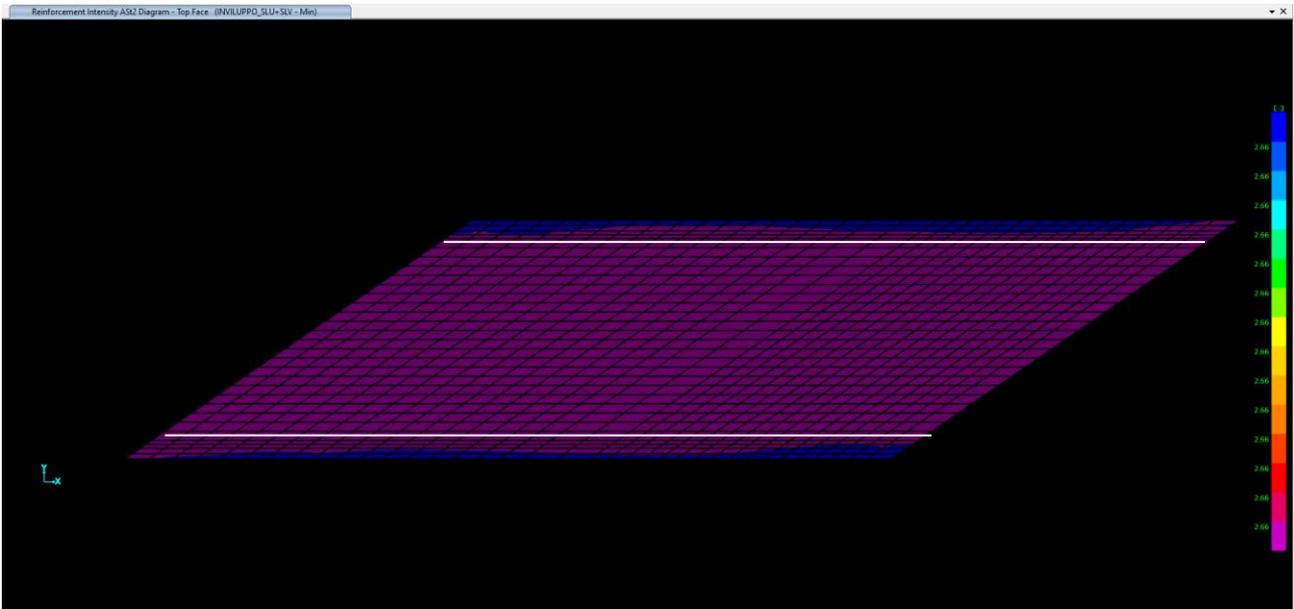


Inserendo in tale zona un ulteriore strato di $\phi 26 / 20$, la verifica a flessione risulta soddisfatta.

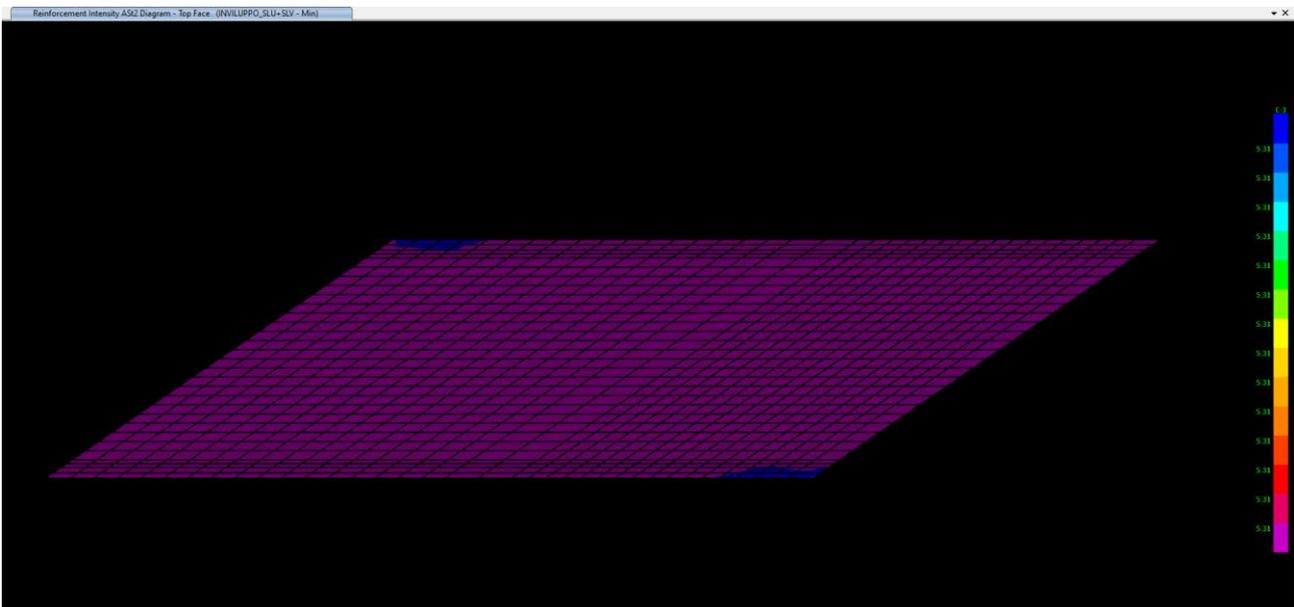


Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Al lembo superiore, considerando solo 1 strato di $\phi 26 / 20$ correnti, nella fascia della soletta adiacente ai ritzi verticali la verifica a flessione non risulta soddisfatta, come mostrato nell'immagine seguente.



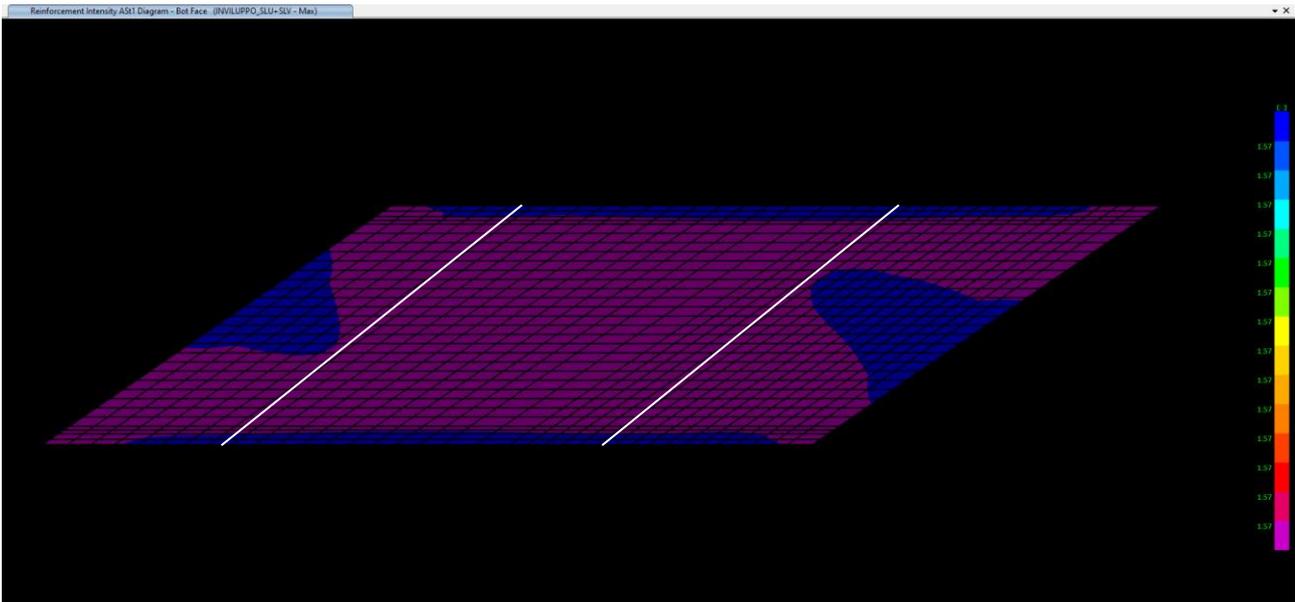
Inserendo in tale zona un ulteriore strato di $\phi 26 / 20$, la verifica a flessione risulta soddisfatta.



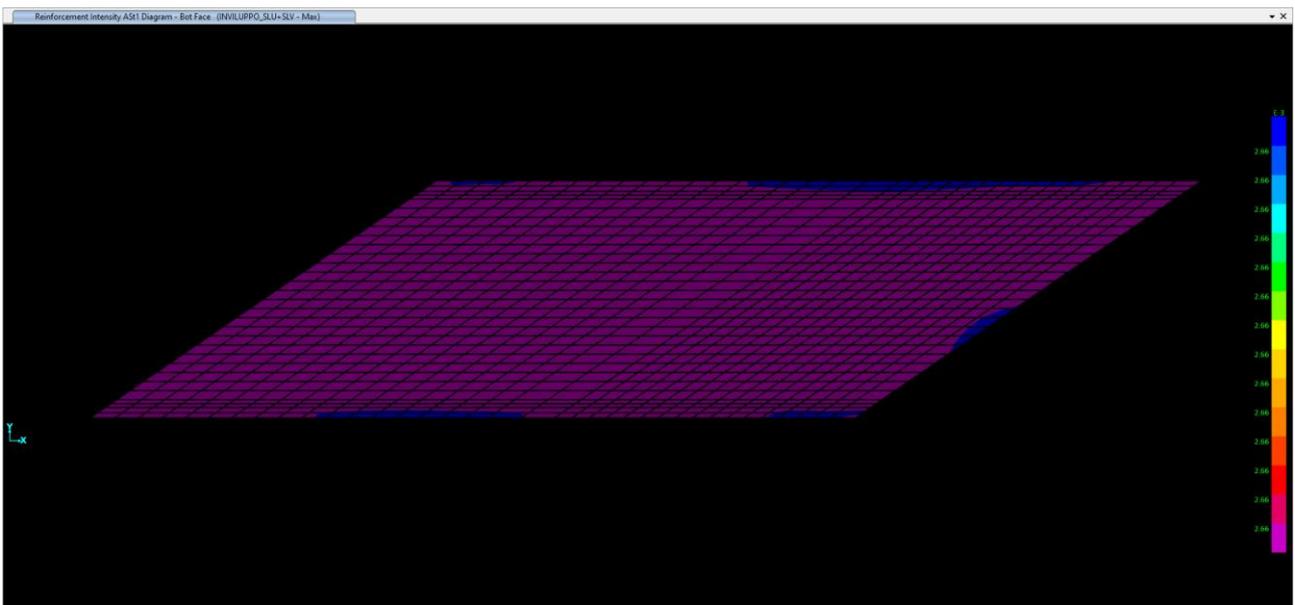
Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

12.2.2 Verifica armature in direzione longitudinale (X globale)

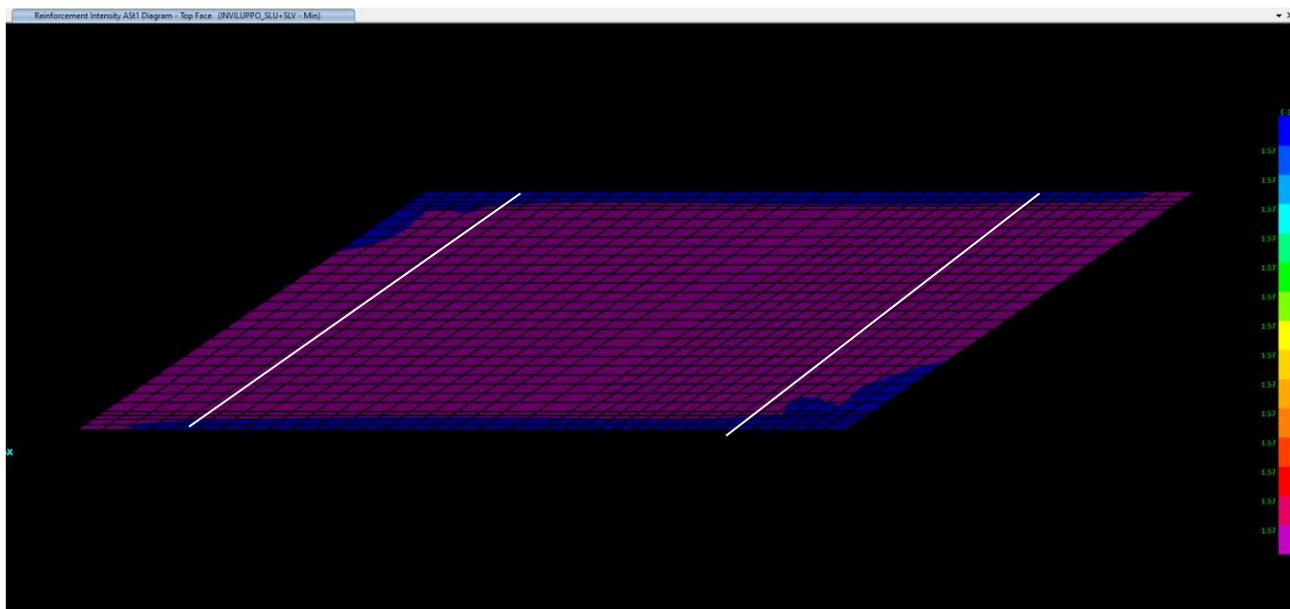
Considerando, al lembo inferiore, 1 strato di $\phi 20 / 20$ correnti, in corrispondenza della fascia della soletta adiacente ai bordi obliqui la verifica a flessione non risulta soddisfatta, come mostrato nell'immagine seguente.



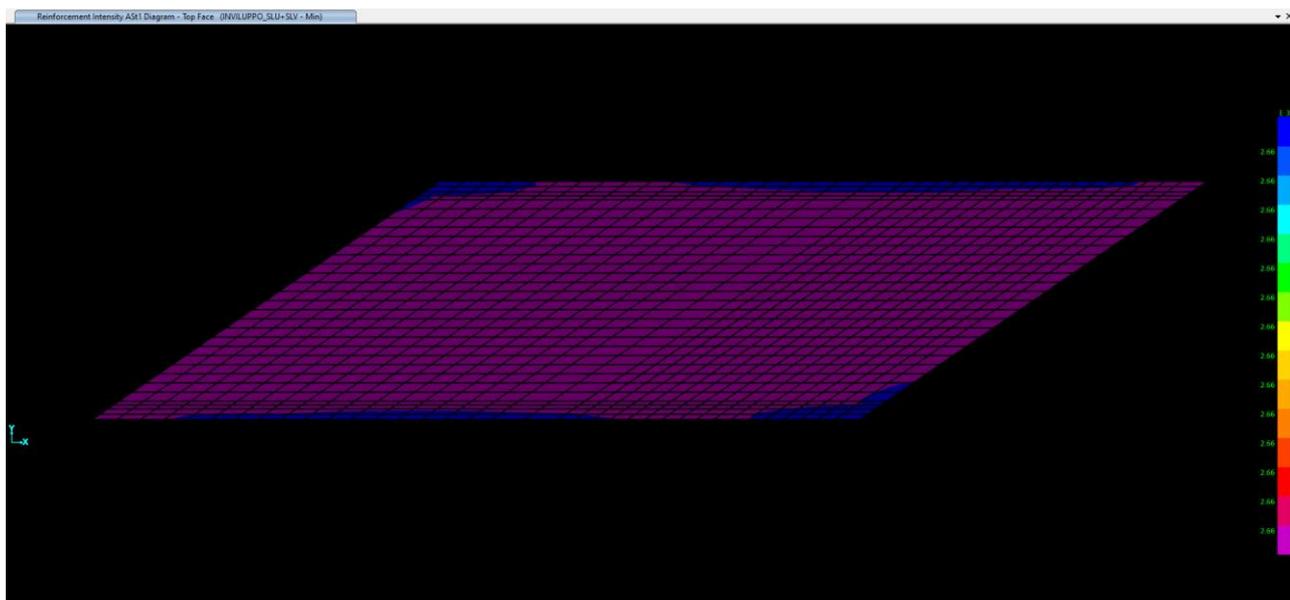
Se in tale zona si considera uno strato di $\phi 26 / 20$, la verifica a flessione risulta soddisfatta.



Al lembo superiore, considerando 1 strato di $\phi 20 / 20$ correnti, in alcune zone della fascia della soletta adiacente ai bordi obliqui la verifica a flessione non risulta soddisfatta, come mostrato nell'immagine seguente.



Considerando, invece, in tale zona uno strato di $\phi 26 / 20$, la verifica a flessione 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	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

12.1 Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio

12.1.1 Taglio V23

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

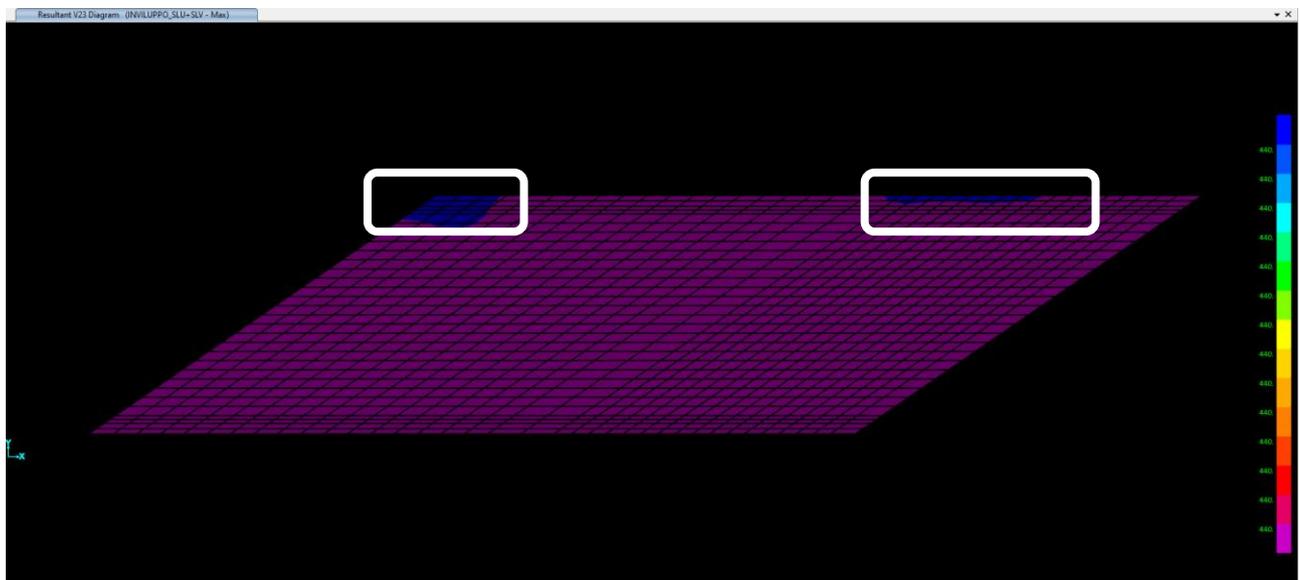
Viene dapprima il taglio resistente per elementi senza armature trasversali resistenti a taglio.

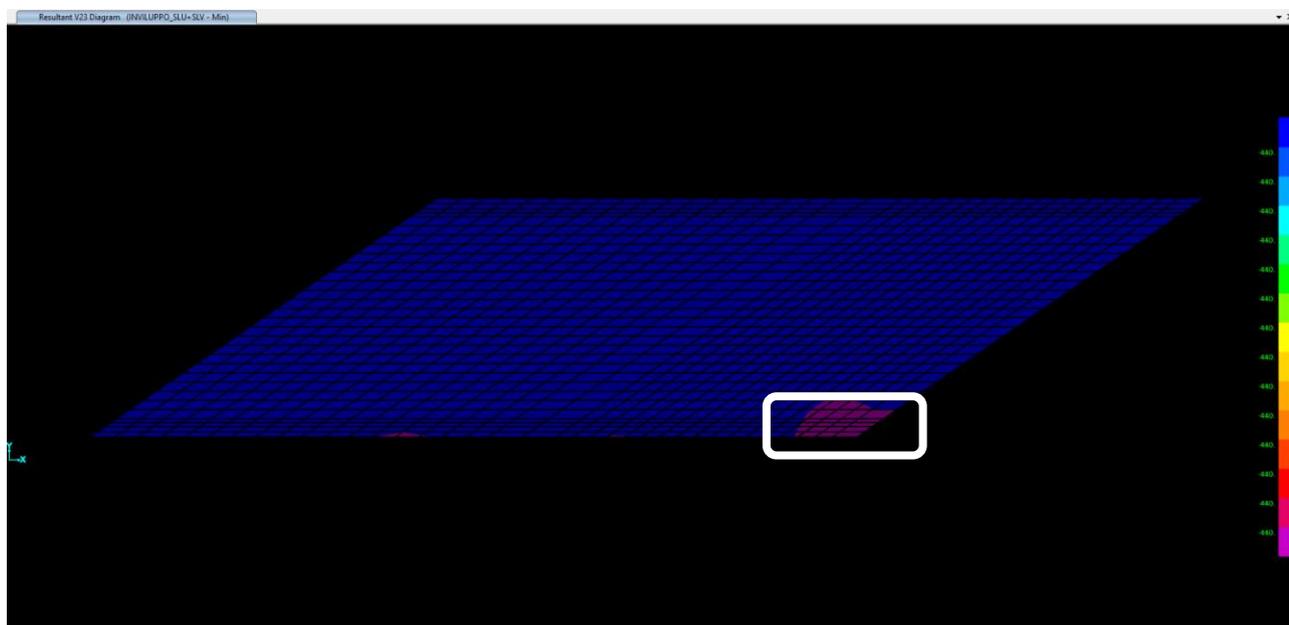
Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

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

larghezza sezione	b_w	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	1100
altezza utile sezione	d	[mm]	996
armatura longitudinale	A_{sl}	[mm ²]	5309
rapporto geometrico di armatura longitudinale (<0.02)	ρ_l		0.005
	k		1.448
	v_{min}	[MPa]	0.345
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]	446

Come è possibile osservare nelle immagini seguenti, le zone della soletta adiacenti ai ritzi verticali presentano valori del taglio sollecitante maggiori del taglio resistente calcolato.



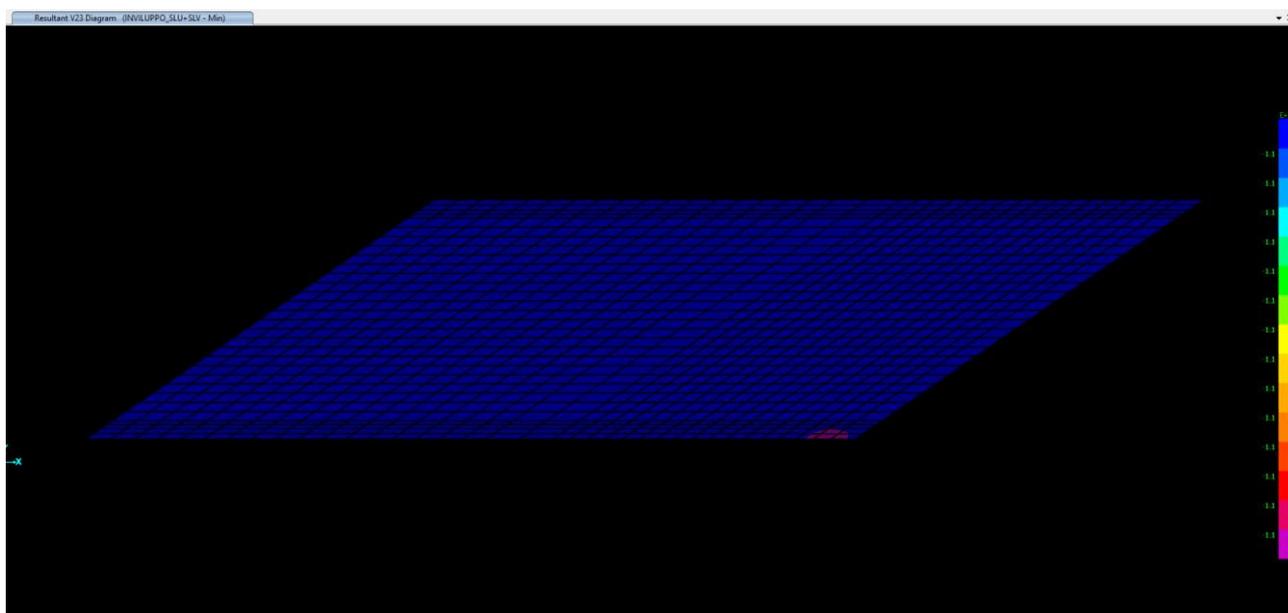
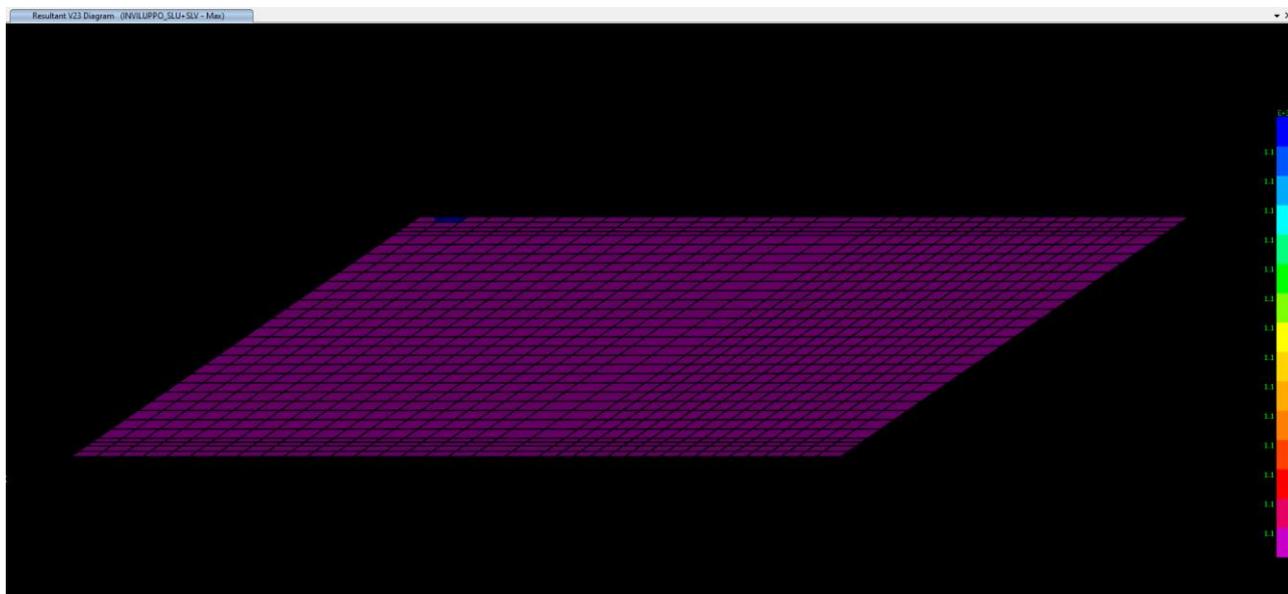


Poiché la verifica non è soddisfatta, si decide di inserire un'armatura a taglio costituita da spille $\phi 16/40 \times 40$.

Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

larghezza sezione	b_w	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	1100
altezza utile sezione	d	[mm]	996
numero armature trasversali	$n^\circ \emptyset$		2.50
diametro armature trasversali	\emptyset	[mm]	16
interasse armature trasversali	s	[mm]	400
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
	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]	1102
resistenza a compressione del cls ridotta	f_{cd}'	[MPa]	9.1
resistenza a taglio compressione	V_{Rcd}	[kN]	2802
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	1102

La verifica a taglio risulta ora soddisfatta, come si evince dalle immagini seguenti, in cui non si osservano zone con taglio sollecitante maggiore del taglio resistente.



12.1.2 Taglio V13

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

Viene dapprima il taglio resistente per elementi senza armature trasversali resistenti a taglio.

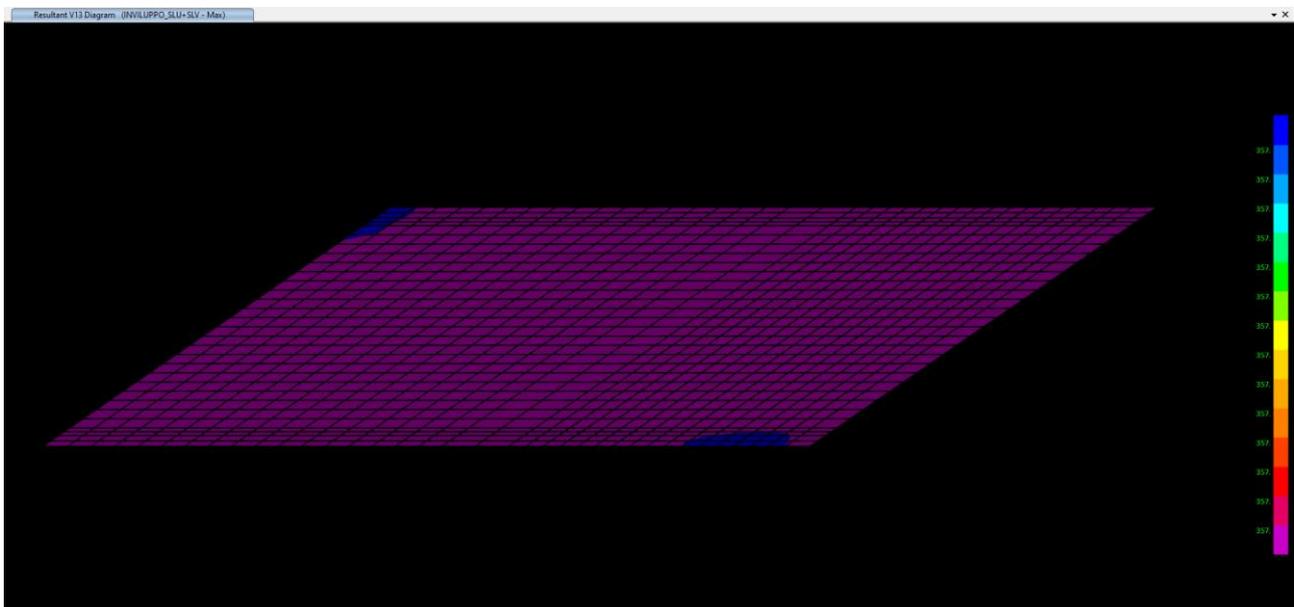
Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

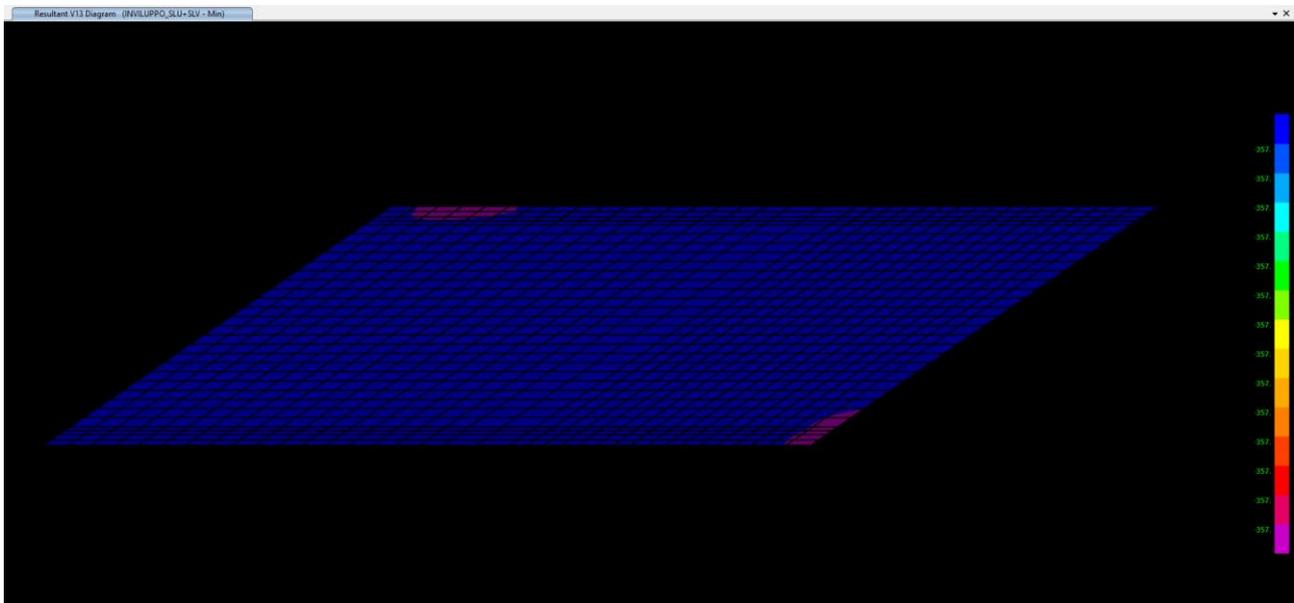
Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

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

larghezza sezione	b_w	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	1100
altezza utile sezione	d	[mm]	1045
armatura longitudinale	A_{sl}	[mm ²]	1571
rapporto geometrico di armatura longitudinale (<0.02)	ρ_l		0.002
	k		1.437
	v_{min}	[MPa]	0.341
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]	357

Come osservabile nelle immagini seguenti, la verifica a taglio senza armature trasversali si può ritenere soddisfatta. In ogni caso, essendo comunque prevista un'armatura a taglio costituita da spille $\Phi 16/40 \times 40$, la verifica risulterà ulteriormente soddisfatta.





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.

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, che corrispondono ai massimi momenti positivi e negativi in entrambe le direzioni; i massimi momenti positivi si hanno in campata, mentre i massimi momenti negativi si hanno nella zona adiacente ai ritzi verticali (si considerano i momenti al di fuori della zona degli angoli tra i lati e ad una distanza di circa 1 metro dall'asse dei ritzi).

SLE_frequente		SLE_QP	
M22 [kNm/m]	M11 [kNm/m]	M22 [kNm/m]	M11 [kNm/m]
632	350	520	270
-590	-420	-440	-310

Tabella 1: Sollecitazioni di verifica

Le verifiche a fessurazione vengono eseguite mediante il software RC-SEC.

12.1.1 Momento M22 positivo massimo

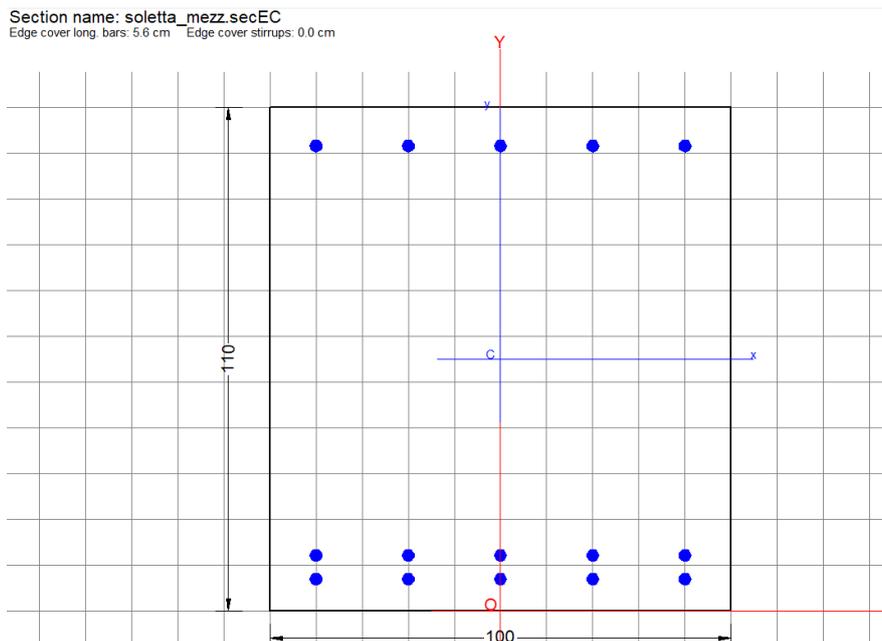
GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: soletta_mezz.secEC

(File path: \\SERVER-NEW\Scambio Breng\BR21_01_PE_ANAS_SS291_CA29\WIP\Calcoli\Sottovia Ungias\RC-SEC\soletta_mezz.secEC)

Section description:

Section type: Beam
Reference code: EC2/EC8 Italian Annex
Exposure Class: XC3 - Carbonation (Moderate humidity)
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



CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

MATERIALS DATA

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-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 Characteristic comb.:	19.2	kN/cm ²
	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
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
	SLS Charact. - Ss Limit:	360.00	MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region:	Polygonal
Concrete Class:	C32/40
Vertex N.:	X [cm] Y [cm]
1	50.0 110.0
2	50.0 0.0
3	-50.0 0.0
4	-50.0 110.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	40.0	101.6	26
2	20.0	101.6	26
3	0.0	101.6	26
4	-20.0	101.6	26
5	-40.0	101.6	26
6	40.0	12.1	26
7	20.0	12.1	26
8	0.0	12.1	26
9	-20.0	12.1	26
10	-40.0	12.1	26
11	40.0	6.9	26
12	20.0	6.9	26
13	0.0	6.9	26
14	-20.0	6.9	26
15	-40.0	6.9	26

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

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	

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	632.00 (767.09)	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	520.00 (767.09)	0.00 (0.00)

SLS FREQUENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00075	0	0.500	26.0	0.00041 (0.00041)	386	0.158 (0.40)	767.09	0.00

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

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00061	0	0.500	26.0	0.00034 (0.00034)	386	0.130 (0.30)	767.09	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 (Web)	0.65	0.39	5350	74.19	0.67	1.50	---	53.1	11.5
1	Quasi-perm.	1 (Web)	0.65	0.40	5350	61.05	0.55	1.50	---	53.1	11.6

12.1.2 Momento M22 negativo massimo

GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

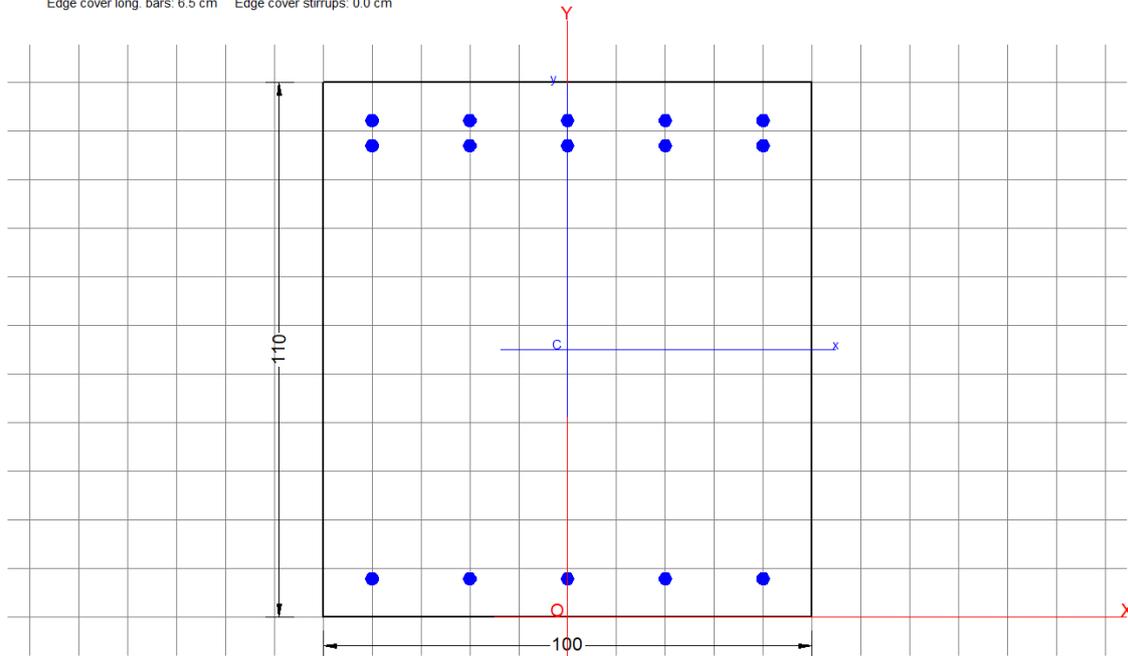
Section Name: soletta_app.secEC

(File path: \\SERVER-NEW\Scambio Breng\BR21_01_PE_ANAS_SS291_CA29\WIP\Calcoli\Sottovia Ungias\RC-SEC\soletta_app.secEC)

Section description:
 Section type: Beam
 Reference code: EC2/EC8 Italian Annex
 Exposure Class: XA1 - Chemical attack (slight 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: soletta_app.secEC
 Edge cover long. bars: 6.5 cm Edge cover stirrups: 0.0 cm



MATERIALS DATA

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-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 Characteristic comb.:	19.2 kN/cm ²
	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
	SLS Charact. - Ss Limit:	360.00 MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C32/40

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	50.0	110.0

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

2	50.0	0.0
3	-50.0	0.0
4	-50.0	110.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	40.0	97.0	26
2	20.0	97.0	26
3	0.0	97.0	26
4	-20.0	97.0	26
5	-40.0	97.0	26
6	40.0	102.2	26
7	20.0	102.2	26
8	0.0	102.2	26
9	-20.0	102.2	26
10	-40.0	102.2	26
11	40.0	7.8	26
12	20.0	7.8	26
13	0.0	7.8	26
14	-20.0	7.8	26
15	-40.0	7.8	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	-590.00 (-763.75)	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	-440.00 (-763.75)	0.00 (0.00)

SLS FREQUENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00071	0	0.500	26.0	0.00038 (0.00038)	437	0.168 (0.30)	-763.75	0.00

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

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00053	0	0.500	26.0	0.00029 (0.00029)	437	0.125 (0.20)	-763.75	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

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

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 [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 (Web)	0.65	0.40	5350	65.71	0.60	1.50	---	53.1	11.5
1	Quasi-perm.	1 (Web)	0.65	0.40	5350	49.00	0.45	1.50	---	53.1	11.6

12.1.3 M11 positivo massimo

GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

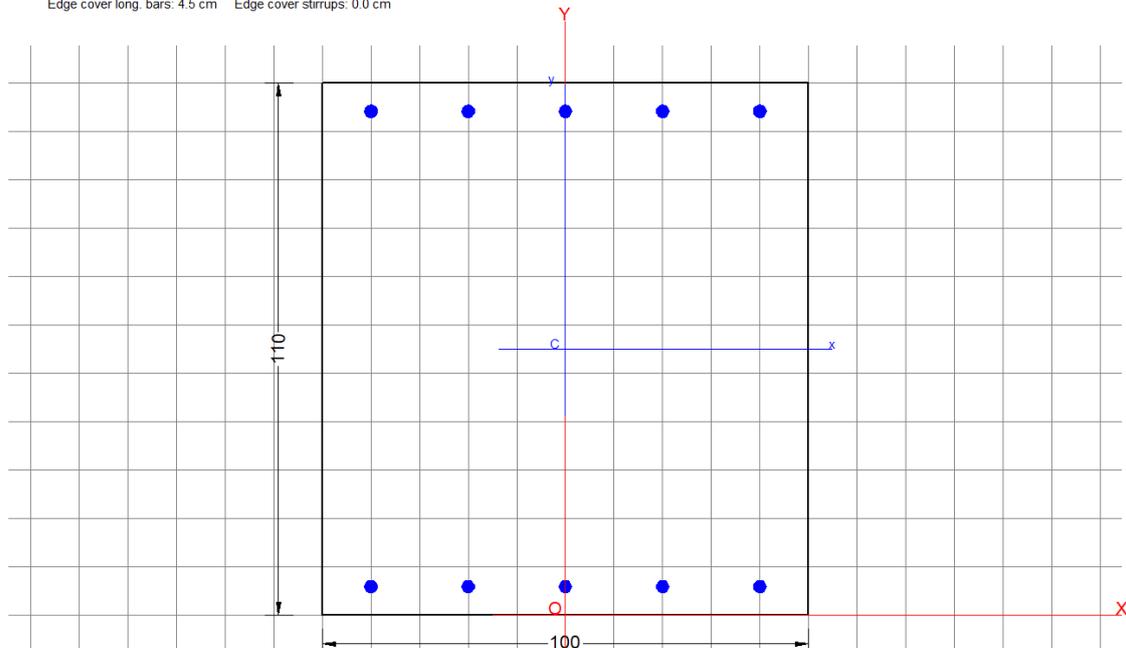
Section Name: soletta_mezz_M11.secEC

(File path: \\SERVER-NEW\ Scambio Brengl\BR21_01_PE_ANAS_SS291_CA29\WIP\Calcoli\Sottovia Ungias\RC-SEC\soletta_mezz_M11.secEC)

Section description:

Section type:	Beam
Reference code:	EC2/EC8 Italian Annex
Exposure Class:	XC3 - Carbonation (Moderate humidity)
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: soletta_mezz_M11.secEC
Edge cover long. bars: 4.5 cm Edge cover stirrups: 0.0 cm



MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C32/40
	Design compressive strength fcd:	18.1 MPa
	Shear reduced compressive strenght v1*fcd:	9.1 MPa (6.9)EC2

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

Strain at max strength ϵ_{c2} :	0.0020
Ultimate strain ϵ_{cu} :	0.0035
Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rettangle
Mean Elastic Modulus E_{cm} :	33345.8 MPa
Mean tensile strength f_{ctm} :	3.0 MPa
E_s/E_c in SLS combination:	15.00
Stress limit in SLS Characteristic comb.:	19.2 kN/cm ²
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

STEEL -	Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C
	Characteristic yield stress f_{yk} :	450.00 MPa
	Tensile strength f_{tk} :	540.0 MPa
	Design yield stress f_{yd} :	391.3 MPa
	Design strength f_{td} :	391.3 MPa
	Design ultimate strain ϵ_{su} :	0.068
	Mean elastic modulus E_s :	200000.0 MPa
	SLS Charact. - S_s Limit:	360.00 MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
Concrete Class: C32/40

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	50.0	110.0
2	50.0	0.0
3	-50.0	0.0
4	-50.0	110.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	40.0	104.2	26
2	20.0	104.2	26
3	0.0	104.2	26
4	-20.0	104.2	26
5	-40.0	104.2	26
6	40.0	5.8	26
7	20.0	5.8	26
8	0.0	5.8	26
9	-20.0	5.8	26
10	-40.0	5.8	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	350.00 (715.79)	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)

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	

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	270.00 (715.79)	0.00 (0.00)

SLS FREQUENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00073	0	0.500	26.0	0.00041 (0.00041)	394	0.161 (0.40)	715.79	0.00

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

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00056	0	0.500	26.0	0.00031 (0.00031)	394	0.124 (0.30)	715.79	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 (Web)	0.65	0.40	5500	0.00	0.00	0.61	---	26.5	12.0
1	Quasi-perm.	1 (Web)	0.65	0.40	5500	0.00	0.00	1.50	---	26.5	12.0

12.1.4 M11 negativo massimo

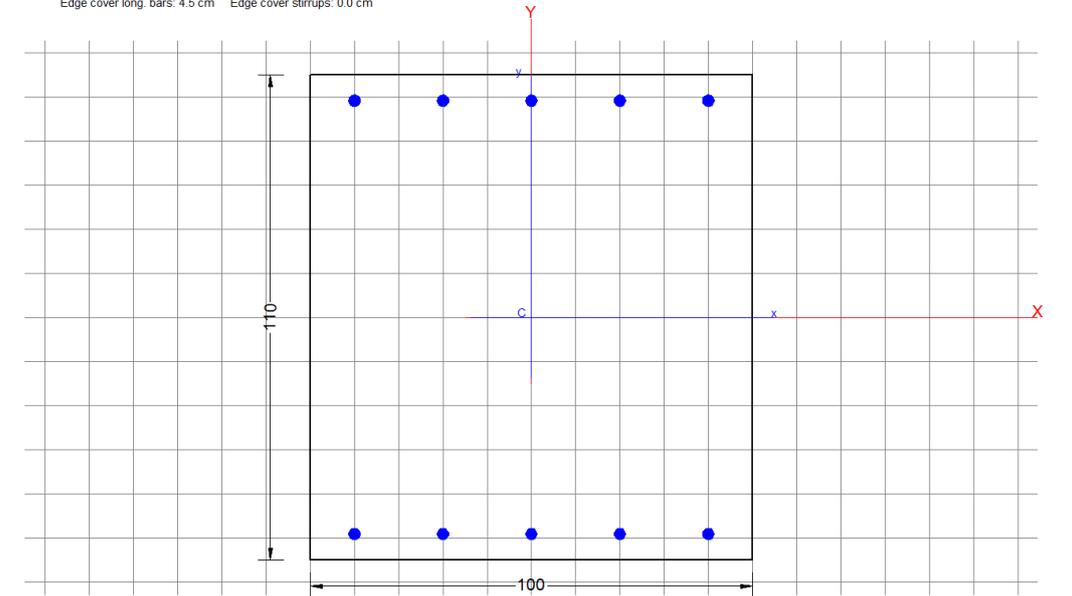
GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: soletta_app_M11.secEC

(File path: \\SERVER-NEW\Scambio Breng\BR21_01_PE_ANAS_SS291_CA29\WIP\Calcoli\Sottovia Ungias\RC-SEC\soletta_app_M11.secEC)

Section description:	
Section type:	Beam without stirrups
Reference code:	EC2/EC8 Italian Annex
Exposure Class:	XA1 - Chemical attack (slight 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: soletta_app_M11.secEC
 Edge cover long. bars: 4.5 cm Edge cover stirrups: 0.0 cm



MATERIALS DATA

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 Characteristic comb.:	19.2 kN/cm ²
	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
	SLS Charact. - Ss Limit:	360.00 MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C32/40

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	50.0	55.0
2	50.0	-55.0
3	-50.0	-55.0
4	-50.0	55.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	40.0	49.2	26
2	20.0	49.2	26
3	0.0	49.2	26
4	-20.0	49.2	26
5	-40.0	49.2	26
6	40.0	-49.2	26
7	20.0	-49.2	26
8	0.0	-49.2	26
9	-20.0	-49.2	26
10	-40.0	-49.2	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	-420.00 (-715.79)	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	-310.00 (-715.79)	0.00 (0.00)

SLS FREQUENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00087	0	0.500	26.0	0.00049 (0.00049)	394	0.193 (0.30)	-715.79	0.00

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

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00064	0	0.500	26.0	0.00036 (0.00036)	394	0.142 (0.20)	-715.79	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 (Web)	0.65	0.40	5500	0.00	0.00	1.50	---	26.5	12.0
1	Quasi-perm.	1 (Web)	0.65	0.40	5500	0.00	0.00	1.50	---	26.5	12.0

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>	

12.2 Verifiche allo stato limite di limitazione delle tensioni

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

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

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

Le verifiche tensionali vengono eseguite mediante il software RC-SEC.

Si riportano le sollecitazioni di verifica, che corrispondono ai massimi momenti positivi e negativi in entrambe le direzioni; i massimi momenti positivi si hanno in campata, mentre i massimi momenti negativi si hanno nella zona adiacente ai ritti verticali (si considerano i momenti al di fuori della zona degli angoli tra i lati e ad una distanza di circa 1 metro dall'asse dei ritti).

SLE_rara		SLE_QP	
M22 [kNm/m]	M11 [kNm/m]	M22 [kNm/m]	M11 [kNm/m]
730	440	520	270
-650	-460	-440	-310

Tabella 2: Sollecitazioni di verifica

12.2.1 Momento M22 positivo massimo

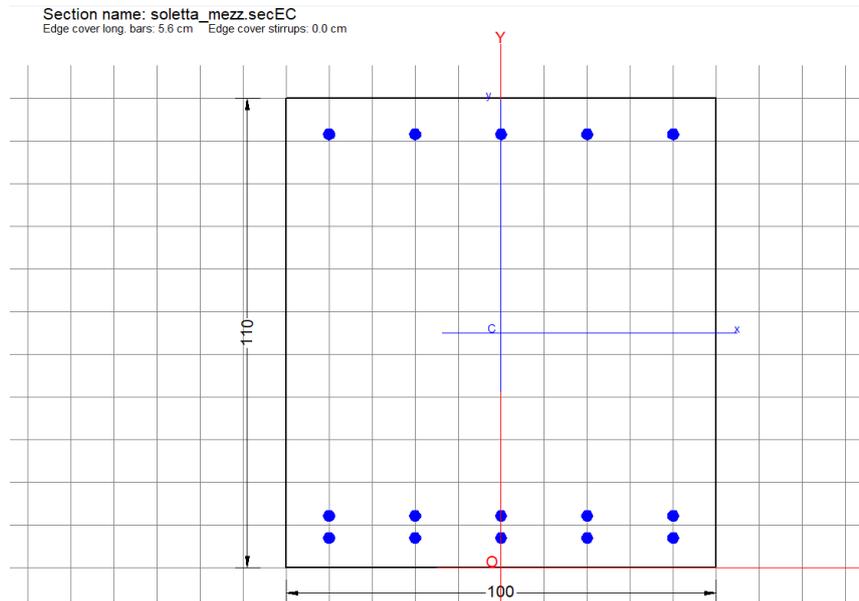
GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: soletta_mezz.secEC

(File path: \\SERVER-NEW\Scambio Breng\BR21_01_PE_ANAS_SS291_CA29\WIP\Calcoli\Sottovia Ungias\RC-SEC\soletta_mezz.secEC)

Section description:

Section type:	Beam
Reference code:	EC2/EC8 Italian Annex
Exposure Class:	XC3 - Carbonation (Moderate humidity)
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



MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C32/40
	Design compressive strength fcd:	18.1 MPa
	Shear reduced compressive strenght $v1 \cdot fcd$:	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 Characteristic comb.:	19.2 kN/cm ²
	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

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
	SLS Charact. - Ss Limit:	360.00 MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C32/40

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	50.0	110.0
2	50.0	0.0
3	-50.0	0.0
4	-50.0	110.0

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	40.0	101.6	26
2	20.0	101.6	26
3	0.0	101.6	26
4	-20.0	101.6	26
5	-40.0	101.6	26
6	40.0	12.1	26
7	20.0	12.1	26
8	0.0	12.1	26
9	-20.0	12.1	26
10	-40.0	12.1	26
11	40.0	6.9	26
12	20.0	6.9	26
13	0.0	6.9	26
14	-20.0	6.9	26
15	-40.0	6.9	26

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC 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	730.00	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	520.00 (767.09)	0.00 (0.00)

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete: Not considered in any case
Check Result of Check
Reg Number of current concrete sub-region of the cross section
Sc max (Sc lim) Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
Xc max, Yc max X-coordinae, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
Ss min (Ss lim) Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa], Code limit stress is shown between brackets
Xs min, Ys min X-coordinae, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
Ac eff Effective tension area [cm²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
As eff Area of tension steel bars [cm²] within Ac eff (for crack width control)
r eff Geometrical ratio Ac eff/Ac eff [eq.(7.10) Ec2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	4.43 (19.2)	0.0	0.0	-157.3 (360.0)	-40.0	6.9	2350	53.1	0.023

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	3.15 (14.4)	0.0	0.0	-112.0 (360.0)	-40.0	6.9	2350	53.1	0.023

12.2.2 M22 negativo massimo

GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

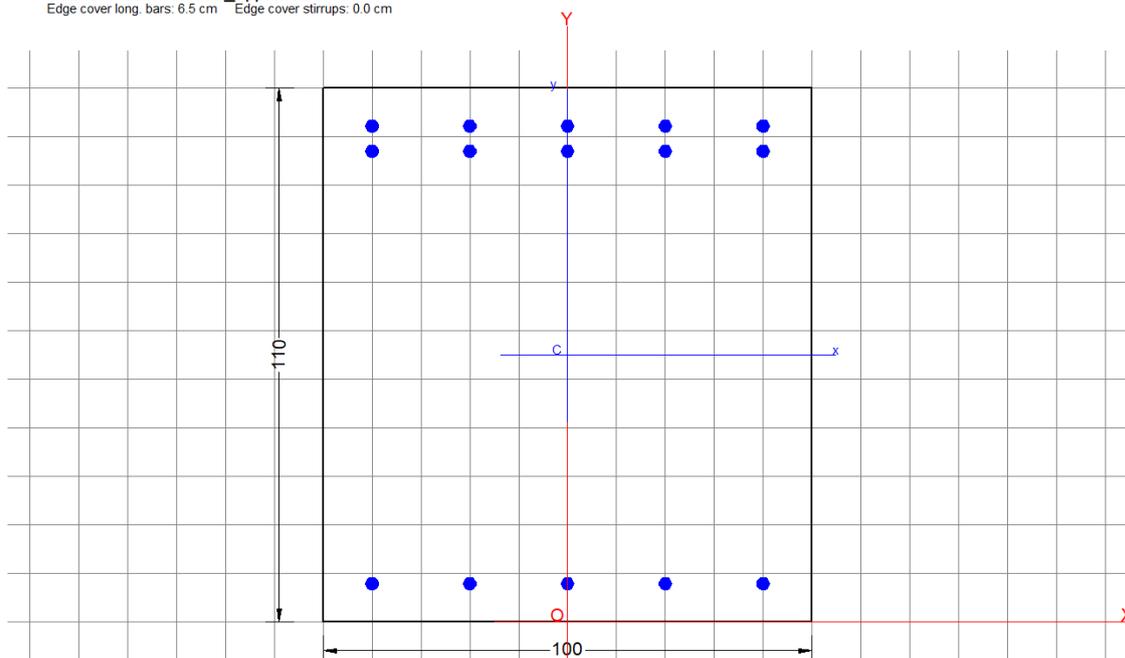
Section Name: soletta_app.secEC

(File path: \\SERVER-NEW\Scambio Breng\BR21_01_PE_ANAS_SS291_CA29\WIP\Calcoli\Sottovia Ungias\RC-SEC\soletta_app.secEC)

Section description:

Section type: Beam
 Reference code: EC2/EC8 Italian Annex
 Exposure Class: XA1 - Chemical attack (slight 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: soletta_app.secEC
 Edge cover long. bars: 6.5 cm Edge cover stirrups: 0.0 cm



MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C32/40
	Design compressive strength fcd:	18.1 MPa
	Shear reduced compressive strenght $v_1 \cdot f_{cd}$:	9.1 MPa (6.9)EC2
	Strain at max strength ϵ_{c2} :	0.0020
	Ultimate strain ϵ_{cu} :	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rettangle
	Mean Elastic Modulus E_{cm} :	33345.8 MPa
	Mean tensile strength f_{ctm} :	3.0 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit in SLS Characteristic comb.:	19.2 kN/cm ²
	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

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

STEEL -	Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C
	Characteristic yield stress f_{yk} :	450.00 MPa
	Tensile strength f_{tk} :	540.0 MPa
	Design yield stress f_{yd} :	391.3 MPa
	Design strength f_{td} :	391.3 MPa
	Design ultimate strain ϵ_{su} :	0.068
	Mean elastic modulus E_s :	200000.0 MPa
	SLS Charact. - S_s Limit:	360.00 MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C32/40

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	50.0	110.0
2	50.0	0.0
3	-50.0	0.0
4	-50.0	110.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	40.0	97.0	26
2	20.0	97.0	26
3	0.0	97.0	26
4	-20.0	97.0	26
5	-40.0	97.0	26
6	40.0	102.2	26
7	20.0	102.2	26
8	0.0	102.2	26
9	-20.0	102.2	26
10	-40.0	102.2	26
11	40.0	7.8	26
12	20.0	7.8	26
13	0.0	7.8	26
14	-20.0	7.8	26
15	-40.0	7.8	26

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC 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	-650.00	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	-440.00 (-763.75)	0.00 (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		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete:	Not considered in any case
Check	Result of Check
Reg	Number of current concrete sub-region of the cross section
Sc max (Sc lim)	Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
Xc max, Yc max	X-coordinae, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
Ss min (Ss lim)	Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa], Code limit stress is shown between brackets
Xs min, Ys min	X-coordinae, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
Ac eff	Effective tension area [cm ²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
As eff	Area of tension steel bars [cm ²] within Ac eff (for crack width control)
r eff	Geometrical ratio Ac eff/Ac [eq.(7.10) Ec2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	3.98 (19.2)	50.0	0.0	-141.2 (360.0)	-40.0	102.2	2600	53.1	0.020

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	2.70 (14.4)	50.0	0.0	-95.6 (360.0)	-40.0	102.2	2600	53.1	0.020

12.2.3 M11 positivo massimo

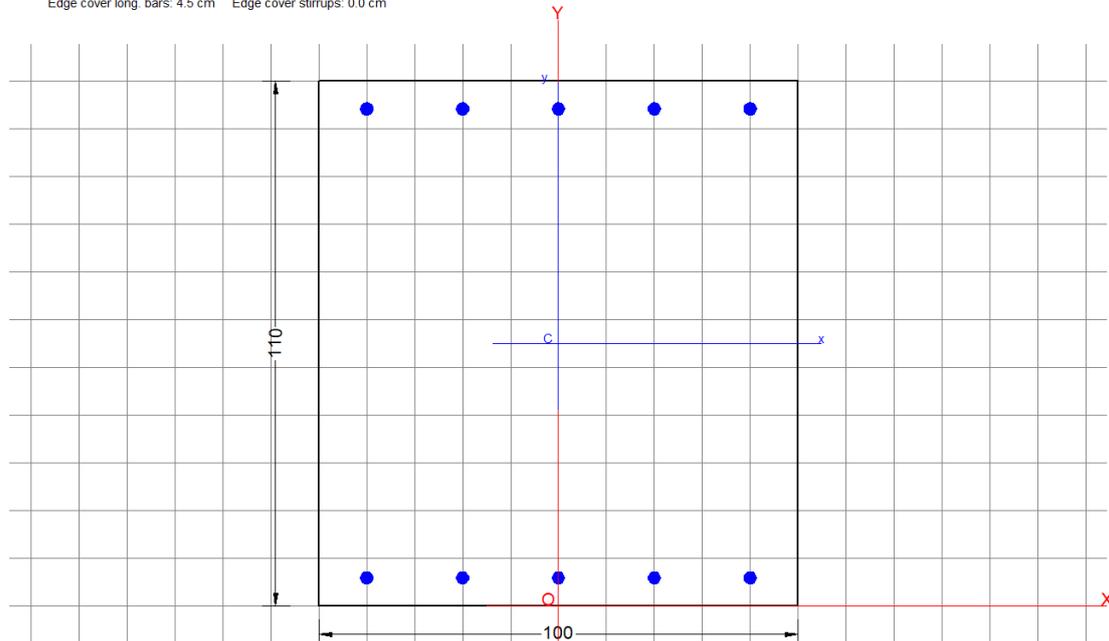
GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: soletta_mezz_M11.secEC

(File path: \\SERVER-NEW\Scambio Breng\BR21_01_PE_ANAS_SS291_CA29\WIP\Calcoli\Sottovia Ungias\RC-SEC\soletta_mezz_M11.secEC)

Section description:	
Section type:	Beam
Reference code:	EC2/EC8 Italian Annex
Exposure Class:	XC3 - Carbonation (Moderate humidity)
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: soletta_mezz_M11.secEC
 Edge cover long. bars: 4.5 cm Edge cover stirrups: 0.0 cm



MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C32/40
	Design compressive strength fcd:	18.1 MPa
	Shear reduced compressive strenght $v_1 \cdot f_{cd}$:	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 Characteristic comb.:	19.2 kN/cm ²
	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

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
	SLS Charact. - Ss Limit:	360.00 MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C32/40

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	50.0	110.0
2	50.0	0.0
3	-50.0	0.0
4	-50.0	110.0

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	40.0	104.2	26
2	20.0	104.2	26
3	0.0	104.2	26
4	-20.0	104.2	26
5	-40.0	104.2	26
6	40.0	5.8	26
7	20.0	5.8	26
8	0.0	5.8	26
9	-20.0	5.8	26
10	-40.0	5.8	26

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC 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	440.00	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	270.00 (715.79)	0.00 (0.00)

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete: Not considered in any case
Check Result of Check
Reg Number of current concrete sub-region of the cross section
Sc max (Sc lim) Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
Xc max, Yc max X-coordinae, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
Ss min (Ss lim) Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa], Code limit stress is shown between brackets
Xs min, Ys min X-coordinae, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
Ac eff Effective tension area [cm²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
As eff Area of tension steel bars [cm²] within Ac eff (for crack width control)
r eff Geometrical ratio Ac eff/Ac eff [eq.(7.10) Ec2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	3.17 (19.2)	50.0	0.0	-170.9 (360.0)	-40.0	5.8	1450	26.5	0.018

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	1.95 (14.4)	50.0	0.0	-104.9 (360.0)	-40.0	5.8	1450	26.5	0.018

12.2.4 M11 negativo massimo

GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

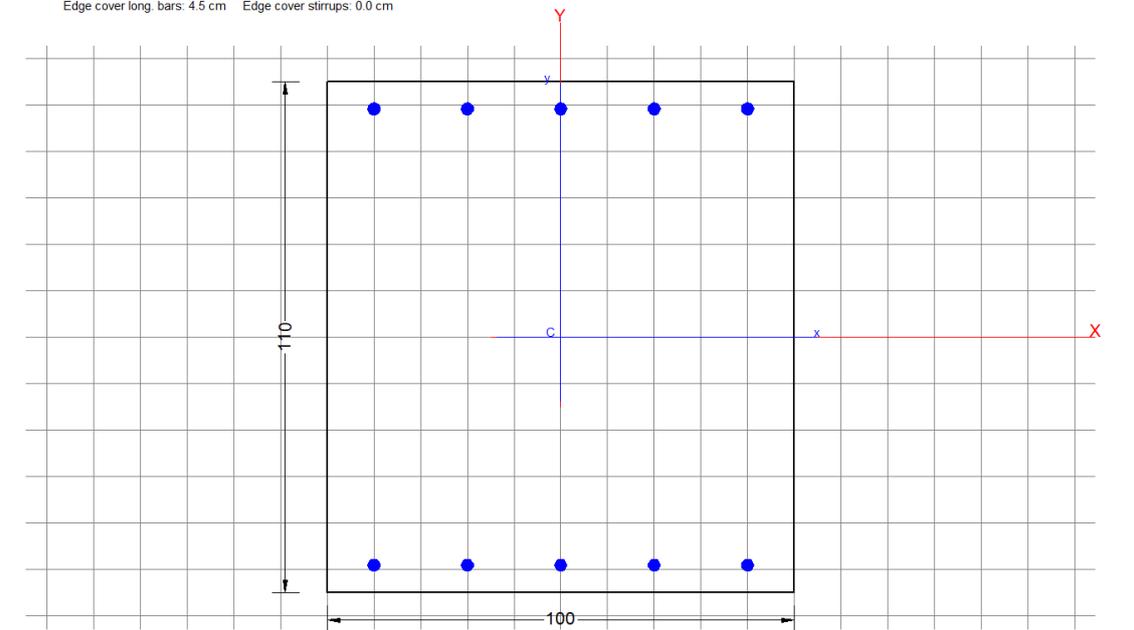
Section Name: soletta_app_M11.secEC

(File path: \\SERVER-NEW\Scambio Breng\BR21_01_PE_ANAS_SS291_CA29\WIP\Calcoli\Sottovia Ungias\RC-SEC\soletta_app_M11.secEC)

Section description:

Section type: Beam without stirrups
 Reference code: EC2/EC8 Italian Annex
 Exposure Class: XA1 - Chemical attack (slight 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: soletta_app_M11.secEC
 Edge cover long. bars: 4.5 cm Edge cover stirrups: 0.0 cm



MATERIALS DATA

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-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 Characteristic comb.:	19.2	kN/cm ²
	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

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

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
SLS Charact. - Ss Limit:	360.00	MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
Concrete Class: C32/40

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	50.0	55.0
2	50.0	-55.0
3	-50.0	-55.0
4	-50.0	55.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	40.0	49.2	26
2	20.0	49.2	26
3	0.0	49.2	26
4	-20.0	49.2	26
5	-40.0	49.2	26
6	40.0	-49.2	26
7	20.0	-49.2	26
8	0.0	-49.2	26
9	-20.0	-49.2	26
10	-40.0	-49.2	26

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC 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	-460.00	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	-310.00 (-715.79)	0.00 (0.00)

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete:	Not considered in any case
Check	Result of Check
Reg	Number of current concrete sub-region of the cross section
Sc max (Sc lim)	Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
Xc max, Yc max	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
Ss min (Ss lim)	Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa], Code limit stress is shown between brackets
Xs min, Ys min	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)

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	

$A_{c\text{ eff}}$ Effective tension area [cm²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
 $A_{s\text{ eff}}$ Area of tension steel bars [cm²] within $A_{c\text{ eff}}$ (for crack width control)
 $r_{\text{ eff}}$ Geometrical ratio $A_{c\text{ eff}}/A_{s\text{ eff}}$ [eq.(7.10) Ec2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	3.31 (19.2)	50.0	-55.0	-178.6 (360.0)	-40.0	49.2	1450	26.5	0.018

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	2.23 (14.4)	50.0	-55.0	-120.4 (360.0)	-40.0	49.2	1450	26.5	0.018

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>	

13 RITTI - VERIFICA STRUTTURALE

13.1 Sezione di verifica ed armatura di calcolo

La sezione di verifica è rettangolare con base pari a 100 cm ed altezza pari a 150 cm.

- **Direzione verticale (asse Z globale)**

Contro terra: 2 strati di $\phi 26 / 20$ ($A_s = 53.09 \text{ cm}^2/\text{m}$) lungo tutta l'altezza della parete;

Fuori terra: 1 strato di $\phi 20 / 20$ correnti ($A_s = 15.71 \text{ cm}^2/\text{m}$).

- **Direzione longitudinale (asse X globale)**

Contro terra: 1 strato di $\phi 20 / 20$ correnti ($A_s = 26.55 \text{ cm}^2/\text{m}$);

Fuori terra: 1 strato di $\phi 20 / 20$ correnti ($A_s = 26.55 \text{ cm}^2/\text{m}$).

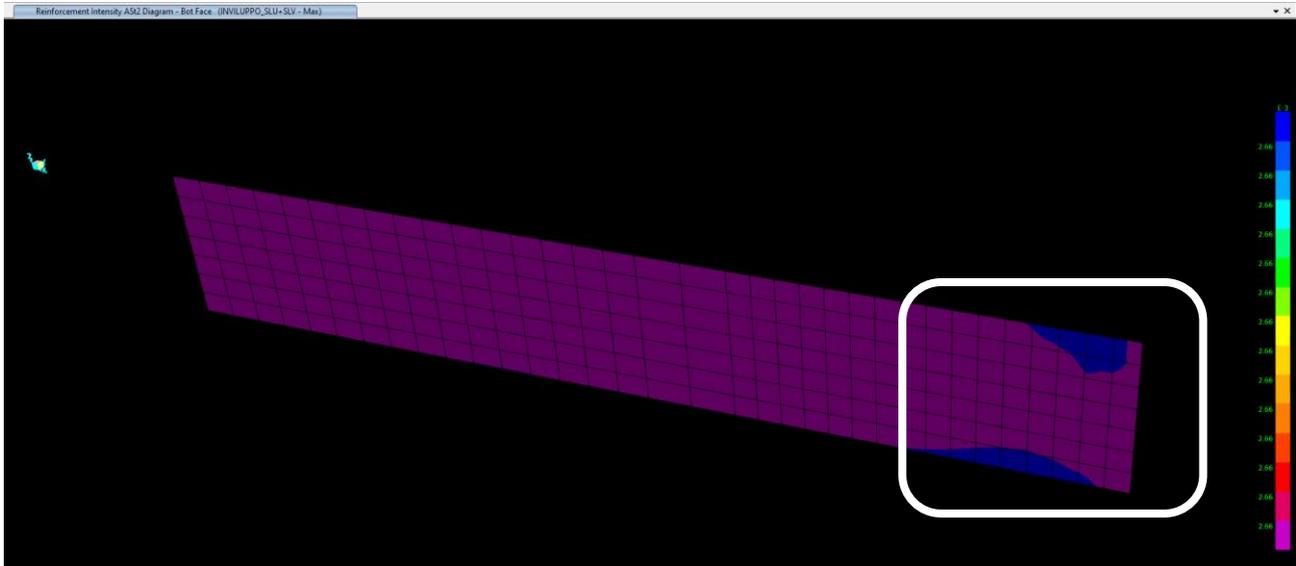
13.2 Verifiche allo Stato Limite Ultimo per presso-flessione

Le verifiche vengono svolte utilizzando direttamente il software di calcolo, che attraverso la funzione "Concrete Design", fornisce il quantitativo di armatura longitudinale al metro necessaria per il soddisfacimento delle verifiche. Confrontando il quantitativo di armatura corrispondente alle barre prescelte, si osserva dunque in automatico se tale quantitativo è sufficiente a soddisfare la verifica nelle varie zone della piastra in esame.

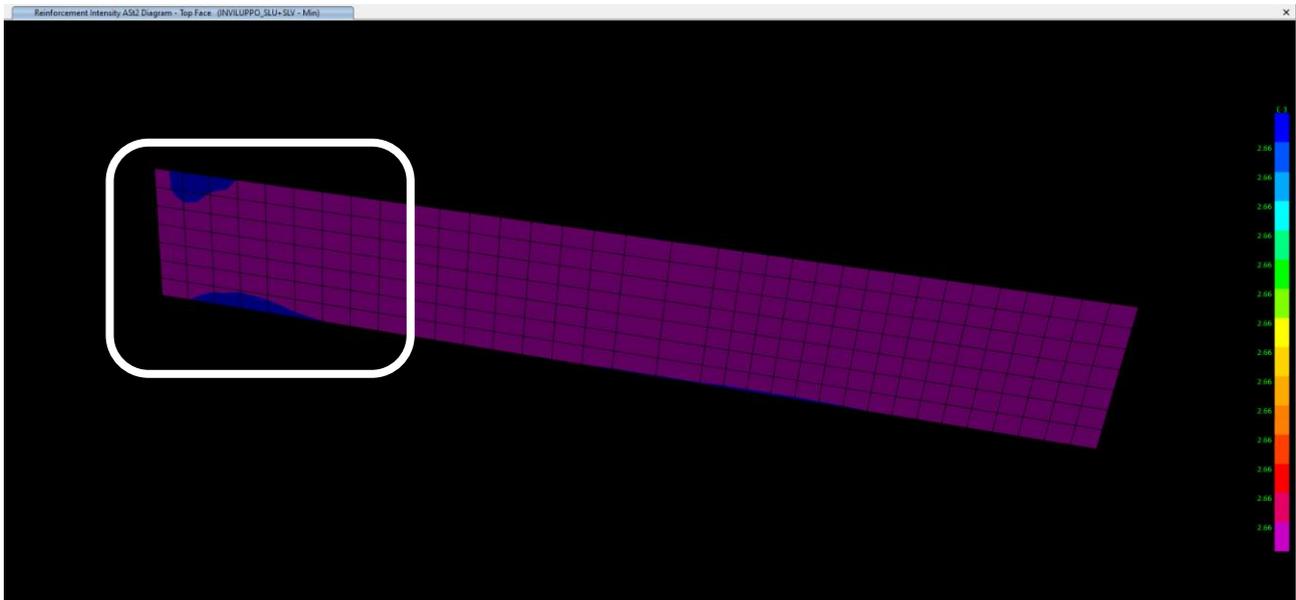
13.2.1 Verifica armature in direzione verticale (Z globale)

Considerando, lato contro terra, solo 1 strato di $\phi 26 / 20$ correnti, la verifica non è ovunque soddisfatta, come mostrato nell'immagine seguente.

Ritto sinistro



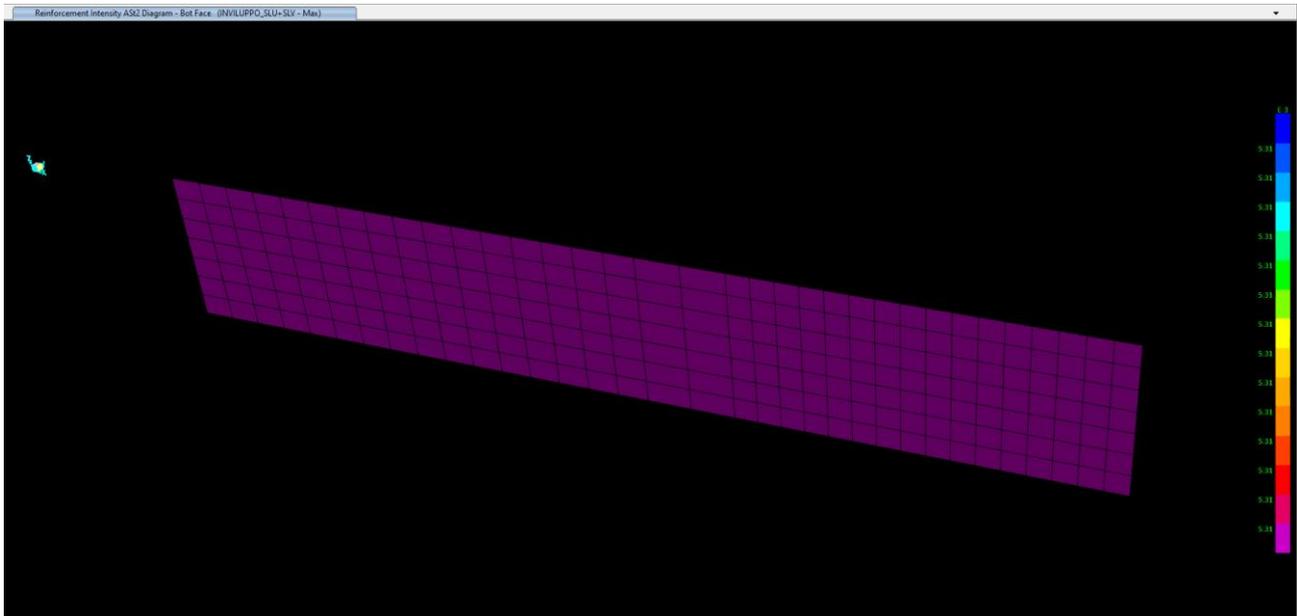
Ritto destro



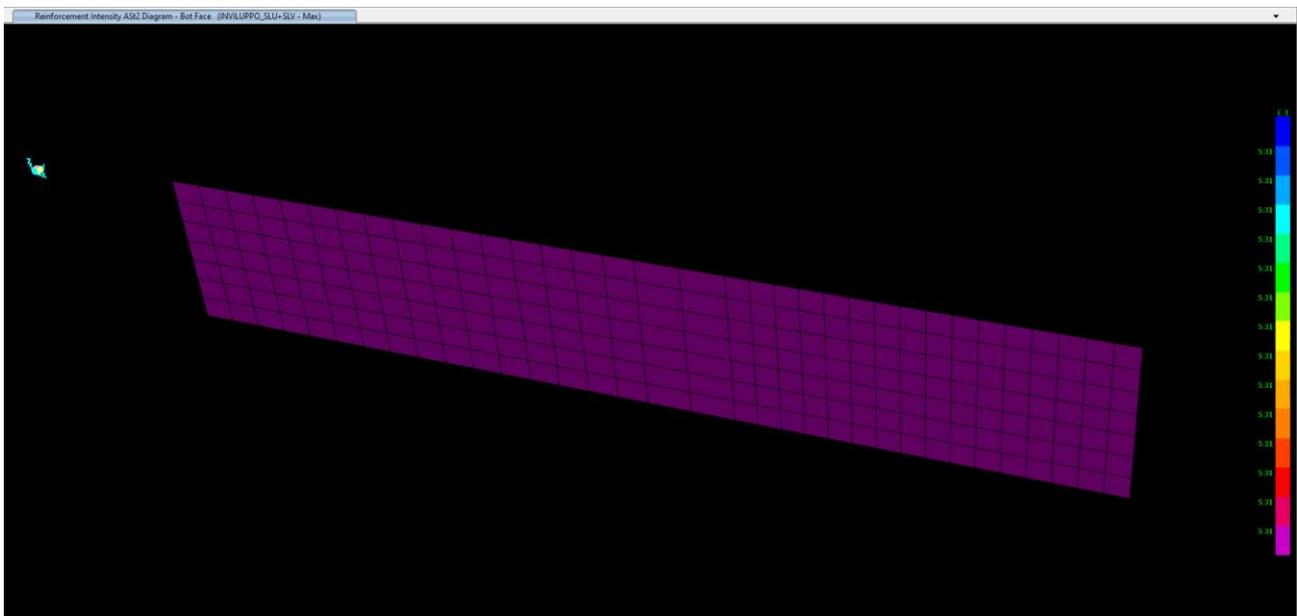
Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Inserendo un ulteriore strato di $\phi 26 / 20$, le verifiche risultano soddisfatte.

Ritto sinistro



Ritto destro



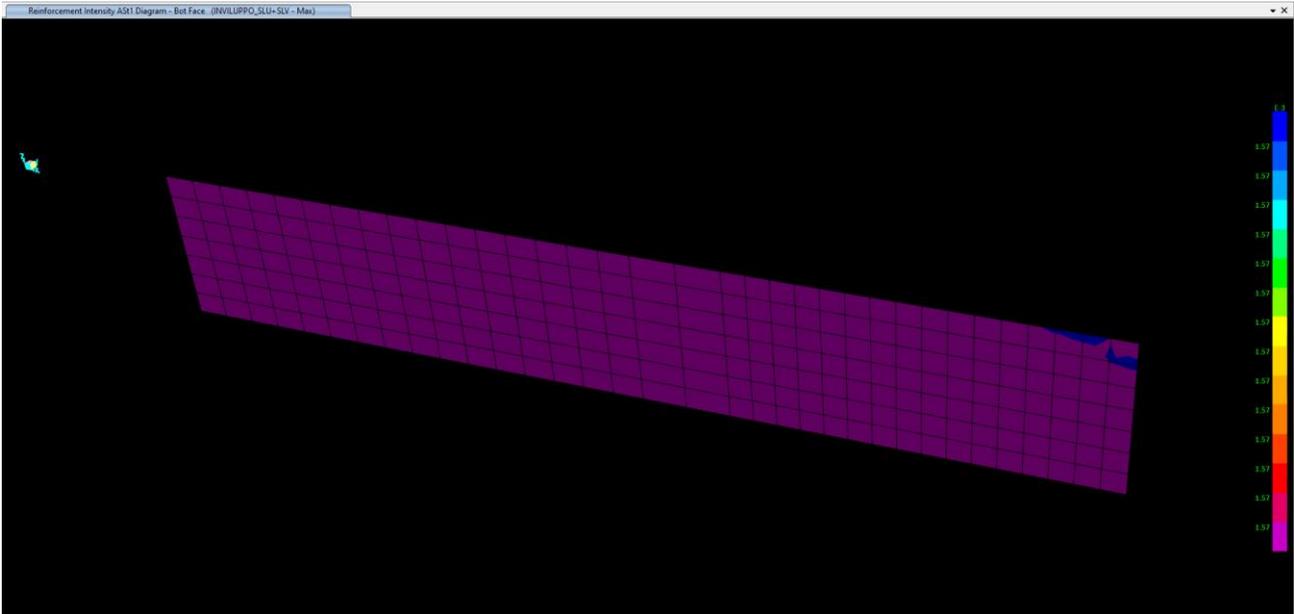
Lato fuori terra, la combinazione involuppo SLU-SLV non fornisce momenti sollecitanti; pertanto, non si eseguono verifiche e si decide di inserire uno strato di $\Phi 20/20$ correnti.

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>	

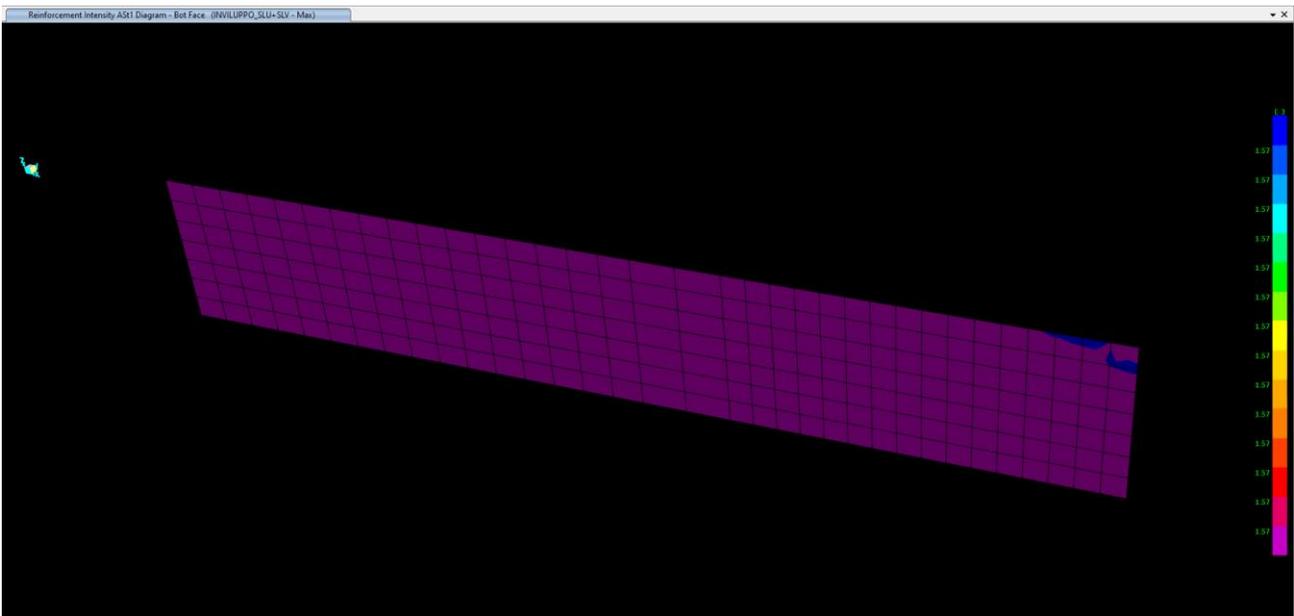
13.2.2 Verifica armature in direzione longitudinale (X globale)

Considerando uno strato di Φ 20/20 correnti, la verifica risulta ovunque soddisfatta.

Ritto sinistro



Ritto destro



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>	

13.3 Verifiche allo Stato Limite Ultimo per taglio

13.3.1 Taglio V23

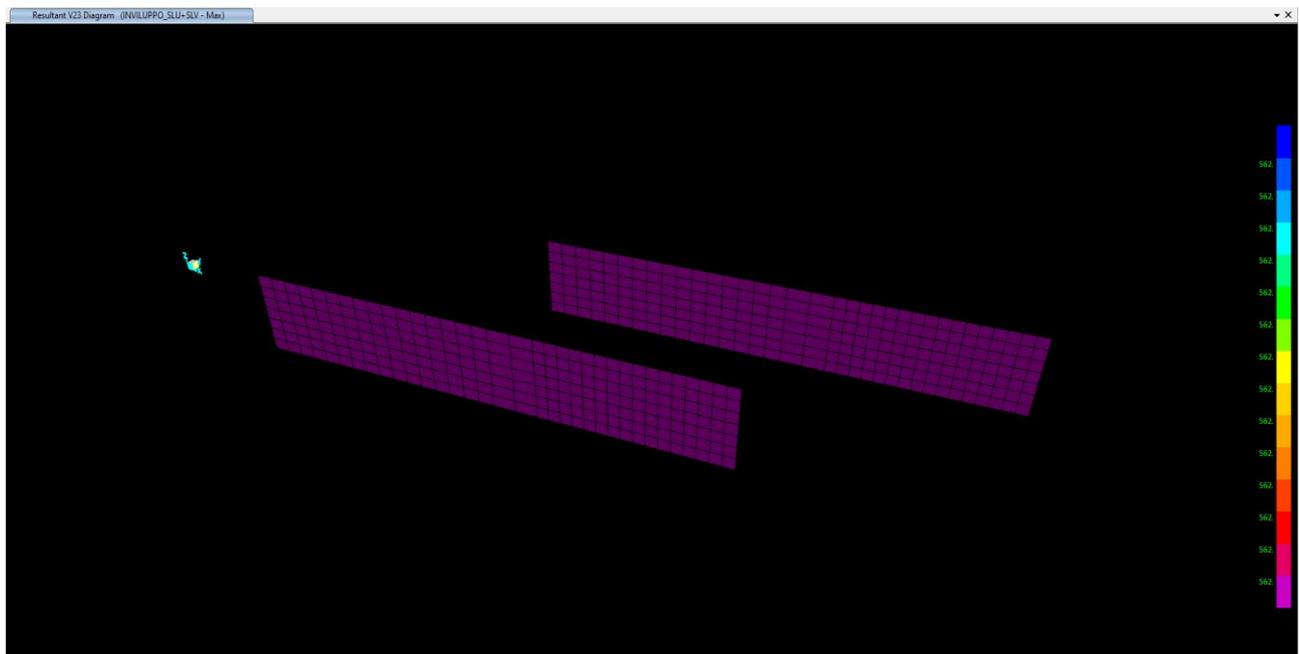
Si calcola il taglio resistente per elemento senza armatura resistente a taglio. Si considera, a vantaggio di sicurezza, lo sforzo normale di compressione minimo.

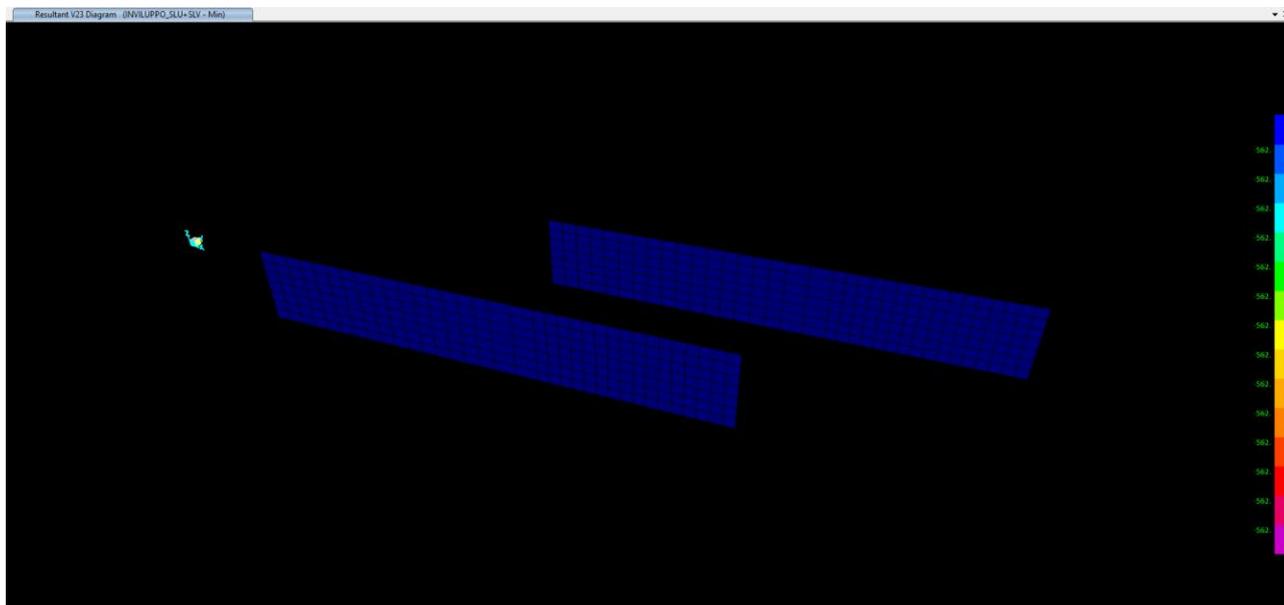
Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

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

larghezza sezione	b_w	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	1500
altezza utile sezione	d	[mm]	1396
armatura longitudinale	A_{sl}	[mm ²]	5309
rapporto geometrico di armatura longitudinale (<0.02)	ρ_l		0.004
	k		1.379
	v_{min}	[MPa]	0.320
tensione media di compressione nella sezione (<0.2 f_{cd})	σ_{cp}	[MPa]	0.15
resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	[MPa]	32.0
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	562

Come osservabile nelle immagini seguenti, la verifica a taglio è ovunque soddisfatta, non essendoci zone in cui il taglio sollecitante è maggiore di quello resistente calcolato.





Si decide comunque di inserire 6 spille al metro quadrato.

13.3.2 Taglio V13

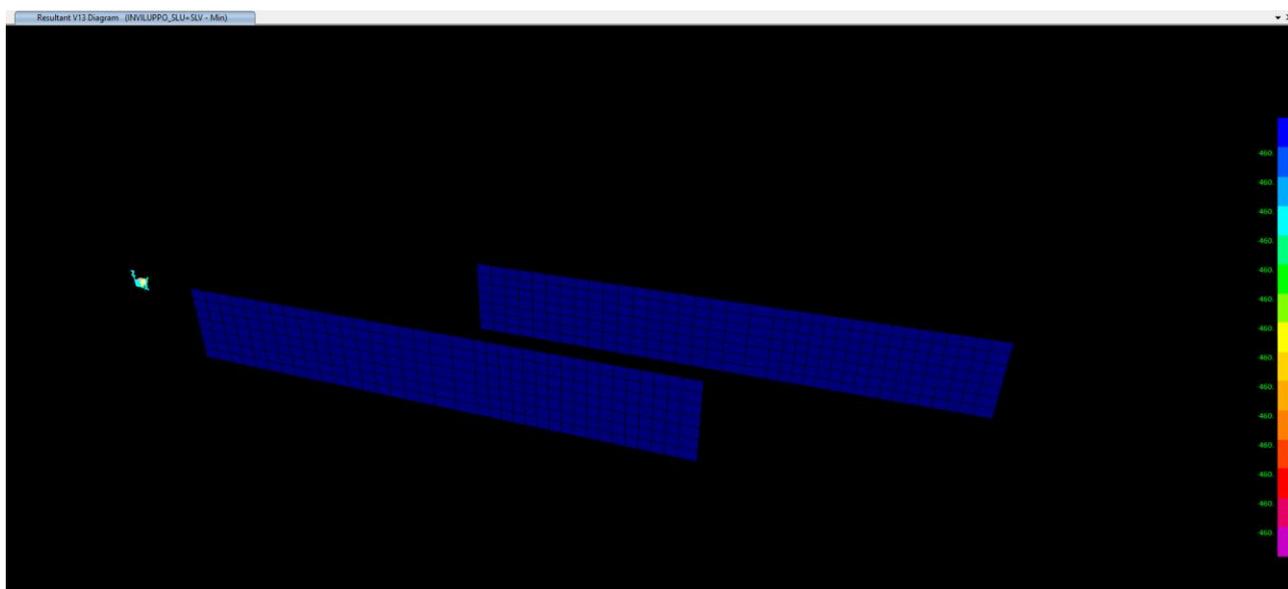
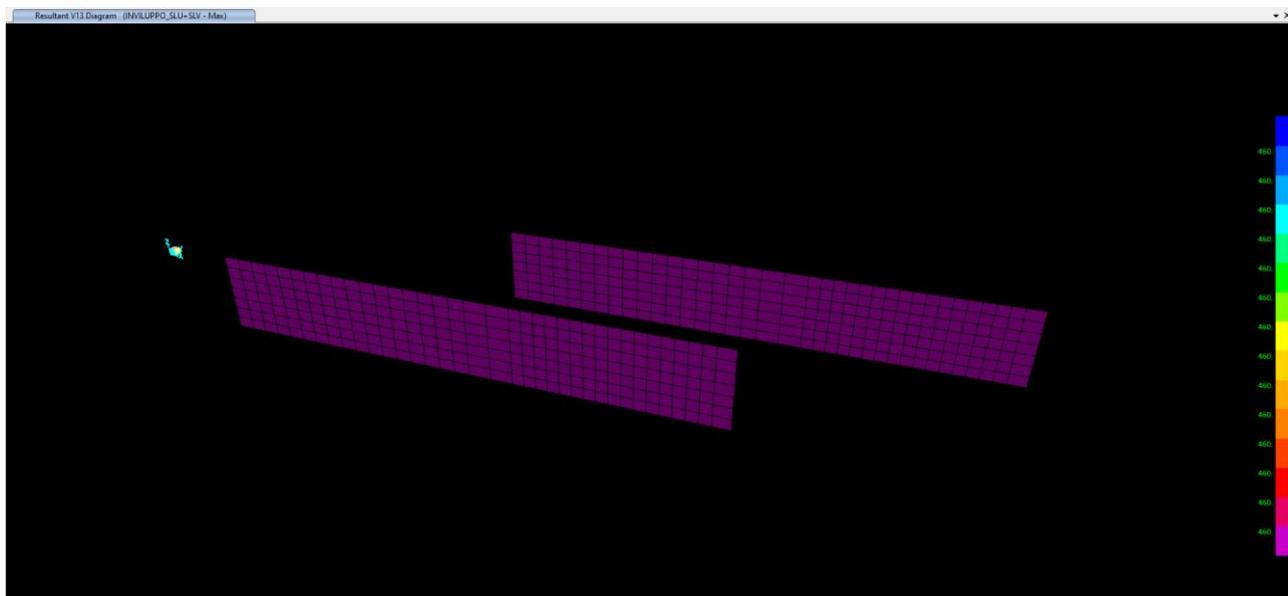
Si calcola il taglio resistente per elemento senza armatura resistente a taglio.

Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

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

larghezza sezione	b_w	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	1500
altezza utile sezione	d	[mm]	1445
armatura longitudinale	A_{sl}	[mm ²]	1571
rapporto geometrico di armatura longitudinale (<0.02)	ρ_l		0.001
	k		1.372
	v_{min}	[MPa]	0.318
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]	460

Come osservabile nelle immagini seguenti, la verifica a taglio senza armature trasversali si può ritenere soddisfatta.



Come indicato nel paragrafo precedente, si inseriscono comunque 6 spille al metro quadrato lungo tutta la parete.

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.

La verifica a fessurazione viene condotta attraverso il software RC-SEC.

13.4.1 Verifica sezione in testa (a filo intradosso soletta superiore)

La verifica viene eseguita considerando sia una sezione posta nella zona interna della parete, sia in prossimità del bordo laterale. Si considera, in entrambi i casi, il massimo momento sollecitante che tende le fibre contro terra e, a favore di sicurezza, lo sforzo normale minimo di compressione.

GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: parete_testa.secEC

(File path: \\SERVER-NEW\Scambio Breng\BR21_01_PE_ANAS_SS291_CA29\WIP\Calcoli\Sottovia Ungias\RC-SEC\parete_testa.secEC)

Section description:

Section type:

Beam

Reference code:

EC2/EC8 Italian Annex

Exposure Class:

XA1 - Chemical attack (slight aggressive)

Stress path:

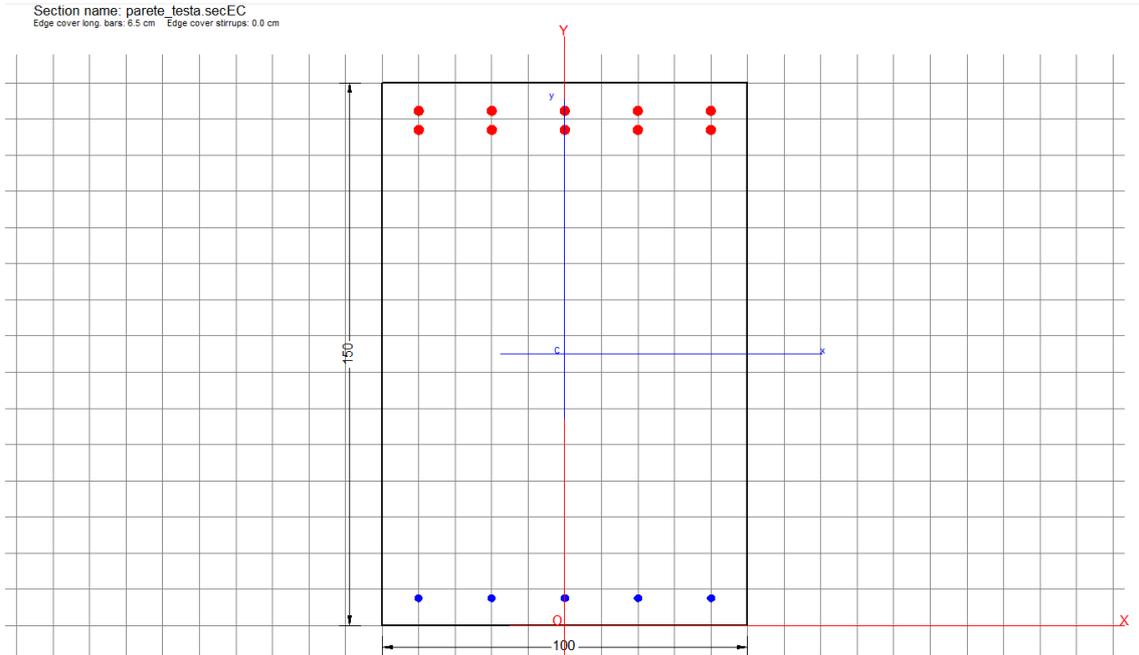
Constant axial force force to achieve bending ULS

Type of bending:

Uniaxial (neutral axis always parallel to Y axis of reference system)

Reference of assigned forces:

Principal axes y,y of inertia



MATERIALS DATA

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-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 Characteristic comb.:	19.2	kN/cm ²
	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
	SLS Charact. - Ss Limit:	360.00	MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region:	Polygonal	
Concrete Class:	C32/40	
Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	50.0	150.0
2	50.0	0.0

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

3	-50.0	0.0
4	-50.0	150.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	40.0	7.5	20
2	20.0	7.5	20
3	0.0	7.5	20
4	-20.0	7.5	20
5	-40.0	7.5	20
6	40.0	137.0	26
7	20.0	137.0	26
8	0.0	137.0	26
9	-20.0	137.0	26
10	-40.0	137.0	26
11	40.0	142.2	26
12	20.0	142.2	26
13	0.0	142.2	26
14	-20.0	142.2	26
15	-40.0	142.2	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	750.00	-915.00 (-1705.95)	0.00 (0.00)
2	305.00	-550.00 (-1571.05)	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	800.00	-780.00 (-1827.87)	0.00 (0.00)
2	305.00	-515.00 (-1588.91)	0.00 (0.00)

SLS FREQUENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00043	0	0.859	26.0	0.00024 (0.00024)	593	0.141 (0.30)	-1705.95	0.00
2	OK	-0.00032	0	0.870	26.0	0.00018 (0.00018)	597	0.105 (0.30)	-1571.05	0.00

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

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00031	0	0.849	26.0	0.00017 (0.00017)	588	0.100 (0.20)	-1827.87	0.00
2	OK	-0.00029	0	0.868	26.0	0.00016 (0.00016)	597	0.095 (0.20)	-1588.91	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 [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 (Web)	0.65	0.37	5650	797.20	5.31	1.50	---	53.1	11.4
2	Frequent	1 (Web)	0.65	0.39	6150	342.43	2.28	1.50	---	53.1	13.0
1	Quasi-perm.	1 (Web)	0.65	0.37	5250	830.26	5.54	1.50	---	53.1	10.5
2	Quasi-perm.	1 (Web)	0.65	0.39	6100	338.84	2.26	1.50	---	53.1	12.9

13.4.2 Verifica sezione di base (a filo estradosso soletta di fondazione)

La verifica viene eseguita considerando sia una sezione posta nella zona interna della parete, sia in prossimità del bordo laterale. Si considera, in entrambi i casi, il massimo momento sollecitante che tende le fibre contro terra e, a favore di sicurezza, lo sforzo normale minimo di compressione.

GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

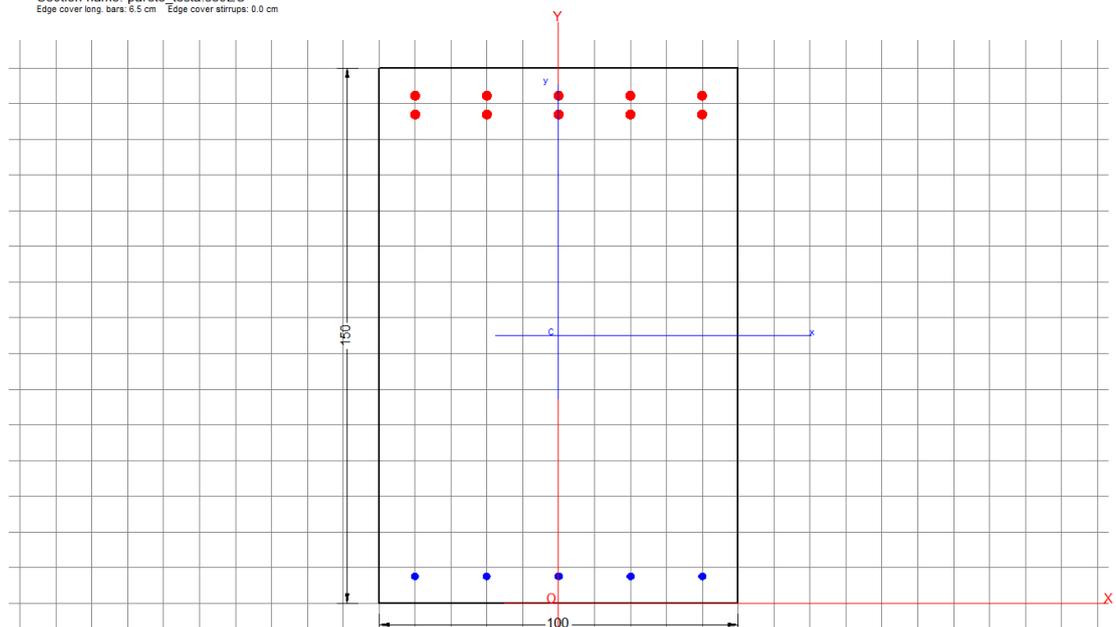
Section Name: parete_base.secEC

(File path: \\SERVER-NEW\Scambio Breng\BR21_01_PE_ANAS_SS291_CA29\WIP\Calcoli\Sottovia Ungias\RC-SEC\parete_base.secEC)

Section description:

Section type:	Beam
Reference code:	EC2/EC8 Italian Annex
Exposure Class:	XA1 - Chemical attack (slight 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: parete_testa.secEC
 Edge cover long. bars: 6.5 cm Edge cover stirrups: 0.0 cm



CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

MATERIALS DATA

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-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 Characteristic comb.:	19.2	kN/cm ²
	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
	SLS Charact. - Ss Limit:	360.00	MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region:	Polygonal	
Concrete Class:	C32/40	
Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	50.0	150.0
2	50.0	0.0
3	-50.0	0.0
4	-50.0	150.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	40.0	7.5	20
2	20.0	7.5	20
3	0.0	7.5	20
4	-20.0	7.5	20
5	-40.0	7.5	20
6	40.0	137.0	26
7	20.0	137.0	26
8	0.0	137.0	26
9	-20.0	137.0	26
10	-40.0	137.0	26
11	40.0	142.2	26
12	20.0	142.2	26
13	0.0	142.2	26
14	-20.0	142.2	26
15	-40.0	142.2	26

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	

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC 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	980.00	-1050.00	0.00
2	505.00	-1060.00	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	950.00	-840.00 (-1897.20)	0.00 (0.00)
2	490.00	-910.00 (-1563.55)	0.00 (0.00)

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete: Not considered in any case
 Check Result of Check
 Reg Number of current concrete sub-region of the cross section
 Sc max (Sc lim) Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
 Xc max, Yc max X-coordinae, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
 Ss min (Ss lim) Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa]. Code limit stress is shown between brackets
 Xs min, Ys min X-coordinae, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
 Ac eff Effective tension area [cm²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
 As eff Area of tension steel bars [cm²] within Ac eff (for crack width control)
 r eff Geometrical ratio Ac eff/Ac eff [eq.(7.10) Ec2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	4.25 (19.2)	50.0	0.0	-82.7 (360.0)	-40.0	142.2	2600	53.1	0.020
2	1	OK	4.20 (19.2)	50.0	0.0	-119.0 (360.0)	-40.0	142.2	2600	53.1	0.020

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	3.41 (14.4)	50.0	0.0	-55.5 (360.0)	-40.0	142.2	2600	53.1	0.020
2	1	OK	3.62 (14.4)	50.0	0.0	-97.7 (360.0)	-40.0	142.2	2600	53.1	0.020

13.5 Verifiche allo stato limite di limitazione delle tensioni

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

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

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

Il calcolo delle tensioni e la verifica avvengono tramite l'uso del software RC-SEC.

13.5.1 Verifica sezione in testa (a filo intradosso soletta superiore)

La verifica viene eseguita considerando sia una sezione posta nella zona interna della parete, sia in prossimità del bordo laterale. Si considera, in entrambi i casi, il massimo momento sollecitante che tende le fibre contro terra e, a favore di sicurezza, lo sforzo normale minimo di compressione.

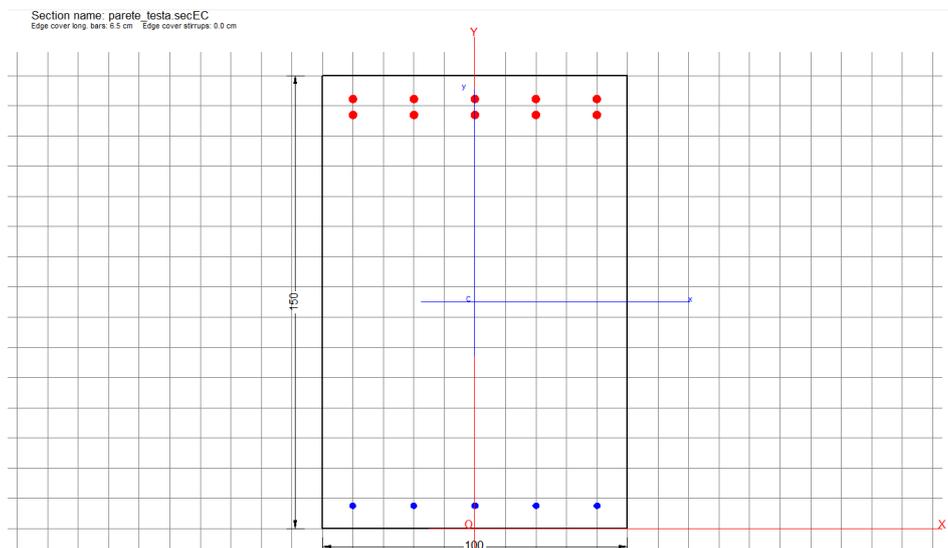
GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: parete_testa.secEC

(File path: \\SERVER-NEW\Scambio Breng\BR21_01_PE_ANAS_SS291_CA29\WIP\Calcoli\Sottovia Ungias\RC-SEC\parete_testa.secEC)

Section description:

Section type:	Beam
Reference code:	EC2/EC8 Italian Annex
Exposure Class:	XA1 - Chemical attack (slight 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



CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

MATERIALS DATA

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-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 Characteristic comb.:	19.2	kN/cm ²
	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
	SLS Charact. - Ss Limit:	360.00	MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region:	Polygonal	
Concrete Class:	C32/40	
Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	50.0	150.0
2	50.0	0.0
3	-50.0	0.0
4	-50.0	150.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	40.0	7.5	20
2	20.0	7.5	20
3	0.0	7.5	20
4	-20.0	7.5	20
5	-40.0	7.5	20
6	40.0	137.0	26
7	20.0	137.0	26
8	0.0	137.0	26
9	-20.0	137.0	26
10	-40.0	137.0	26
11	40.0	142.2	26
12	20.0	142.2	26
13	0.0	142.2	26
14	-20.0	142.2	26
15	-40.0	142.2	26

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	

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC 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	835.00	-970.00	0.00
2	320.00	-575.00	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	800.00	-780.00 (-1827.87)	0.00 (0.00)
2	305.00	-515.00 (-1588.91)	0.00 (0.00)

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete: Not considered in any case
Check Result of Check
Reg Number of current concrete sub-region of the cross section
Sc max (Sc lim) Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
Xc max, Yc max X-coordinates, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
Ss min (Ss lim) Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa], Code limit stress is shown between brackets
Xs min, Ys min X-coordinates, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
Ac eff Effective tension area [cm²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
As eff Area of tension steel bars [cm²] within Ac eff (for crack width control)
r eff Geometrical ratio Ac eff/Ac eff [eq.(7.10) Ec2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	3.92 (19.2)	50.0	0.0	-81.2 (360.0)	-40.0	142.2	2600	53.1	0.020
2	1	OK	2.29 (19.2)	50.0	0.0	-60.9 (360.0)	-40.0	142.2	2600	53.1	0.020

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	3.16 (14.4)	50.0	0.0	-56.7 (360.0)	-40.0	142.2	2600	53.1	0.020
2	1	OK	2.06 (14.4)	50.0	0.0	-53.2 (360.0)	-40.0	142.2	2600	53.1	0.020

13.5.2 Verifica sezione di base (a filo estradosso soletta di fondazione)

La verifica viene eseguita considerando sia una sezione posta nella zona interna della parete, sia in prossimità del bordo laterale. Si considera, in entrambi i casi, il massimo momento sollecitante che tende le fibre contro terra e, a favore di sicurezza, lo sforzo normale minimo di compressione.

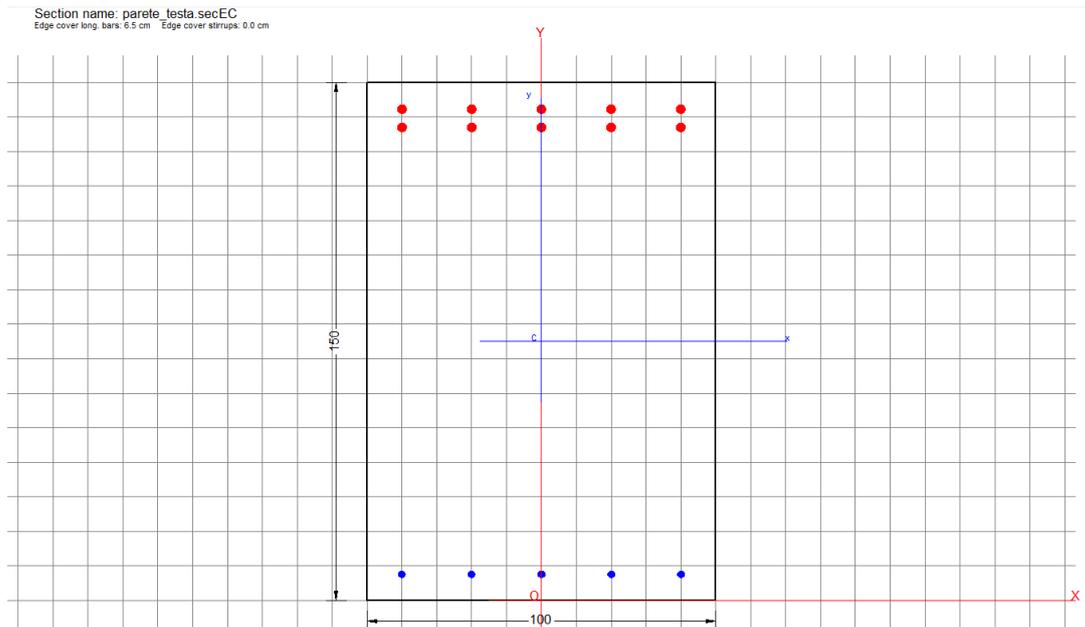
GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: parete_base.secEC

(File path: \\SERVER-NEW\Scambio Breng\BR21_01_PE_ANAS_SS291_CA29\WIP\Calcoli\Sottovia Ungias\RC-SEC\parete_base.secEC)

Section description:

Section type: Beam
Reference code: EC2/EC8 Italian Annex
Exposure Class: XA1 - Chemical attack (slight 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



MATERIALS DATA

CONCRETE - Class: C32/40
Design compressive strength fcd: 18.1 MPa
Shear reduced compressive strenght $v1 \cdot fcd$: 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 Characteristic comb.: 19.2 kN/cm²
Stress limit in SLS Frequent comb.: 192.0 daN/cm²
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
SLS Charact. - Ss Limit: 360.00 MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

Shape of Region: Polygonal
Concrete Class: C32/40

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	50.0	150.0
2	50.0	0.0
3	-50.0	0.0
4	-50.0	150.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	40.0	7.5	20
2	20.0	7.5	20
3	0.0	7.5	20
4	-20.0	7.5	20
5	-40.0	7.5	20
6	40.0	137.0	26
7	20.0	137.0	26
8	0.0	137.0	26
9	-20.0	137.0	26
10	-40.0	137.0	26
11	40.0	142.2	26
12	20.0	142.2	26
13	0.0	142.2	26
14	-20.0	142.2	26
15	-40.0	142.2	26

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC 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	980.00	-1050.00	0.00
2	505.00	-1060.00	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	950.00	-840.00 (-1897.20)	0.00 (0.00)
2	490.00	-910.00 (-1563.55)	0.00 (0.00)

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete: Not considered in any case
Check Result of Check
Reg Number of current concrete sub-region of the cross section
Sc max (Sc lim) Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
Xc max, Yc max X-coordinae, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
Ss min (Ss lim) Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa], Code limit stress is shown between brackets
Xs min, Ys min X-coordinae, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
Ac eff Effective tension area [cm²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
As eff Area of tension steel bars [cm²] within Ac eff (for crack width control)
r eff Geometrical ratio Ac eff/Ac eff [eq.(7.10) 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		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	4.25 (19.2)	50.0	0.0	-82.7 (360.0)	-40.0	142.2	2600	53.1	0.020
2	1	OK	4.20 (19.2)	50.0	0.0	-119.0 (360.0)	-40.0	142.2	2600	53.1	0.020

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	3.41 (14.4)	50.0	0.0	-55.5 (360.0)	-40.0	142.2	2600	53.1	0.020
2	1	OK	3.62 (14.4)	50.0	0.0	-97.7 (360.0)	-40.0	142.2	2600	53.1	0.020

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>	

14 SOLETTA DI FONDAZIONE - VERIFICA STRUTTURALE

14.1 Sezione di verifica ed armatura di calcolo

La sezione di verifica è rettangolare con base pari a 100 cm ed altezza pari a 150 cm.

Si sceglie di disporre le seguenti barre d'armatura:

- **Direzione trasversale (asse Y globale)**

Al lembo inferiore: 1 strato di $\phi 26 / 20$ correnti ($A_s = 26.55 \text{ cm}^2/\text{m}$), a cui si aggiunge un ulteriore strato di $\phi 26 / 20$ ($A_s = 26.55 \text{ cm}^2/\text{m}$) nella fascia della soletta adiacente ai ritzi verticali;

Al lembo superiore: 1 strato di $\phi 26 / 20$ correnti ($A_s = 26.55 \text{ cm}^2/\text{m}$), a cui si aggiunge un ulteriore strato di $\phi 26 / 20$ ($A_s = 26.55 \text{ cm}^2/\text{m}$) nella fascia centrale della soletta.

- **Direzione longitudinale (asse X globale)**

Al lembo inferiore: 1 strato di $\phi 26 / 20$ ($A_s = 26.55 \text{ cm}^2/\text{m}$) in corrispondenza della fascia della soletta adiacente ai bordi obliqui, che diventano $\phi 20 / 20$ ($A_s = 15.71 \text{ cm}^2/\text{m}$) nella zona interna della soletta;

Al lembo superiore: 1 strato di $\phi 26 / 20$ ($A_s = 26.55 \text{ cm}^2/\text{m}$) in corrispondenza della fascia della soletta adiacente ai bordi obliqui, che diventano $\phi 20 / 20$ ($A_s = 15.71 \text{ cm}^2/\text{m}$) nella zona interna della soletta.

14.2 Verifica allo Stato Limite Ultimo per flessione

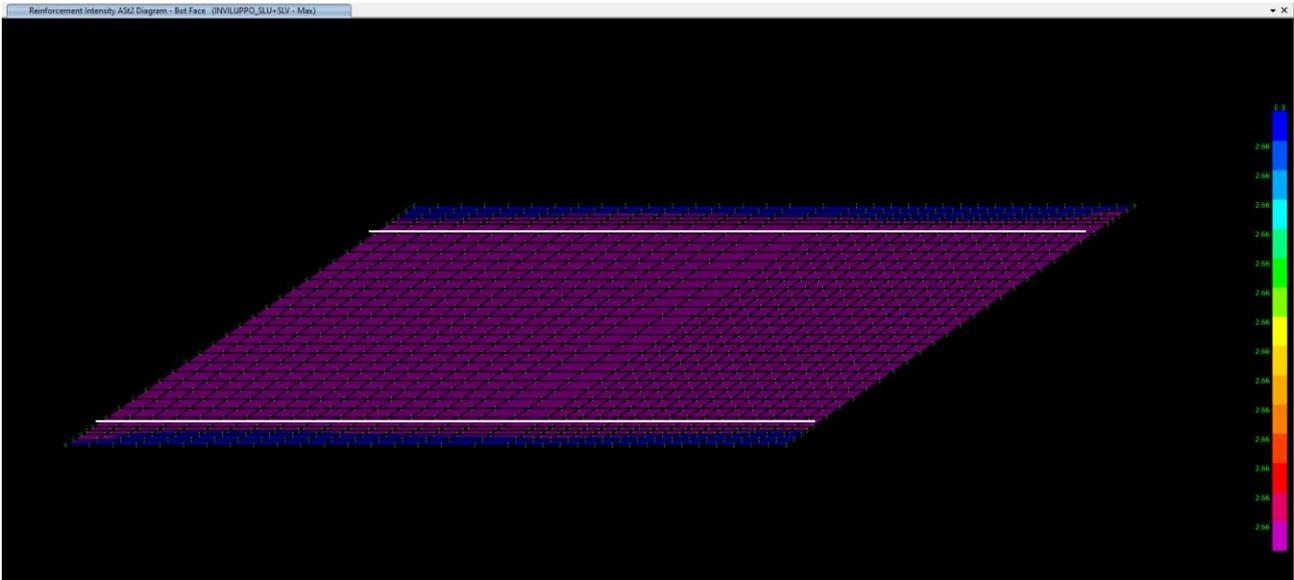
Le verifiche vengono svolte utilizzando direttamente il software di calcolo, che attraverso la funzione "Concrete Design", fornisce il quantitativo di armatura longitudinale al metro necessaria per il soddisfacimento delle verifiche. Confrontando il quantitativo di armatura corrispondente alle barre prescelte, si osserva dunque in automatico se tale quantitativo è sufficiente a soddisfare la verifica nelle varie zone della piastra in esame.

Ai fini delle verifiche, non si prendono in considerazione le zone in corrispondenza degli angoli tra i lati della soletta in cui si verificano picchi concentrati delle sollecitazioni e le zone a ridosso dei ritzi verticali (fino ad una distanza di circa un metro dal piano medio degli stessi).

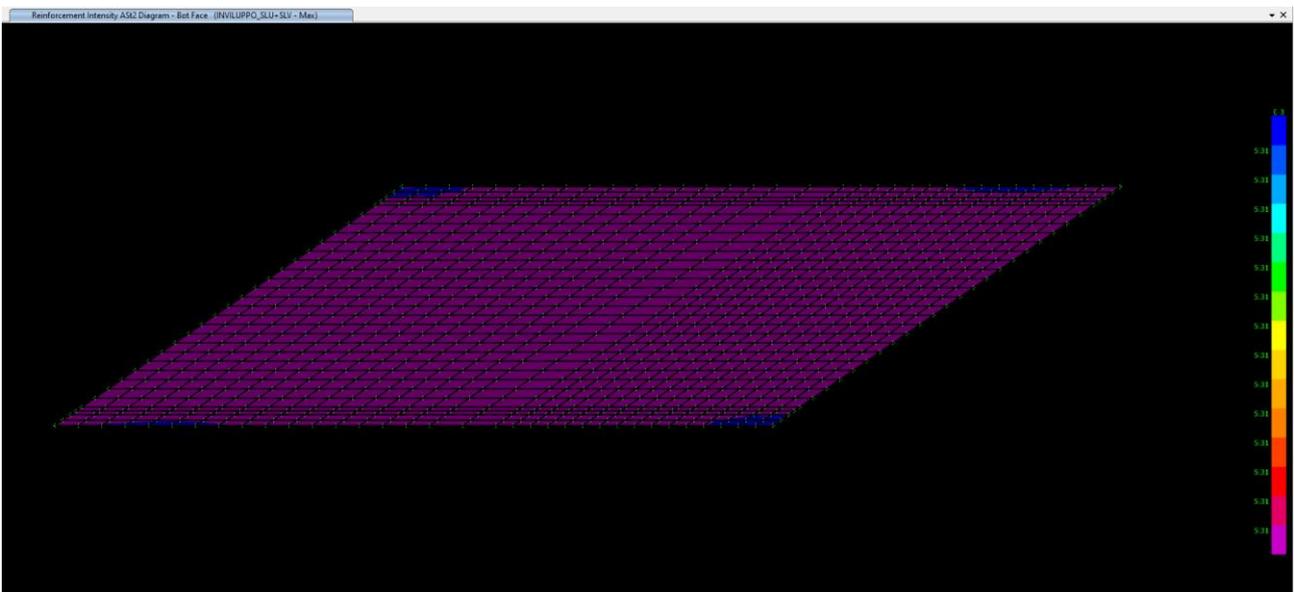
Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

14.2.1 Verifica armature in direzione trasversale (Y globale)

Considerando, al lembo inferiore, solo 1 strato di $\phi 26 / 20$ correnti, nella fascia della soletta adiacenti ai ritzi verticali la verifica a flessione non risulta soddisfatta, come mostrato nell'immagine seguente.

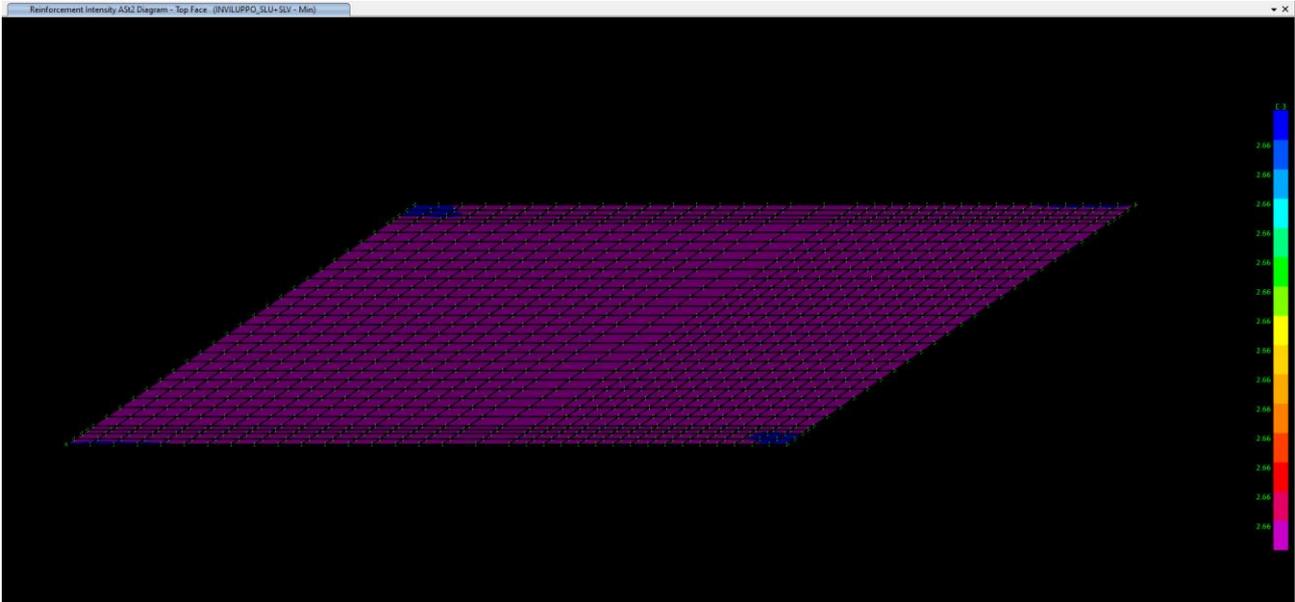


Inserendo in tale zona un ulteriore strato di $\phi 26 / 20$, la verifica a flessione risulta soddisfatta.



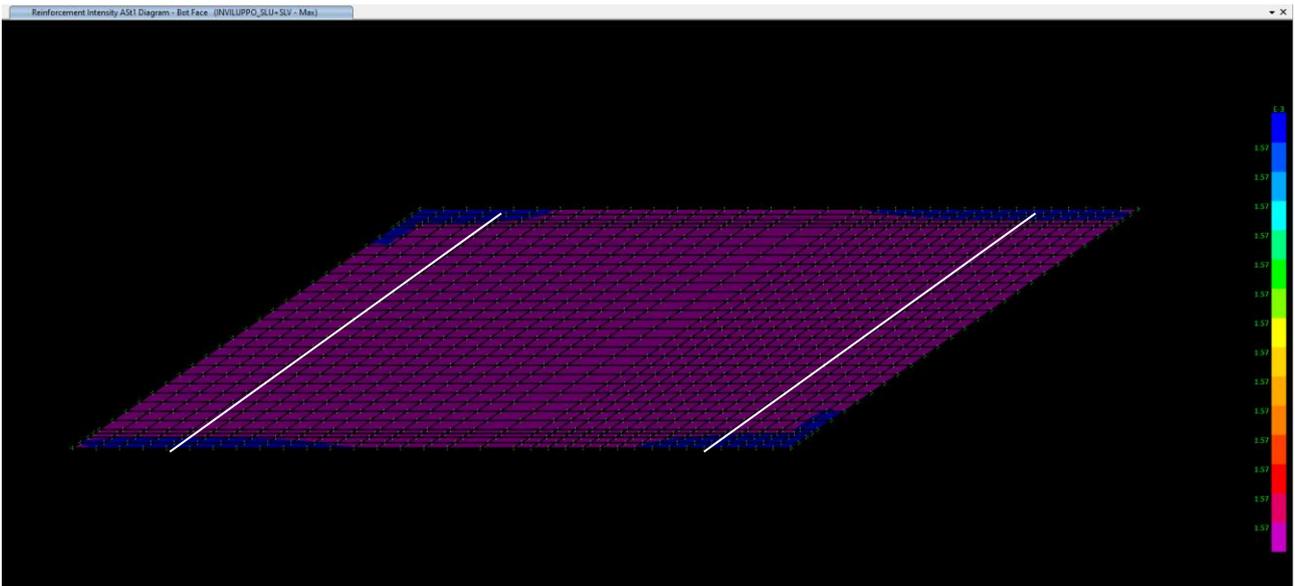
Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Al lembo superiore, considerando 1 strato di $\phi 26 / 20$ correnti, la verifica a flessione risulta soddisfatta.



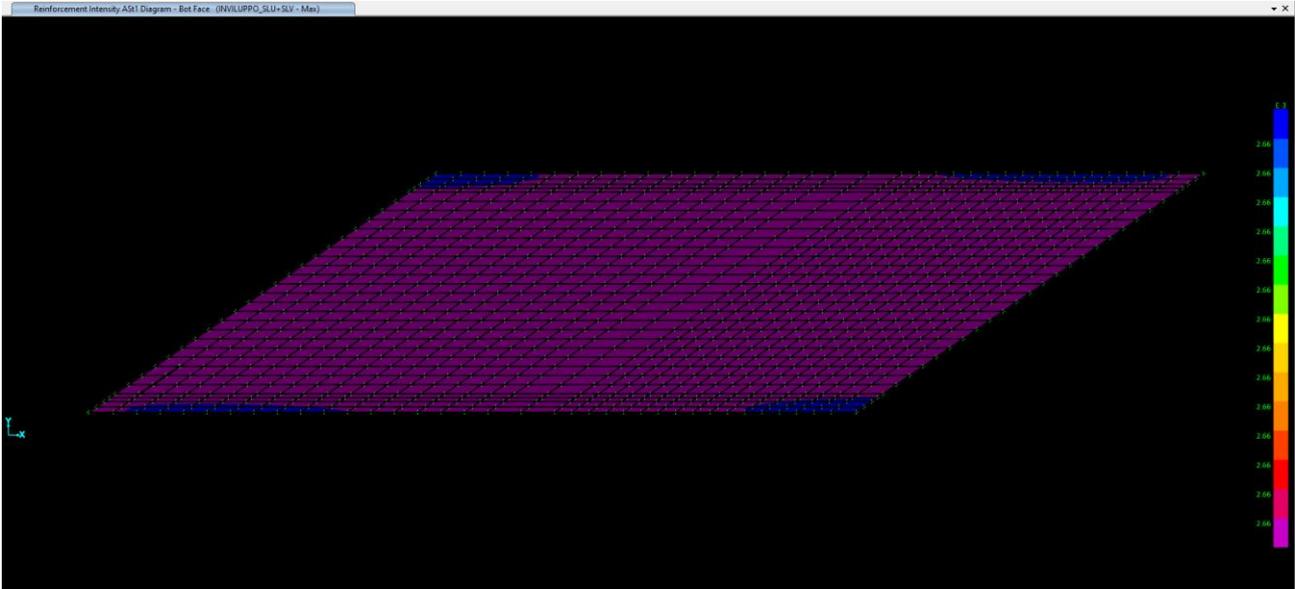
14.2.2 Verifica armature in direzione longitudinale (X globale)

Considerando, al lembo inferiore, 1 strato di $\phi 20 / 20$ correnti, in alcune zone della fascia della soletta adiacente ai bordi obliqui la verifica a flessione non risulta soddisfatta, come mostrato nell'immagine seguente.

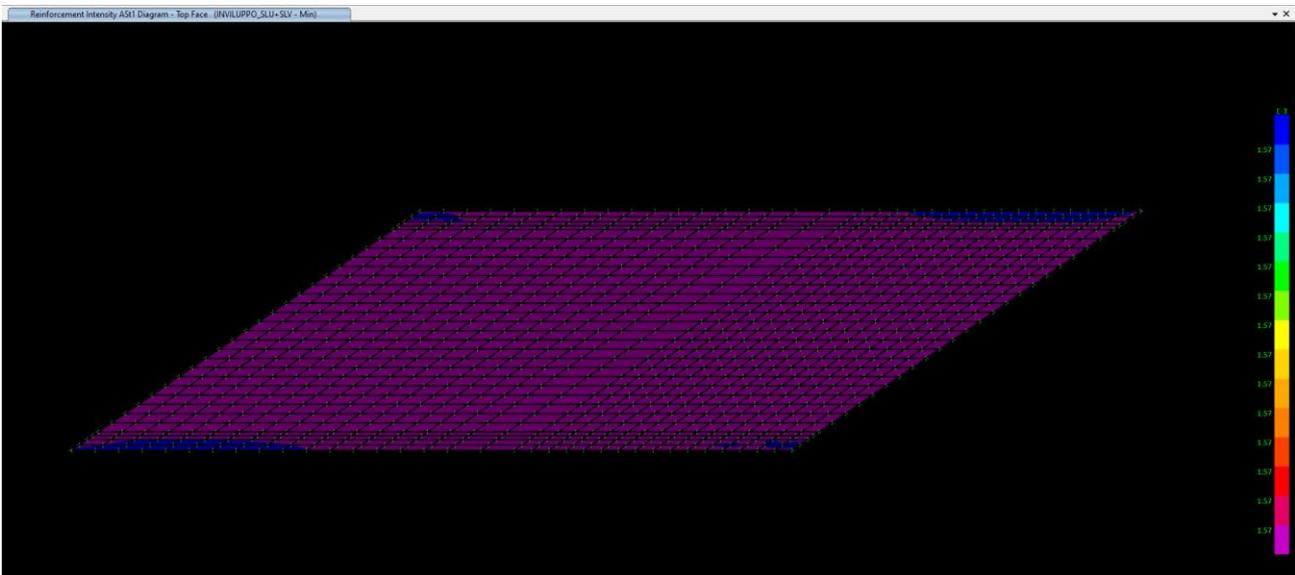


Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

Se in tale zona si considera uno strato di $\phi 26 / 20$, la verifica a flessione risulta soddisfatta.



Al lembo superiore, considerando 1 strato di $\phi 20 / 20$ correnti, la verifica a flessione è 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	

14.3 Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio

14.3.1 Taglio V23

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

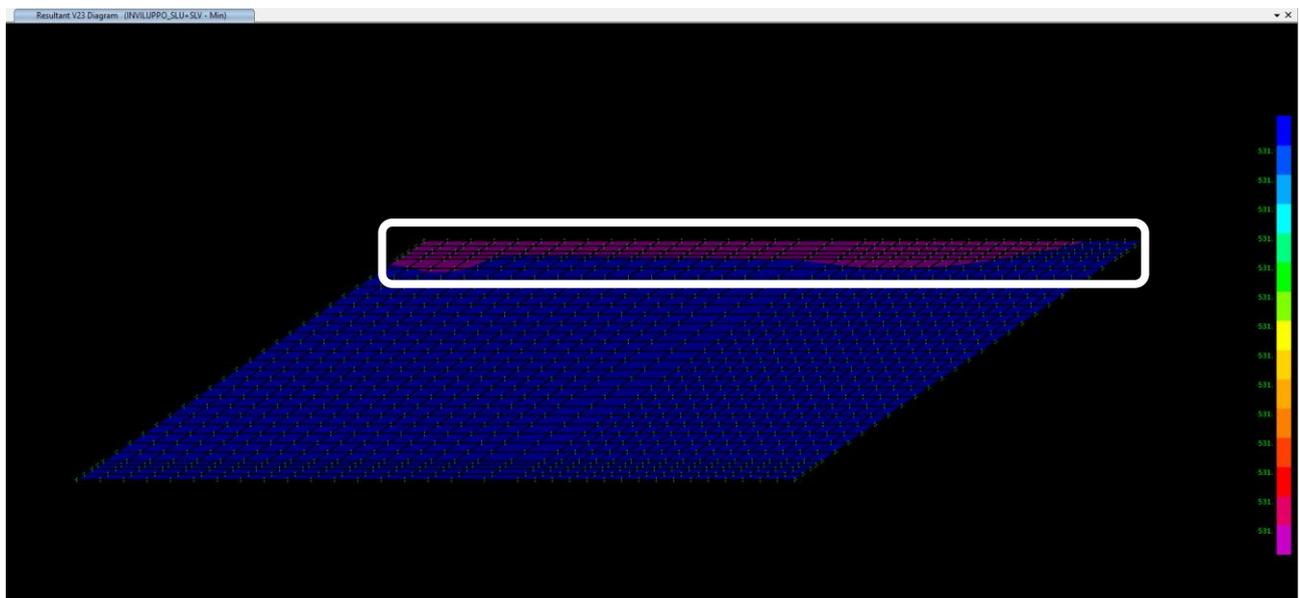
Viene dapprima il taglio resistente per elementi senza armature trasversali resistenti a taglio.

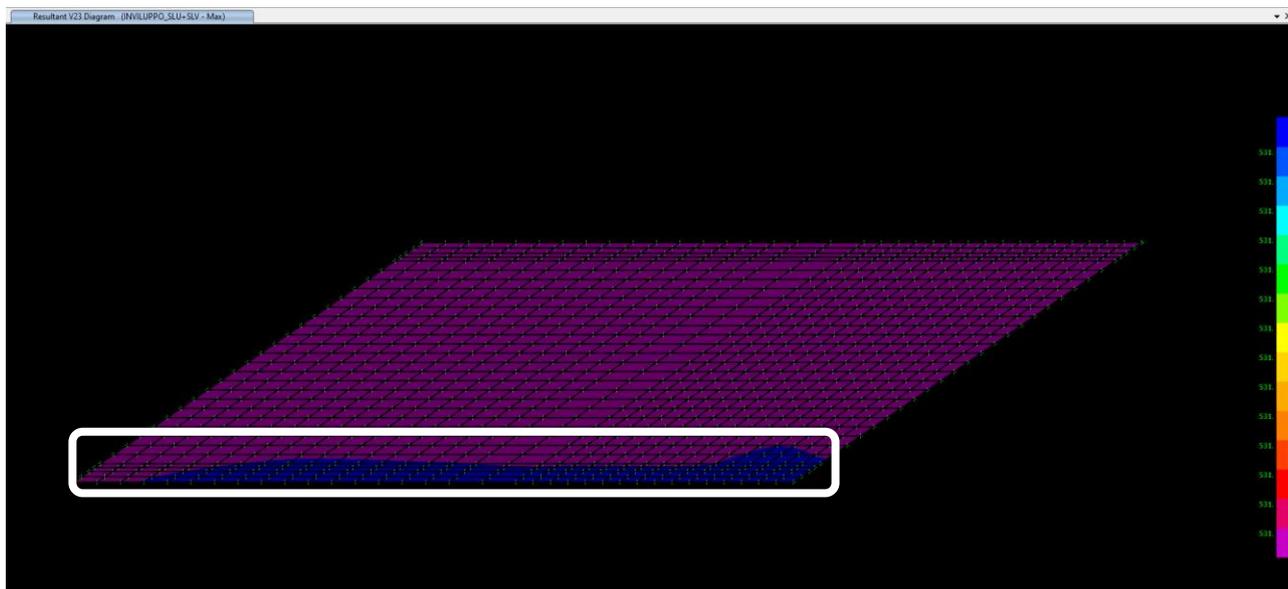
Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

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

larghezza sezione	b_w	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	1500
altezza utile sezione	d	[mm]	1396
armatura longitudinale	A_{sl}	[mm ²]	5309
rapporto geometrico di armatura longitudinale (<0.02)	ρ_l		0.004
	k		1.379
	v_{min}	[MPa]	0.320
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]	531

Come è possibile osservare nelle immagini seguenti, le zone della soletta adiacenti ai ritti verticali presentano valori del taglio sollecitante maggiori del taglio resistente calcolato.



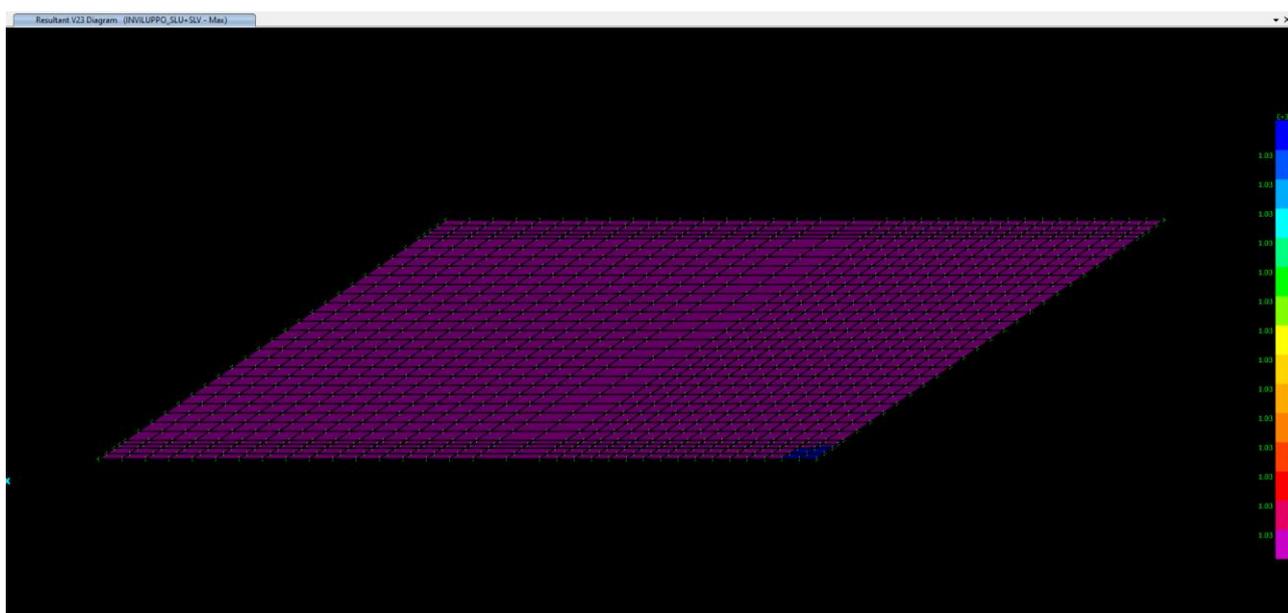
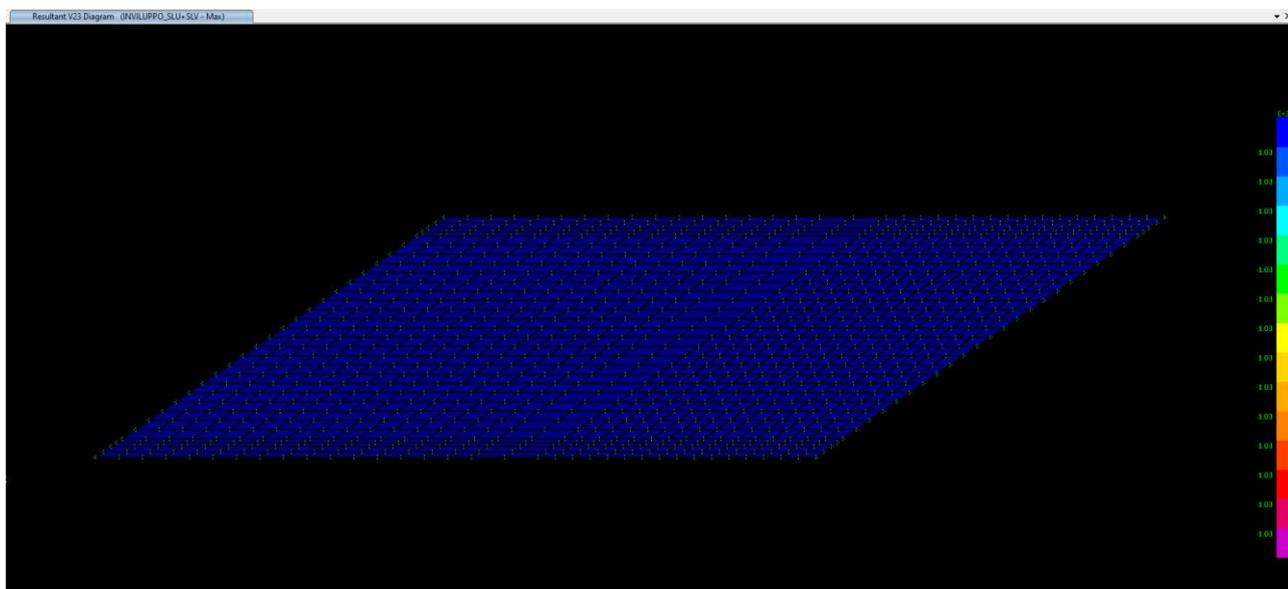


Poiché la verifica non è soddisfatta, si decide di inserire un'armatura a taglio costituita da cavallotti $\phi 16/40 \times 60$.

Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

larghezza sezione	b_w	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	1500
altezza utile sezione	d	[mm]	1396
numero armature trasversali	$n^\circ \emptyset$		1.67
diametro armature trasversali	\emptyset	[mm]	16
interasse armature trasversali	s	[mm]	400
area dell'armatura trasversale a taglio	A_{sw}	[mm ²]	335
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]	0.00
coefficiente maggiorativo in elementi compressi	α_c		1.00
resistenza a taglio trazione	V_{Rsd}	[kN]	1030
resistenza a compressione del cls ridotta	f_{cd}'	[MPa]	9.1
resistenza a taglio compressione	V_{Rcd}	[kN]	3928
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	1030

La verifica a taglio risulta ora soddisfatta, come si evince dalle immagini seguenti, in cui non si osservano zone con taglio sollecitante maggiore del taglio resistente.



14.3.2 Taglio V13

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

Viene dapprima il taglio resistente per elementi senza armature trasversali resistenti a taglio.

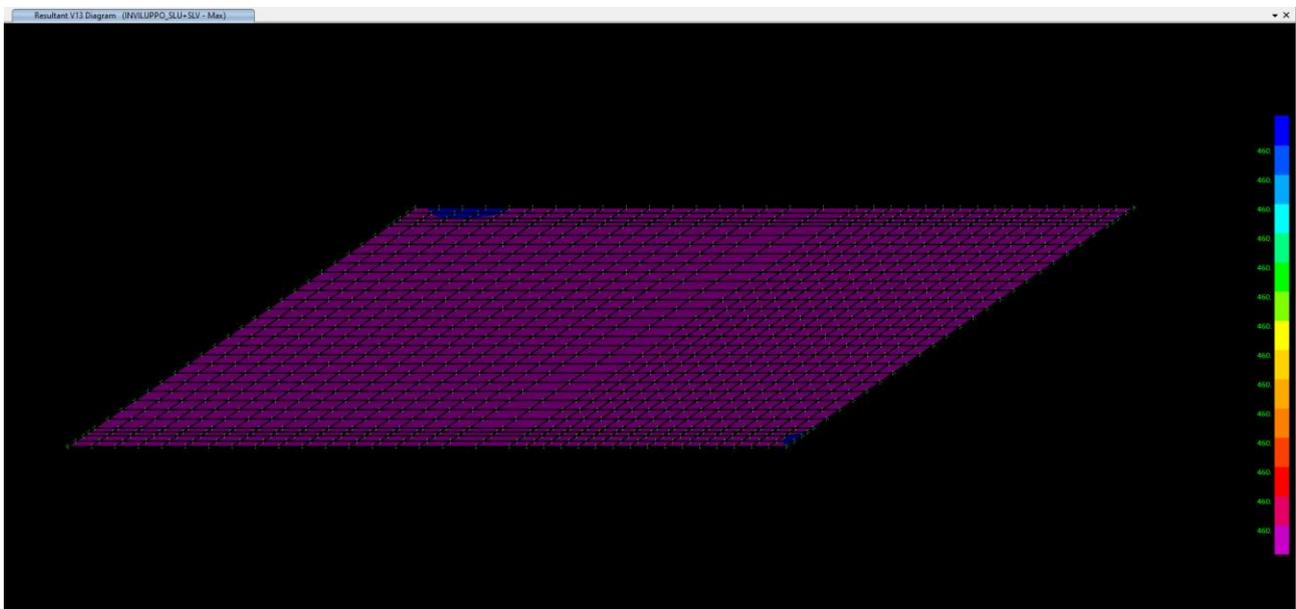
Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

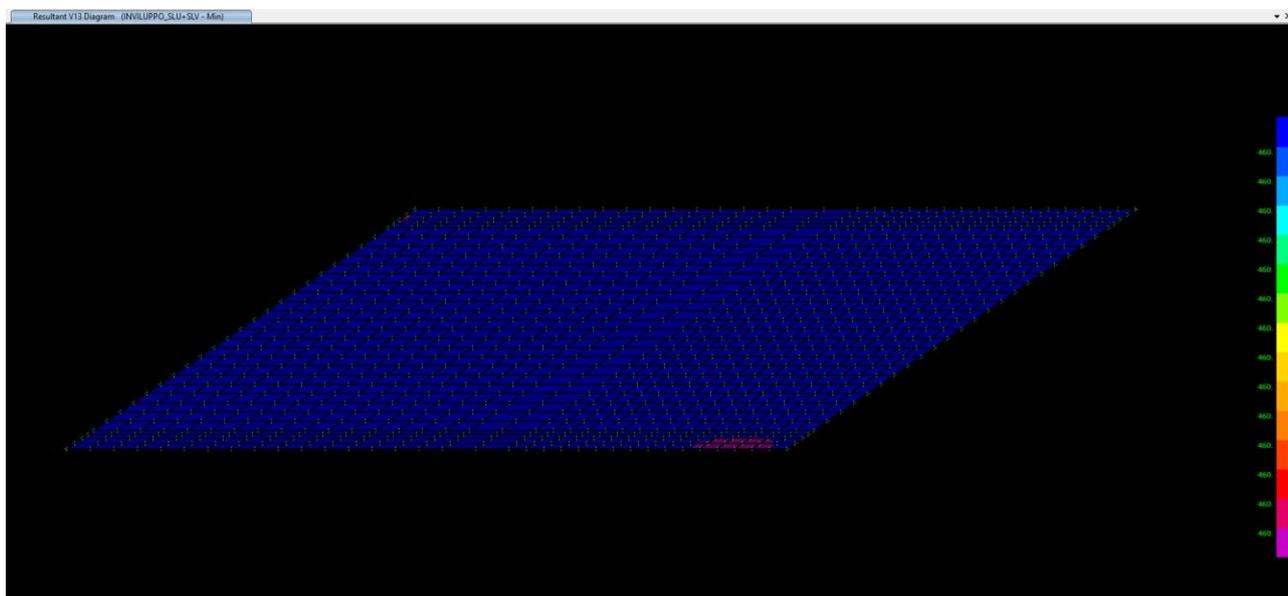
Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

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

larghezza sezione	b_w	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	1500
altezza utile sezione	d	[mm]	1445
armatura longitudinale	A_{sl}	[mm ²]	1571
rapporto geometrico di armatura longitudinale (<0.02)	ρ_l		0.001
	k		1.372
	v_{min}	[MPa]	0.318
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]	460

Come osservabile nelle immagini seguenti, la verifica a taglio senza armature trasversali si può ritenere soddisfatta. In ogni caso, essendo comunque prevista un'armatura a taglio costituita da spille $\Phi 16/40 \times 60$, la verifica risulterà ulteriormente soddisfatta.





14.4 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:

- $w_1 = 0.2 \text{ mm}$;
- $w_2 = 0.3 \text{ mm}$;
- $w_3 = 0.4 \text{ mm}$.

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, che corrispondono ai massimi momenti positivi e negativi in entrambe le direzioni; i massimi momenti negativi si hanno in campata, mentre i massimi momenti positivi si hanno nella zona adiacente ai ritzi verticali (si considerano i momenti al di fuori della zona degli angoli tra i lati e ad una distanza di circa 1 metro dall'asse dei ritzi).

SLE_frequente		SLE_QP	
M22 [kNm/m]	M11 [kNm/m]	M22 [kNm/m]	M11 [kNm/m]
-710	-240	-660	-220
1030	480	920	400

Tabella 3: Sollecitazioni di verifica

Le verifiche a fessurazione vengono eseguite mediante il software RC-SEC.

14.4.1 Momento M22 positivo massimo

GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

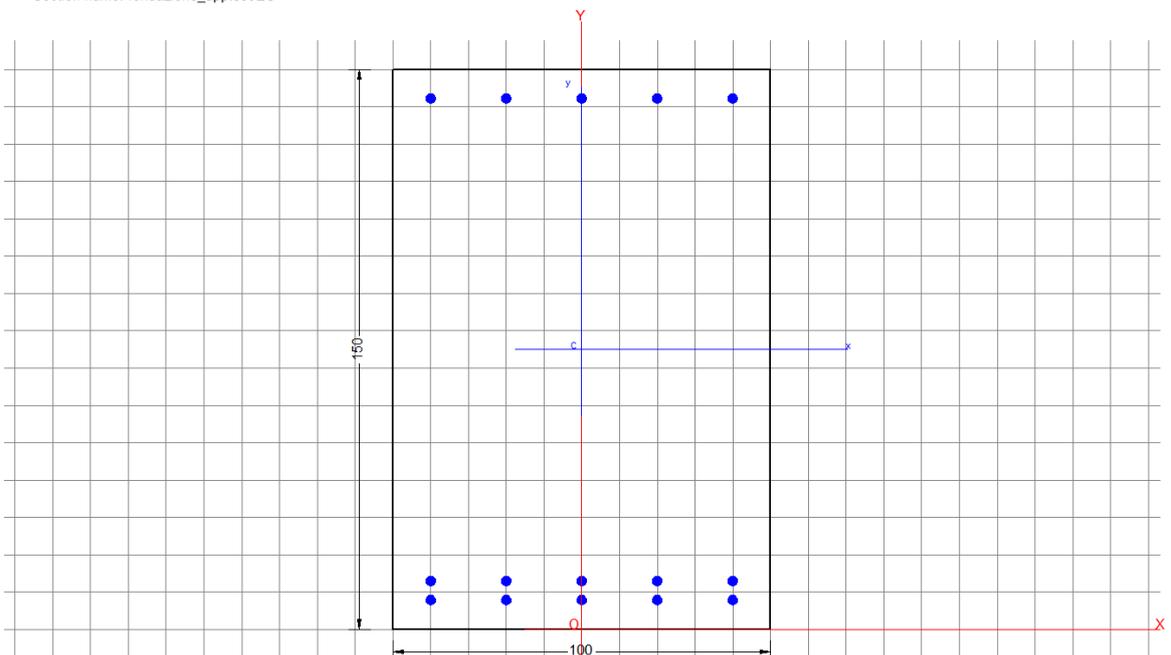
Section Name: `fondazione_app.secEC`

(File path: \\SERVER-NEW\Scambio Breng\BR21_01_PE_ANAS_SS291_CA29\WIP\Calcoli\Sottovia Ungias\RC-SEC\fondazione_app.secEC)

Section description:

Section type:	Beam
Reference code:	EC2/EC8 Italian Annex
Exposure Class:	XA1 - Chemical attack (slight 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: `fondazione_app.secEC`



CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

MATERIALS DATA

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-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 Characteristic comb.:	19.2	kN/cm ²
	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
	SLS Charact. - Ss Limit:	360.00	MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C32/40

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	50.0	150.0
2	50.0	0.0
3	-50.0	0.0
4	-50.0	150.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	20.0	13.0	26
2	0.0	13.0	26
3	-20.0	13.0	26
4	-40.0	13.0	26
5	40.0	142.2	26
6	20.0	142.2	26
7	0.0	142.2	26
8	-20.0	142.2	26
9	-40.0	142.2	26
10	40.0	7.8	26
11	20.0	7.8	26
12	0.0	7.8	26
13	-20.0	7.8	26
14	-40.0	7.8	26
15	40.0	13.0	26

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	

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	1030.00 (1366.91)	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	920.00 (1366.91)	0.00 (0.00)

SLS FREQUENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00084	0	0.500	26.0	0.00047 (0.00047)	437	0.204 (0.30)	1366.91	0.00

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

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00075	0	0.500	26.0	0.00042 (0.00042)	437	0.182 (0.20)	1366.91	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 [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 (Web)	0.65	0.40	7350	70.91	0.47	1.50	---	53.1	15.9
1	Quasi-perm.	1 (Web)	0.65	0.40	7350	63.34	0.42	1.50	---	53.1	16.0

14.4.2 Momento M22 negativo massimo

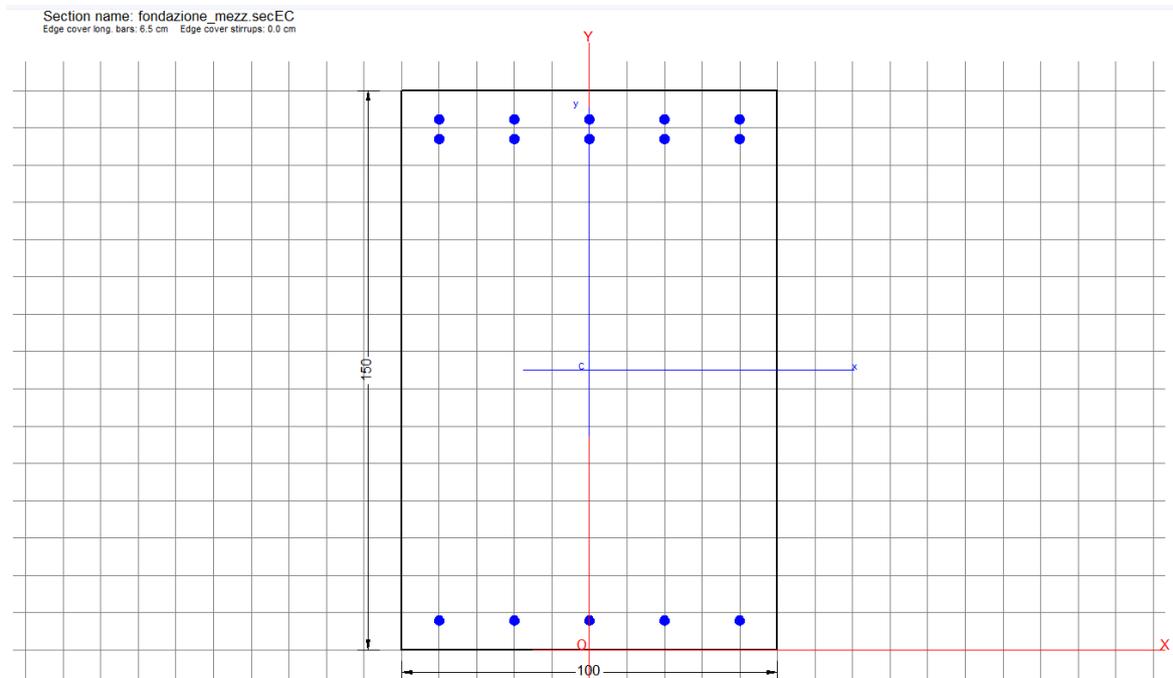
GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: **fondazione_mezz.secEC**

(File path: \\SERVER-NEW- Scambio Breng\BR21_01_PE_ANAS_SS291_CA29\WIP\Calcoli\Sottovia Ungias\RC-SEC\fondazione_mezz.secEC)

Section description:

Section type: Beam
 Reference code: EC2/EC8 Italian Annex
 Exposure Class: XC3 - Carbonation (Moderate humidity)
 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



MATERIALS DATA

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 Characteristic comb.:	19.2 kN/cm ²
	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
STEEL -	Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C
	Characteristic yield stress fyk:	450.00 MPa

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

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
SLS Charact. - Ss Limit:	360.00	MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
Concrete Class: C32/40

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	50.0	150.0
2	50.0	0.0
3	-50.0	0.0
4	-50.0	150.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	40.0	7.8	26
2	20.0	7.8	26
3	0.0	7.8	26
4	-20.0	7.8	26
5	-40.0	7.8	26
6	40.0	137.0	26
7	20.0	137.0	26
8	0.0	137.0	26
9	-20.0	137.0	26
10	-40.0	137.0	26
11	40.0	142.2	26
12	20.0	142.2	26
13	0.0	142.2	26
14	-20.0	142.2	26
15	-40.0	142.2	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	-710.00 (-1366.91)	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	-660.00 (-1366.91)	0.00 (0.00)

SLS FREQUENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N. Check	e1	e2	k2	∅	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
---------------	----	----	----	---	-------------	--------	----	----------	----------

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 OK -0.00058 0 0.500 26.0 0.00032 (0.00032) 437 0.141 (0.40) -1366.91 0.00

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	-0.00054	0	0.500	26.0	0.00030 (0.00030)	437	0.131 (0.30)	-1366.91	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 (Web)	0.65	0.40	7350	48.88	0.33	1.50	---	53.1	16.0
1	Quasi-perm.	1 (Web)	0.65	0.40	7350	45.44	0.30	1.50	---	53.1	16.0

14.4.3 M11 positivo massimo

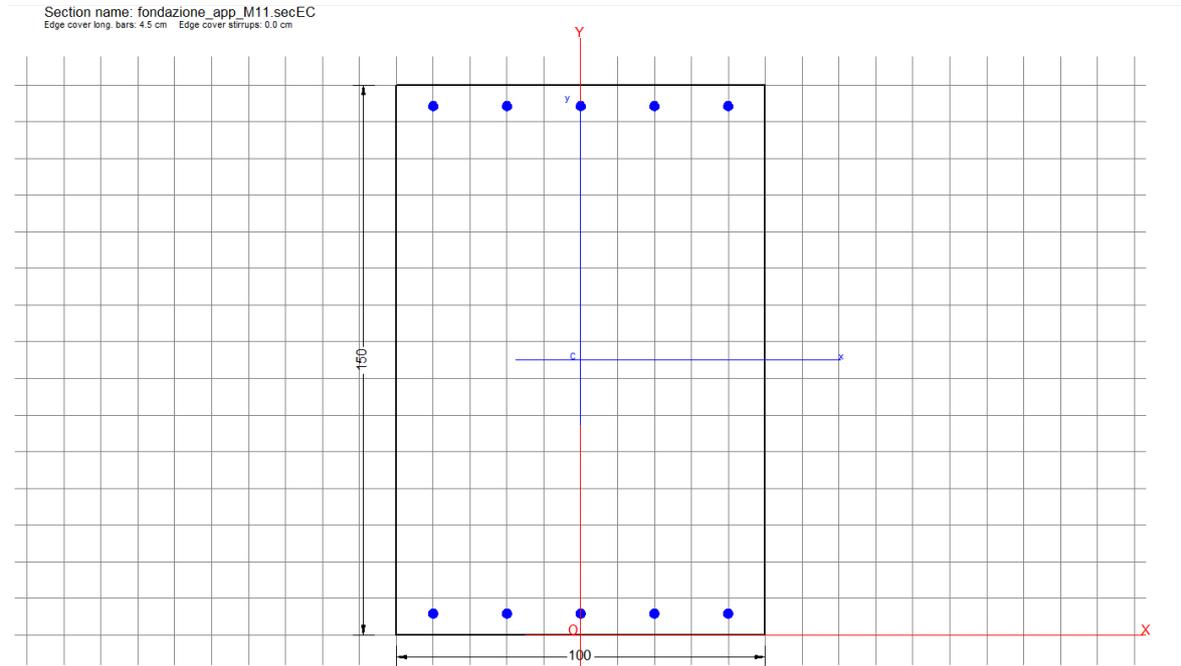
GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: fondazione_app_M11.secEC

(File path: \\SERVER-NEW\Scambio Breng\BR21_01_PE_ANAS_SS291_CA29\WIP\Calcoli\Sottovia Ungias\RC-SEC\fondazione_app_M11.secEC)

Section description:

Section type: Beam
 Reference code: EC2/EC8 Italian Annex
 Exposure Class: XA1 - Chemical attack (slight 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



MATERIALS DATA

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-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 Characteristic comb.:	19.2 kN/cm ²
	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
	SLS Charact. - Ss Limit:	360.00 MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C32/40

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	50.0	150.0
2	50.0	0.0
3	-50.0	0.0
4	-50.0	150.0

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	

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	40.0	5.8	26
2	20.0	5.8	26
3	0.0	5.8	26
4	-20.0	5.8	26
5	-40.0	5.8	26
6	40.0	144.2	26
7	20.0	144.2	26
8	0.0	144.2	26
9	-20.0	144.2	26
10	-40.0	144.2	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	480.00 (1287.69)	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	400.00 (1287.69)	0.00 (0.00)

SLS FREQUENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00070	0	0.500	26.0	0.00040 (0.00040)	394	0.158 (0.30)	1287.69	0.00

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

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00058	0	0.500	26.0	0.00033 (0.00033)	394	0.131 (0.20)	1287.69	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
---------	-----------	--------	---	----	-----	-----	----	----	-----	--------	--------

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

1	Frequent	1 (Web)	0.65	0.40	7500	0.00	0.00	0.44	---	26.5	16.4
1	Quasi-perm.	1 (Web)	0.65	0.40	7500	0.00	0.00	1.50	---	26.5	16.4

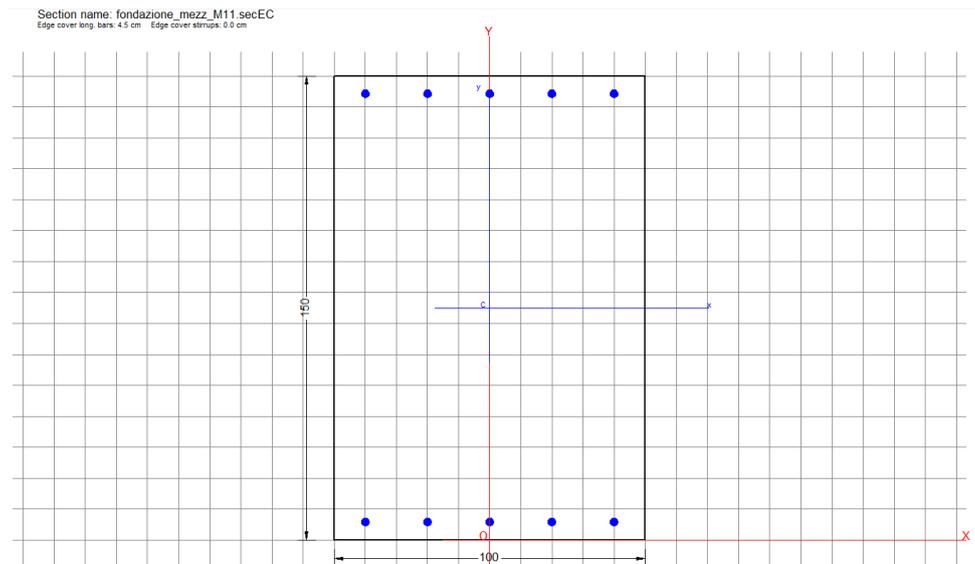
14.4.4 M11 negativo massimo

GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: **fondazione_mezz_M11.secEC**

(File path: \\SERVER-NEW\Scambio Breng\BR21_01_PE_ANAS_SS291_CA29\WIP\Calcoli\Sottovia Ungias\RC-SEC\fondazione_mezz_M11.secEC)

Section description:
 Section type: Beam
 Reference code: EC2/EC8 Italian Annex
 Exposure Class: XC3 - Carbonation (Moderate humidity)
 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



MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C32/40
	Design compressive strength fcd:	18.1 MPa
	Shear reduced compressive strenght $v_1 \cdot f_{cd}$:	9.1 MPa (6.9)EC2
	Strain at max strength ϵ_{c2} :	0.0020
	Ultimate strain ϵ_{cu} :	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle
	Mean Elastic Modulus E_{cm} :	33345.8 MPa
	Mean tensile strength f_{ctm} :	3.0 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit in SLS Characteristic comb.:	19.2 kN/cm ²
	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
STEEL -	Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C
	Characteristic yield stress f_{yk} :	450.00 MPa

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

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
SLS Charact. - Ss Limit:	360.00	MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C32/40

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	50.0	150.0
2	50.0	0.0
3	-50.0	0.0
4	-50.0	150.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	40.0	5.8	26
2	20.0	5.8	26
3	0.0	5.8	26
4	-20.0	5.8	26
5	-40.0	5.8	26
6	40.0	144.2	26
7	20.0	144.2	26
8	0.0	144.2	26
9	-20.0	144.2	26
10	-40.0	144.2	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	-250.00 (-1287.69)	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	-220.00 (-1287.69)	0.00 (0.00)

SLS FREQUENT - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00036	0	0.500	26.0	0.00021 (0.00021)	394	0.082 (0.40)	-1287.69	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		 GRUPPO FS ITALIANE
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	-0.00032	0	0.500	26.0	0.00018 (0.00018)	394	0.072 (0.30)	-1287.69	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 [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 (Web)	0.65	0.40	7500	0.00	0.00	0.44	---	26.5	16.4
1	Quasi-perm.	1 (Web)	0.65	0.40	7500	0.00	0.00	1.50	---	26.5	16.4

14.5 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.

Le verifiche tensionali vengono eseguite mediante il software RC-SEC.

Si riportano le sollecitazioni di verifica, che corrispondono ai massimi momenti positivi e negativi in entrambe le direzioni; i massimi momenti negativi si hanno in campata, mentre i massimi momenti positivi si hanno nella zona adiacente ai ritti verticali (si considerano i momenti al di fuori della zona degli angoli tra i lati e ad una distanza di circa 1 metro dall'asse dei ritti).

SLE_rara		SLE_QP	
M22 [kNm/m]	M11 [kNm/m]	M22 [kNm/m]	M11 [kNm/m]
-760	-260	-660	-220
1100	550	920	400

Tabella 4: Sollecitazioni di verifica

14.5.1 Momento M22 positivo massimo

GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

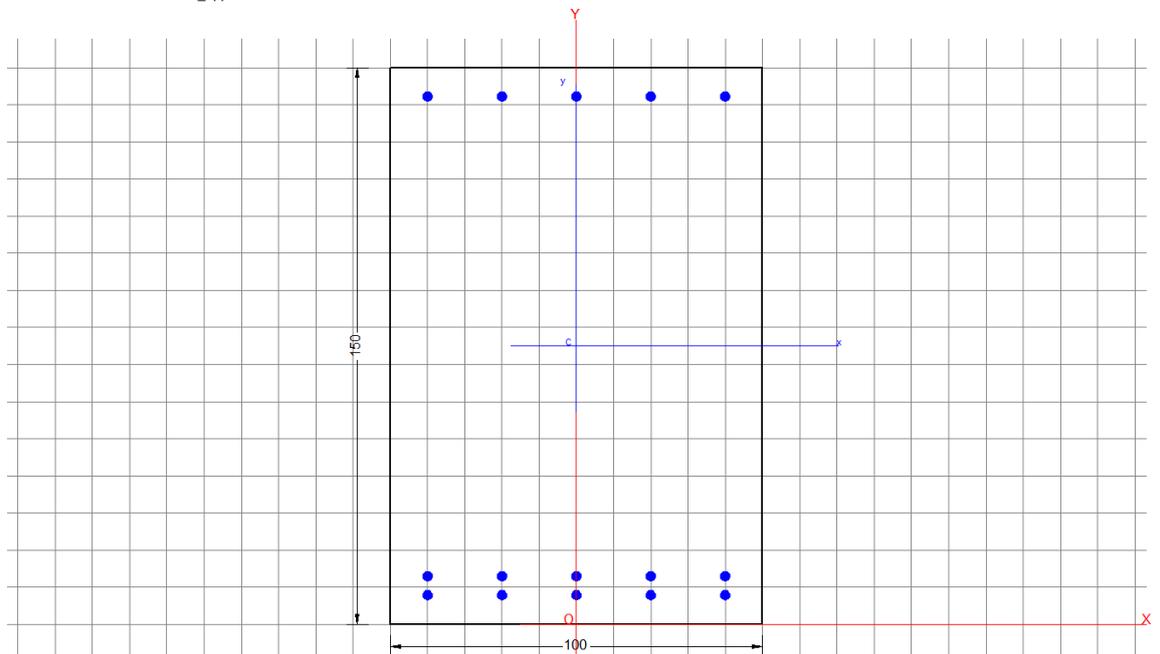
Section Name: fondazione_app.secEC

(File path: \\SERVER-NEW- Scambio Breng\BR21_01_PE_ANAS_SS291_CA29\WIP\Calcoli\Sottovia Ungias\RC-SEC\fondazione_app.secEC)

Section description:

Section type: Beam
 Reference code: EC2/EC8 Italian Annex
 Exposure Class: XA1 - Chemical attack (slight 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: fondazione_app.secEC



MATERIALS DATA

CONCRETE -

Class:	C32/40
Design compressive strength fcd:	18.1 MPa
Shear reduced compressive strenght $v_1 \cdot f_{cd}$:	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 Characteristic comb.:	19.2 kN/cm ²
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

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	

Design ultimate strain esu: 0.068
 Mean elastic modulus Es: 200000.0 MPa
 SLS Charact. - Ss Limit: 360.00 MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C32/40

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	50.0	150.0
2	50.0	0.0
3	-50.0	0.0
4	-50.0	150.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	20.0	13.0	26
2	0.0	13.0	26
3	-20.0	13.0	26
4	-40.0	13.0	26
5	40.0	142.2	26
6	20.0	142.2	26
7	0.0	142.2	26
8	-20.0	142.2	26
9	-40.0	142.2	26
10	40.0	7.8	26
11	20.0	7.8	26
12	0.0	7.8	26
13	-20.0	7.8	26
14	-40.0	7.8	26
15	40.0	13.0	26

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC 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	1100.00	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	920.00 (1366.91)	0.00 (0.00)

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete: Not considered in any case
 Check Result of Check
 Reg Number of current concrete sub-region of the cross section
 Sc max (Sc lim) Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
 Xc max, Yc max X-coordinae, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
 Ss min (Ss lim) Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa], Code limit stress is shown between brackets
 Xs min, Ys min X-coordinae, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
 Ac eff Effective tension area [cm²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
 As eff Area of tension steel bars [cm²] within Ac eff (for crack width control)
 r eff Geometrical ratio Ac eff/As eff [eq.(7.10) Ec2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	3.94 (19.2)	50.0	-55.0	-166.1 (360.0)	-40.0	7.8	2600	53.1	0.020

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	3.30 (14.4)	50.0	-55.0	-138.9 (360.0)	-40.0	7.8	2600	53.1	0.020

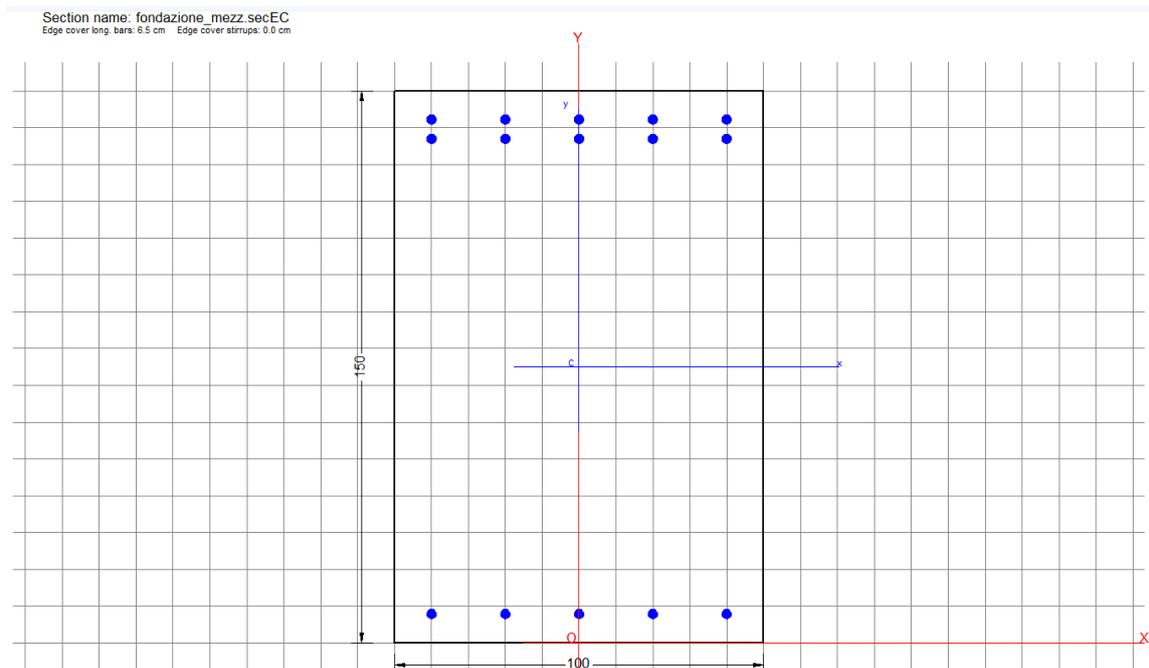
14.5.2 Momento M22 negativo massimo

GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: fondazione_mezz.secEC

(File path: \\SERVER-NEW\Scambio Breng\BR21_01_PE_ANAS_SS291_CA29\WIP\Calcoli\Sottovia Ungias\RC-SEC\fondazione_mezz.secEC)

Section description:
 Section type: Beam
 Reference code: EC2/EC8 Italian Annex
 Exposure Class: XC3 - Carbonation (Moderate humidity)
 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



CA-029

Relazione tecnica e di calcolo**MATERIALS DATA**

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-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 Characteristic comb.:	19.2	kN/cm ²
	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
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
	SLS Charact. - Ss Limit:	360.00	MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C32/40

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	50.0	150.0
2	50.0	0.0
3	-50.0	0.0
4	-50.0	150.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	40.0	7.8	26
2	20.0	7.8	26
3	0.0	7.8	26
4	-20.0	7.8	26
5	-40.0	7.8	26
6	40.0	137.0	26
7	20.0	137.0	26
8	0.0	137.0	26
9	-20.0	137.0	26
10	-40.0	137.0	26
11	40.0	142.2	26
12	20.0	142.2	26
13	0.0	142.2	26
14	-20.0	142.2	26
15	-40.0	142.2	26

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC 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.

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.	N	Mx	My
1	0.00	-760.00	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	-660.00 (-1366.91)	0.00 (0.00)

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete: Not considered in any case
 Check Result of Check
 Reg Number of current concrete sub-region of the cross section
 Sc max (Sc lim) Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
 Xc max, Yc max X-coordinae, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
 Ss min (Ss lim) Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa]. Code limit stress is shown between brackets
 Xs min, Ys min X-coordinae, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
 Ac eff Effective tension area [cm²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
 As eff Area of tension steel bars [cm²] within Ac eff (for crack width control)
 r eff Geometrical ratio Ac eff/Ac eff [eq.(7.10) Ec2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	2.72 (19.2)	50.0	0.0	-114.8 (360.0)	-40.0	142.2	2600	53.1	0.020

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	2.37 (14.4)	50.0	0.0	-99.7 (360.0)	-40.0	142.2	2600	53.1	0.020

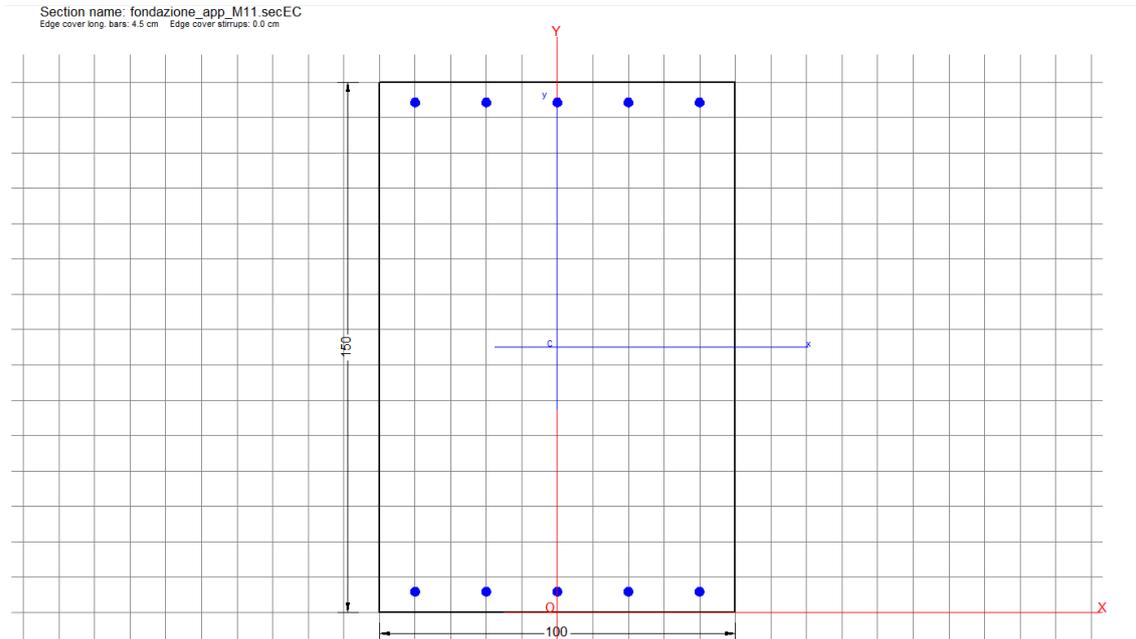
14.5.3 M11 positivo massimo

GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: [fondazione_app_M11.secEC](#)

(File path: \\SERVER-NEW\Scambio Breng\BR21_01_PE_ANAS_SS291_CA29\WIP\Calcoli\Sottovia Ungias\RC-SEC\fondazione_app_M11.secEC)

Section description:
 Section type: Beam
 Reference code: EC2/EC8 Italian Annex
 Exposure Class: XA1 - Chemical attack (slight 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



MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C32/40
	Design compressive strength f_{cd} :	18.1 MPa
	Shear reduced compressive strength $v_1 \cdot f_{cd}$:	9.1 MPa (6.9)EC2
	Strain at max strength ϵ_{c2} :	0.0020
	Ultimate strain ϵ_{cu} :	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle
	Mean Elastic Modulus E_{cm} :	33345.8 MPa
	Mean tensile strength f_{ctm} :	3.0 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit in SLS Characteristic comb.:	19.2 kN/cm ²
	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 f_{yk} :	450.00 MPa
	Tensile strength f_{tk} :	540.0 MPa
	Design yield stress f_{yd} :	391.3 MPa
	Design strength f_{td} :	391.3 MPa
	Design ultimate strain ϵ_{su} :	0.068
	Mean elastic modulus E_s :	200000.0 MPa
	SLS Character. - S_s Limit:	360.00 MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Polygonal
 Concrete Class: C32/40

Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	50.0	150.0
2	50.0	0.0
3	-50.0	0.0
4	-50.0	150.0

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	

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	40.0	5.8	26
2	20.0	5.8	26
3	0.0	5.8	26
4	-20.0	5.8	26
5	-40.0	5.8	26
6	40.0	144.2	26
7	20.0	144.2	26
8	0.0	144.2	26
9	-20.0	144.2	26
10	-40.0	144.2	26

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC 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	550.00	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	400.00 (1287.69)	0.00 (0.00)

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete: Not considered in any case
 Check Result of Check
 Reg Number of current concrete sub-region of the cross section
 Sc max (Sc lim) Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
 Xc max, Yc max X-coordinae, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
 Ss min (Ss lim) Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa], Code limit stress is shown between brackets
 Xs min, Ys min X-coordinae, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
 Ac eff Effective tension area [cm²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
 As eff Area of tension steel bars [cm²] within Ac eff (for crack width control)
 r eff Geometrical ratio Ac eff/Ac eff [eq.(7.10) Ec2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	2.40 (19.2)	50.0	0.0	-152.7 (360.0)	-40.0	5.8	1450	26.5	0.018

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	1.75 (14.4)	50.0	0.0	-111.1 (360.0)	-40.0	5.8	1450	26.5	0.018

14.5.4 M11 negativo massimo

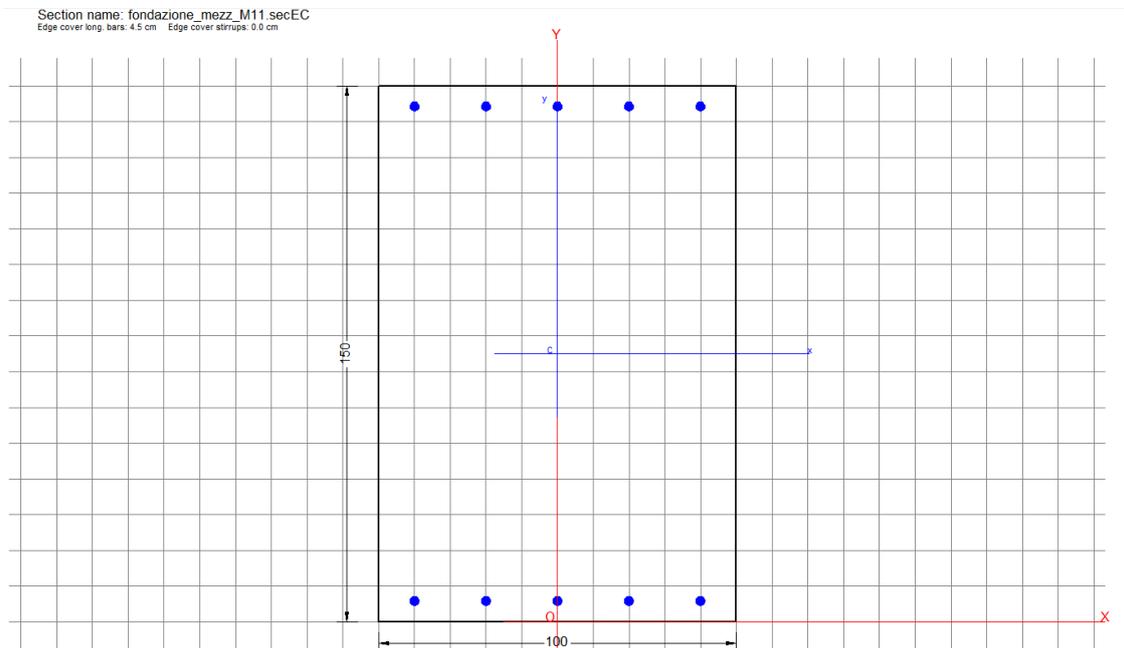
GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: **fondazione_mezz_M11.secEC**

(File path: \\SERVER-NEW\Scambio Breng\BR21_01_PE_ANAS_SS291_CA29\WIP\Calcoli\Sottovia Ungias\RC-SEC\fondazione_mezz_M11.secEC)

Section description:

Section type: Beam
 Reference code: EC2/EC8 Italian Annex
 Exposure Class: XC3 - Carbonation (Moderate humidity)
 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



MATERIALS DATA

CONCRETE -

Class:	C32/40
Design compressive strength f_{cd} :	18.1 MPa
Shear reduced compressive strength $v_1 \cdot f_{cd}$:	9.1 MPa (6.9)EC2
Strain at max strength ϵ_{c2} :	0.0020
Ultimate strain ϵ_{cu} :	0.0035
Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle
Mean Elastic Modulus E_{cm} :	33345.8 MPa
Mean tensile strength f_{ctm} :	3.0 MPa
Es/Ec in SLS combination:	15.00
Stress limit in SLS Characteristic comb.:	19.2 kN/cm ²
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

STEEL -

Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C
Characteristic yield stress f_{yk} :	450.00 MPa
Tensile strength f_{tk} :	540.0 MPa
Design yield stress f_{yd} :	391.3 MPa
Design strength f_{td} :	391.3 MPa
Design ultimate strain ϵ_{su} :	0.068
Mean elastic modulus E_s :	200000.0 MPa

SLS Charact. - Ss Limit: 360.00 MPa

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region:	Polygonal	
Concrete Class:	C32/40	
Vertex N.:	X [cm]	Y [cm]
1	50.0	150.0
2	50.0	0.0
3	-50.0	0.0
4	-50.0	150.0

DATA ISOLATED LONGITUDINAL BARS

Bar N.	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	40.0	5.8	26
2	20.0	5.8	26
3	0.0	5.8	26
4	-20.0	5.8	26
5	-40.0	5.8	26
6	40.0	144.2	26
7	20.0	144.2	26
8	0.0	144.2	26
9	-20.0	144.2	26
10	-40.0	144.2	26

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC 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	-260.00	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	-220.00 (-1287.69)	0.00 (0.00)

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete:	Not considered in any case
Check	Result of Check
Reg	Number of current concrete sub-region of the cross section
Sc max (Sc lim)	Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
Xc max, Yc max	X-coordinae, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
Ss min (Ss lim)	Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa], Code limit stress is shown between brackets
Xs min, Ys min	X-coordinae, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
Ac eff	Effective tension area [cm²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
As eff	Area of tension steel bars [cm²] within Ac eff (for crack width control)
r eff	Geometrical ratio Ac eff/Ac eff [eq.(7.10) Ec2]

NComb Reg Check Sc max Xc max Yc max Ss min Xs min Ys min Ac eff As eff r eff

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	

1 1 OK 1.13 (19.2) 50.0 0.0 -72.2 (360.0) -40.0 144.2 1450 26.5 0.018

SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	0.96 (14.4)	50.0	0.0	-61.1 (360.0)	-40.0	144.2	1450	26.5	0.018

15 CORDOLO – VERIFICA STRUTTURALE

Si esegue la verifica del cordolo, disposto lungo il bordo obliquo della soletta superiore.

Il cordolo presenta una sezione rettangolare con base pari a 150 cm ed altezza pari a 130 cm.

15.1 Verifica a flessione

Si esegue la verifica a flessione nelle seguenti sezioni, con l'armatura indicata nella tabella seguente.

Sezione	$M_{s,d}$ [kNm]	Armatura inferiore	Armatura superiore
Campata (M+ max)	1367.5	5 + 5 ϕ 26	5 ϕ 26
Appoggio sui ritzi (M-max)	-1947.3	5 ϕ 26	5 + 5 ϕ 26

Tabella 5: Sezioni di verifica, sollecitazioni di calcolo ed armatura

Le armature longitudinali vengono disposte in direzione obliqua lungo l'asse del cordolo.

Le verifiche vengono eseguite mediante il software VCA-SLU.

15.1.1 Verifica in campata (M+ massimo)

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $M_{sd} = 1367.5$ kNm.

Verifica C.A. S.L.U. - File: cordolo_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	150	130

N°	As [cm²]	d [cm]
1	26.55	7.2
2	26.55	122.8
3	26.55	117.6

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="0"/> kNm
M _{yEd} <input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

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="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"/> ‰	σ _{c,adm} <input type="text" value="12.25"/>
σ _{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} kNm

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ε_c ‰

ε_s ‰

d cm

x x/d

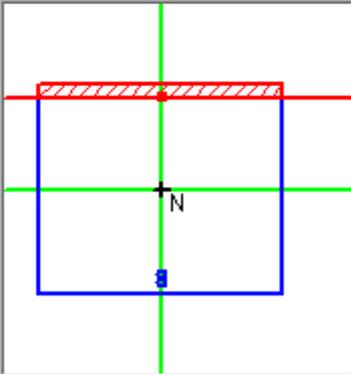
δ

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

L₀ cm

Precompresso

Il momento resistente della sezione vale $M_{rd} = 2416 \text{ kNm/m}$.

Essendo $M_{rd}/M_{sd} = 1.76 > 1$, la verifica risulta soddisfatta.

15.1.2 Verifica all'appoggio (M- massimo)

La combinazione maggiormente gravosa è risultata essere la combinazione statica.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $M_{sd} = -1947.3 \text{ kNm}$

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

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]
1	150	130

N°	As [cm²]	d [cm]
1	26.55	7.2
2	26.55	122.8
3	26.55	12.4

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

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

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L_o 0 cm Col. modello

Precompresso

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
σ _{s,adm}	255 N/mm²	τ _{co}	0.7333
		τ _{c1}	2.114

M_{xRd} -2'416 kNm

σ_c -18.13 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ε_c 3.5 ‰
 ε_s 48.51 ‰
 d 122.8 cm
 x 8.265 x/d 0.0673
 δ 0.7

Il momento resistente della sezione vale $M_{rd} = -2416 \text{ kNm}$

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	

15.2 Verifica a taglio

L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a $V_{s,d} = 1050 \text{ kN}$ e si ha in adiacenza all'appoggio sui ritti verticali.

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]	1500
altezza sezione	h	[mm]	1300
altezza utile sezione	d	[mm]	1242
armatura longitudinale	A_{sl}	[mm ²]	5309
rapporto geometrico di armatura longitudinale (<0.02)	ρ_l		0.003
	k		1.401
	v_{\min}	[MPa]	0.328
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]	655
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	1050

Non verificato

Poiché la verifica non è soddisfatta, si decide di inserire staffe $\phi 14/25$ a 4 bracci.

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

- $A_{staffe} \geq 1.5 b \text{ mm}^2/\text{m} = 1.5 \times 300 = 2250 \text{ mm}^2/\text{m}$;
- Minimo 3 staffe metro $\Rightarrow s \leq 33.3 \text{ cm}$
- $s \leq 0.8 d = 0.8 \times d = 99.36 \text{ cm}$

Con le staffe scelte, le prescrizioni risultano soddisfatte.

Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

larghezza sezione	b_w	[mm]	1500
altezza sezione	h	[mm]	1300
altezza utile sezione	d	[mm]	1242
numero armature trasversali	$n^\circ \emptyset$		4.00
diametro armature trasversali	\emptyset	[mm]	14
interasse armature trasversali	s	[mm]	250
area dell'armatura trasversale a taglio	A_{sw}	[mm ²]	616

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	

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]	0.00
coefficiente maggiorativo in elementi compressi	α_c		1.00
resistenza a taglio trazione	V_{Rsd}	[kN]	2693
resistenza a compressione del cls ridotta	f_{cd}'	[MPa]	9.1
resistenza a taglio compressione	V_{Rcd}	[kN]	5242
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	2693
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	1050

verificato

La verifica a taglio con armature trasversali risulta soddisfatta, con rapporto $V_{Rd}/V_{Ed} = 2.56 > 1$.