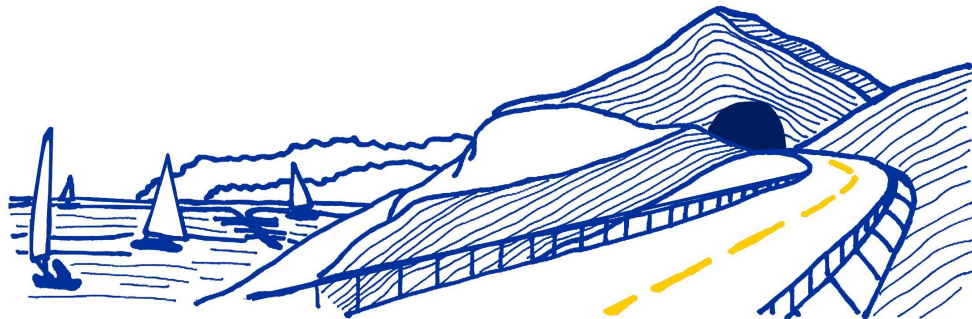


**VARIANTE ALLA S.S.1 AURELIA (AURELIA BIS)
VIABILITA' DI ACCESSO ALL' HUB PORTUALE DI LA SPEZIA
INTERCONNESSIONE TRA I CASELLI DELLA A-12 E IL PORTO DI LA SPEZIA
3° LOTTO TRA FELETTINO E IL RACCORDO AUTOSTRADALE**

PROGETTO ESECUTIVO DI STRALCIO E COMPLETAMENTO C - 3° TRATTO

PROGETTO ESECUTIVO

GE265



VISTO: IL RESPONSABILE
DEL PROCEDIMENTO

RESPONSABILE
DELL'INTEGRAZIONE DELLE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

PROGETTISTA SPECIALISTA

IL COORDINATORE DELLA
SICUREZZA IN FASE DI
PROGETTAZIONE

Ing. Fabrizio CARDONE

Ing. Alessandro RODINO

Ing. Alessandro RODINO

Dott. Domenico TRIMBOLI

**OPERE MAGGIORI
GALLERIE ARTIFICIALI
GALLERIA ARTIFICIALE SCATOLARE LE FORNACI 2
RELAZIONE DI CALCOLO**

CODICE PROGETTO

NOME FILE

REVISIONE

SCALA:

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

0000_P00GA03STRRE01_A

DPGE0265 E 20

CODICE ELAB. P00GA03STRRE01

A

-

C					
B					
A	EMISSIONE	Marzo 2021	M. Barale	E. Giraudò	A. Rodino
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE	pag.
1. PREMESSA	1
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
3. STATO DEI LAVORI	4
4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	12
$A_{MAX} = AG \cdot SS \cdot ST = 0.212G$	12
5. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	13
5.1 Calcestruzzo	13
5.2 Acciaio per armature ordinarie	13
6. CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE	14
6.1 Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU).....	14
6.1.1 Resistenza a sforzo normale e flessione	14
6.1.2 Resistenza nei confronti di sollecitazioni taglienti.....	15
6.2 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE).....	17
6.2.1 Verifica di fessurazione	17
6.2.2 Verifica delle tensioni di esercizio	18
6.3 Combinazione delle azioni.....	19
7. SOLETTONE DI COPERTURA.....	20
7.1 Modello di calcolo	20
7.2 Analisi dei carichi	21
7.2.1 Peso proprio (DEAD)	21
7.2.2 Carichi permanenti non strutturali (PERM)	21
7.2.3 Carichi variabili (VAR).....	22
7.3 Casi di carico e tipologie di analisi eseguite	23
7.4 Combinazione delle azioni.....	24
7.5 Sollecitazioni.....	26
7.6 Verifiche	28
7.6.1 Sezioni di verifica indagate	28
7.6.2 Sezione di verifica A-A	29
7.6.3 Sezione di verifica B-B	34

7.6.4	Sezione di verifica C-C	42
7.6.5	Sezione di verifica D-D	45
7.6.6	Verifiche a momento flettente longitudinale	54
7.6.7	Verifica di deformabilità	57
8.	SOLETTONE DI FONDO	58
8.1	Modello di calcolo	58
8.2	Analisi dei carichi	59
8.2.1	Peso proprio (DEAD)	59
8.2.2	Carichi permanenti non strutturali (PERM)	59
8.2.3	Sottospinta idrostatica (SI)	59
8.2.4	Carichi variabili (VAR)	60
8.3	Casi di carico e tipologie di analisi eseguite	61
8.4	Combinazione delle azioni	62
8.5	Sollecitazioni	65
8.6	Verifiche	66
8.6.1	Sezioni di verifica indagate	66
8.6.2	Sezione di verifica A-A	67
8.6.3	Sezione di verifica B-B	72
8.6.4	Sezione di verifica C-C	75
8.6.5	Sezione di verifica D-D	78
8.6.6	Sezione di verifica E-E	82
8.6.7	Sezione di verifica F-F – solettone di fondo vasca di sollevamento	86
8.6.8	Verifiche a momento flettente longitudinale	89
8.6.9	Verifica di deformabilità	92
9.	SOLETTONE INTERMEDIO VASCA DI SOLLEVAMENTO	93
9.1	Modello di calcolo	93
9.2	Analisi dei carichi	94
9.2.1	Peso proprio (DEAD)	94
9.2.2	Carichi variabili (VAR)	94
9.3	Casi di carico e tipologie di analisi eseguite	94
9.4	Combinazione delle azioni	95
9.5	Sollecitazioni	97

9.6	Verifiche	99
9.6.1	Sezioni di verifica indagate	99
9.6.2	Sezione di verifica G-G	100
10.	RIMPELLI.....	104
10.1	Modello di calcolo	104
10.2	Analisi dei carichi	105
10.2.1	Peso proprio (DEAD)	105
10.2.2	Spinta idrostatica (SI)	105
10.3	Casi di carico e tipologie di analisi eseguite	107
10.4	Combinazione delle azioni.....	108
10.5	Sollecitazioni.....	109
10.6	Verifiche	111
10.6.1	Sezioni di verifica indagate	111
10.6.2	Sezione di verifica R-1	112
10.6.3	Sezione di verifica R-2	119
10.6.4	Sezione di verifica R-3	127

1. Premessa

La presente Relazione viene redatta nell'ambito della redazione del Progetto Esecutivo di Completamento dello "Stralcio C" dei "Lavori di costruzione della variante alla S.S. 1 Aurelia (Aurelia bis), viabilità di accesso all'HUB portuale di La Spezia, interconnessione tra i caselli della A 12 e il porto di La Spezia – 3° Lotto tra Felettino ed il raccordo autostradale".

La presente relazione fa riferimento alla progettazione esecutiva di completamento della Galleria artificiale Fornaci II.

La presente relazione si riferisce in particolare agli elementi della Galleria Artificiale ancora da realizzare seguenti:

- Solettone di copertura;
- Solettone di fondo;
- Rimpelli.

Per il tratto di Galleria Artificiale scatolare si rimanda alla relativa relazione.

Trattandosi del Progetto di completamento di un'infrastruttura in avanzata fase realizzativa, nel seguito, dopo una generale descrizione dell'infrastruttura, si porrà l'attenzione e si descriveranno nel dettaglio lo stato di avanzamento dei lavori.

Nella progettazione delle opere e parti d'opera da realizzare, non si sono potuti apportare modifiche sostanziali alle opere così come precedentemente progettate ed autorizzate in sede di approvazione della Progettazione Definitiva e successivamente progettate nella sede della Progettazione Esecutiva e Costruttiva trasmesseci da ANAS SpA.

Non sono stati pertanto variati i tracciati stradali ed i dati di tracciamento delle opere, sia per l'asta principale che per gli svincoli.

Lo stato di avanzamento dei lavori è stato desunto dalla documentazione di As-Built trasmessaci.

Le indagini geognostiche e le relative risultanze sulle quali si basa l'attuale Progetto di completamento, fanno riferimento al complesso delle indagini programmate, svolte ed analizzate nella sede progettuale costruttiva precedente.

Nell'attuale Progetto di Completamento sono stati talvolta riportati, al fine di garantire la completezza e migliorare la comprensione del progetto, elaborati di As-Built relativi alle parti d'opera già realizzate trasmessi dalla Stazione appaltante.

2. Normativa di riferimento

Con riferimento al quadro normativo di riferimento progettuale per le strutture, si evidenzia che, il D.M. 17/01/2018 “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»”, prevede, all’Art. 2 “Ambito di applicazione e disposizioni transitorie”, che *“per le opere pubbliche o di pubblica utilità in corso di esecuzione, per i contratti pubblici di lavori già affidati, nonché per i progetti definitivi o esecutivi già affidati prima della data di entrata in vigore delle norme tecniche per le costruzioni, si possono continuare ad applicare le previgenti norme tecniche per le costruzioni fino all’ultimazione dei lavori ed al collaudo statico degli stessi”*.

Pertanto, essendo l’attività da svolgere il progetto di completamento di opere già parzialmente realizzate il riferimento normativo di riferimento restano le Norme tecniche per le costruzioni» di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008.

Per quanto sopra la normativa di riferimento per il calcolo e la verifica delle strutture risulta essere la seguente:

- Decreto 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni".
- Circolare Ministero Infrastrutture e Trasporti n. 617 del 2 Febbraio 2009 - “Istruzioni per l’applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 Gennaio 2008”.
- Legge 5 novembre 1971, n. 1086 - Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Circolare Ministero dei Lavori pubblici 14 febbraio 1974, n.11951 – Applicazione delle norme sul cemento armato.
- Eurocodici UNI EN 1990:2006; UNI EN 1991; UNI EN 1992; UNI EN 1993; UNI EN 1994; UNI EN 1997; UNI EN 1998
- Calcestruzzo - specificazione, prestazione, produzione e conformità (UNI EN 206-1:2006);
- UNI EN 1992-1-1:2005 - EC 2: PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE DI CALCESTRUZZO;
- D.M. LL. PP. 11 marzo 1988 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione” e le relative istruzioni (Circolare Ministero Lavori Pubblici 24 settembre 1988, N. 30483 - Circolare Ministero Lavori Pubblici 9 gennaio 1996, N. 218/24/3).
- D.M. LL. PP. 14 febbraio 1992 “Norme tecniche per l’esecuzione delle opere in

cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche” e le relative istruzioni (Circolare Ministero Lavori Pubblici 24 giugno 1993, N. 37406/STC).

- D.M. LL. PP. 9 gennaio 1996 “Norme tecniche per il calcolo, l’ecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche” e le relative istruzioni (Circolare Ministero Lavori Pubblici 15 ottobre 1996, N. 252).
- D.M. LL. PP. 16 gennaio 1996 “Norme tecniche relative ai «Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi»” e le relative istruzioni (Circolare Ministero Lavori Pubblici 4 luglio 1996, N. 156AA.GG./STC).
- Legge 2 Febbraio 1974 n° 64 - “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- D.M. LL. PP. 16 gennaio 1996 “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche” e le relative istruzioni (Circolare Ministero Lavori Pubblici 10 aprile 1997, N. 65/AA.GG.).
- Ordinanza n. 3274 20 marzo 2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e s.m.i.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri – Ordinanza n. 3519 del 28 Aprile 2006 - “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”.

3. Stato dei lavori

La galleria artificiale in oggetto, della lunghezza complessiva pari a circa 196 m, è realizzata quasi interamente con il sistema “cut and cover”: la struttura è composta da diaframmi in c.a. a sezione rettangolare di spessore variabile pari a 1.00 m e 1.20 m in funzione delle altezze di scavo, collegati rigidamente in testa ad un solettone in c.a. di spessore pari a 1.20 m.

A quota fondo scavo, un solettone in cemento armato di spessore pari a 1.50 m e rimpelli in c.a. di rivestimento della parete interna dei diaframmi (Spessore 60÷80 cm) completano la sezione.

Si distingue una sezione a singola canna nella parte iniziale della Galleria Artificiale, all’attacco con la Galleria Naturale Fornaci I, che si dirama a doppia canna nel tratto centrale, per l’alloggiamento delle rampe dello svincolo Melara.

Il tratto finale dell’opera, per gli ultimi 20 m circa in corrispondenza con le rampe di svincolo prevede una struttura scatolare chiusa in c.a., da realizzarsi con scavo a cielo aperto.

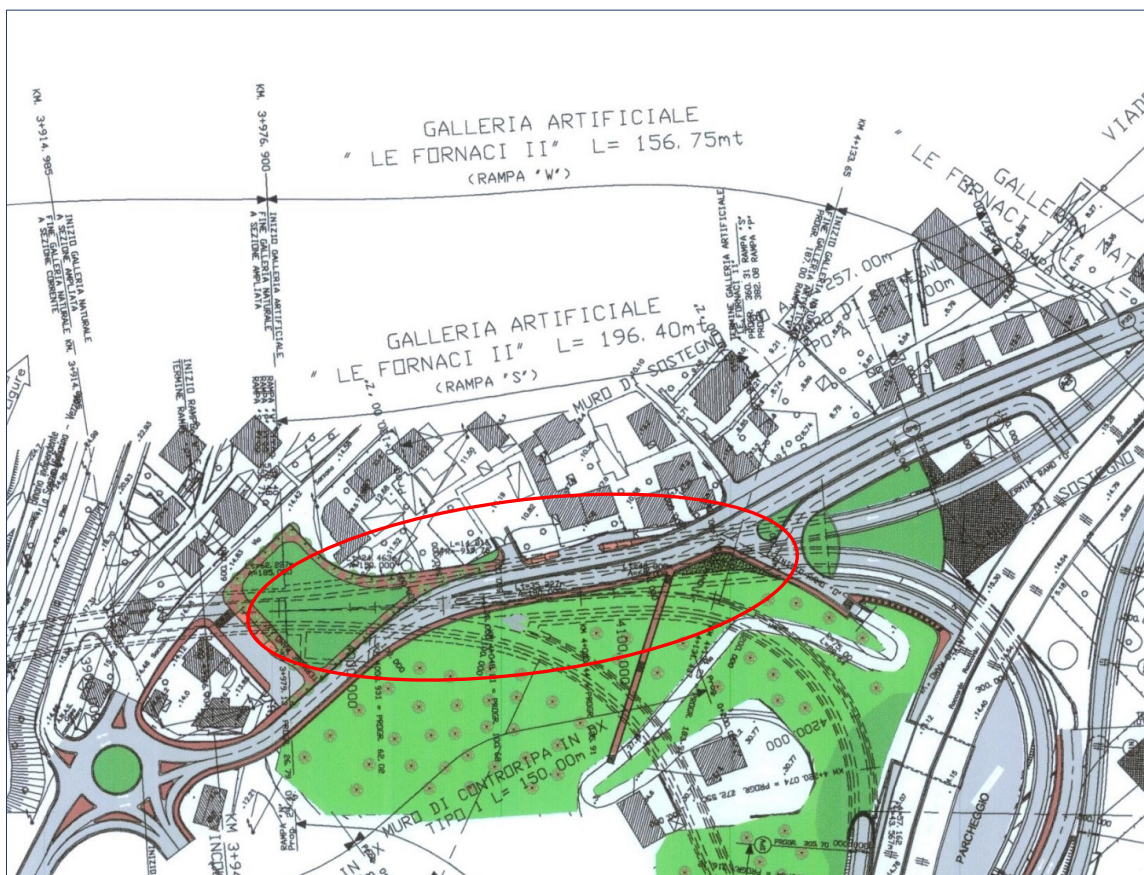


Figura 1 – Galleria artificiale Fornaci II – Ubicazione planimetrica



Figura 2 – Galleria artificiale Fornaci II – Planimetria di progetto

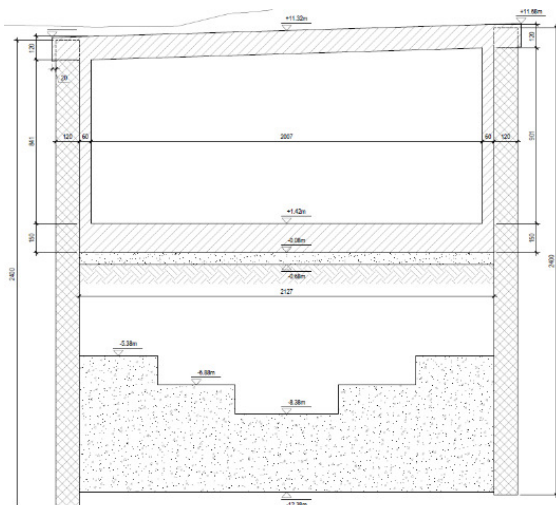


Figura 3: Sezione GA Fornaci II – Sezione tipo a una canna

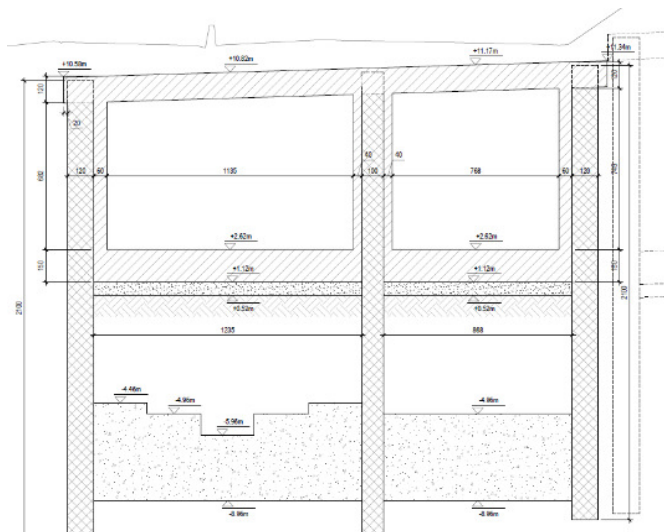


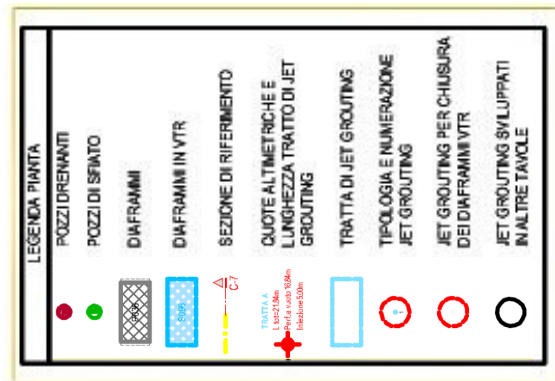
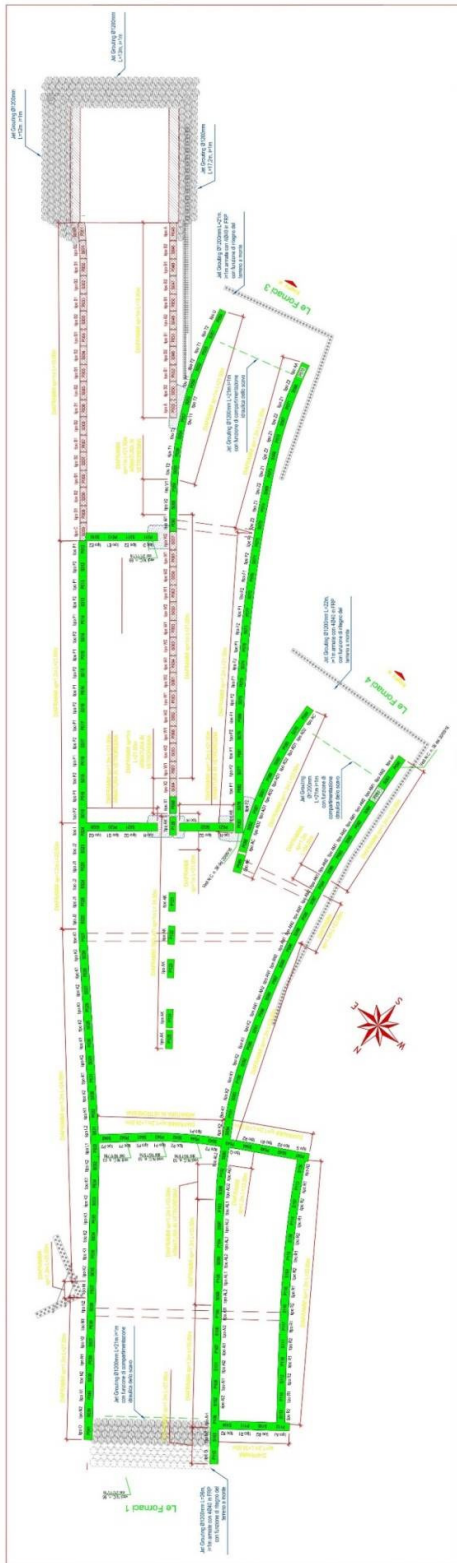
Figura 4: Sezione GA Fornaci II – Sezione tipo a due canne

Lo stato di avanzamento dei lavori risulta il seguente:

- Galleria artificiale: eseguiti 190 diaframmi su 238 previsti di cui 167 armati con barre in acciaio e 23 con barre in vtr;
- Jet -grouting eseguito: jet-grouting tappi di fondo sotto lo scatolare di imbocco, jet-grouting colonne paratie sul lato di imbocca e sul lato via Melara dello scatolare in cls, parte dei jet-grouting tappi di fondo vasca 4.

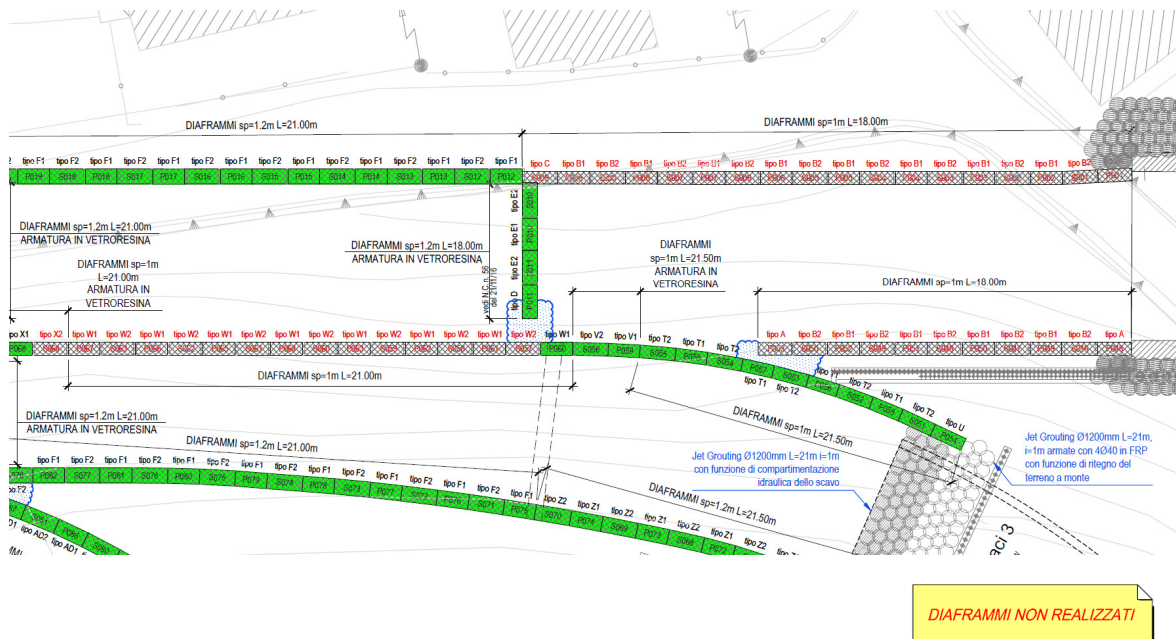


Figura 5 – Galleria artificiale Fornaci II – Vista a fine cantiere da drone

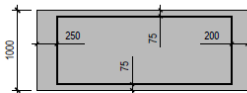


Parti contabilizzate

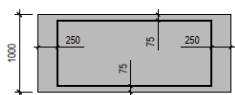
Figura 6 – Galleria artificiale Fornaci II – Planimetria - Paratie realizzate (Da As-Built)



**DIAFRAMMA (TIPO A)
 PANNELLO PRIMARIO**
 L=18,00mm - N. 3 PANNELLI
 SCALE 1:50

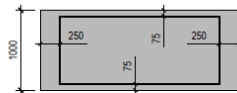


**DIAFRAMMA (TIPO W1)
 PANNELLO PRIMARIO**
 L=21,00mm - N. 8 PANNELLI
 SCALE 1:50

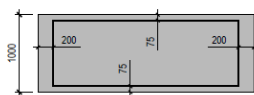


VALIDO PER I DIAFRAMMI P060+P067

**DIAFRAMMA (TIPO B1)
 PANNELLO PRIMARIO**
 L=18,00mm - N. 12 PANNELLI
 SCALE 1:50

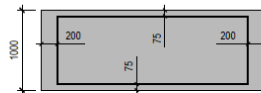


**DIAFRAMMA (TIPO W2)
 PANNELLO SECONDARIO**
 L=21,00mm - N. 7 PANNELLI
 SCALE 1:50



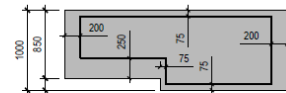
VALIDO PER I DIAFRAMMI S057-S063

**DIAFRAMMA (TIPO B2)
 PANNELLO SECONDARIO**
 L=18,00mm - N. 13 PANNELLI
 SCALE 1:50

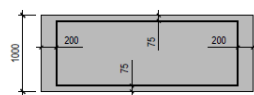


VALIDO PER I DIAFRAMMI S001-S008 E S046-S050

**DIAFRAMMA (TIPO C)
 PANNELLO SECONDARIO**
 L=18,00mm - N. 1 PANNELLO
 SCALE 1:50



**DIAFRAMMA (TIPO X2)
 PANNELLO SECONDARIO**
 L=21,00mm - N. 1 PANNELLO
 SCALE 1:50



VALIDO PER IL DIAFRAMMA S064 (ARMATURA IN VETRORESINA)

Figura 7 – Galleria artificiale Fornaci II – Pannelli dei diaframmi non realizzati (Da As-Built)

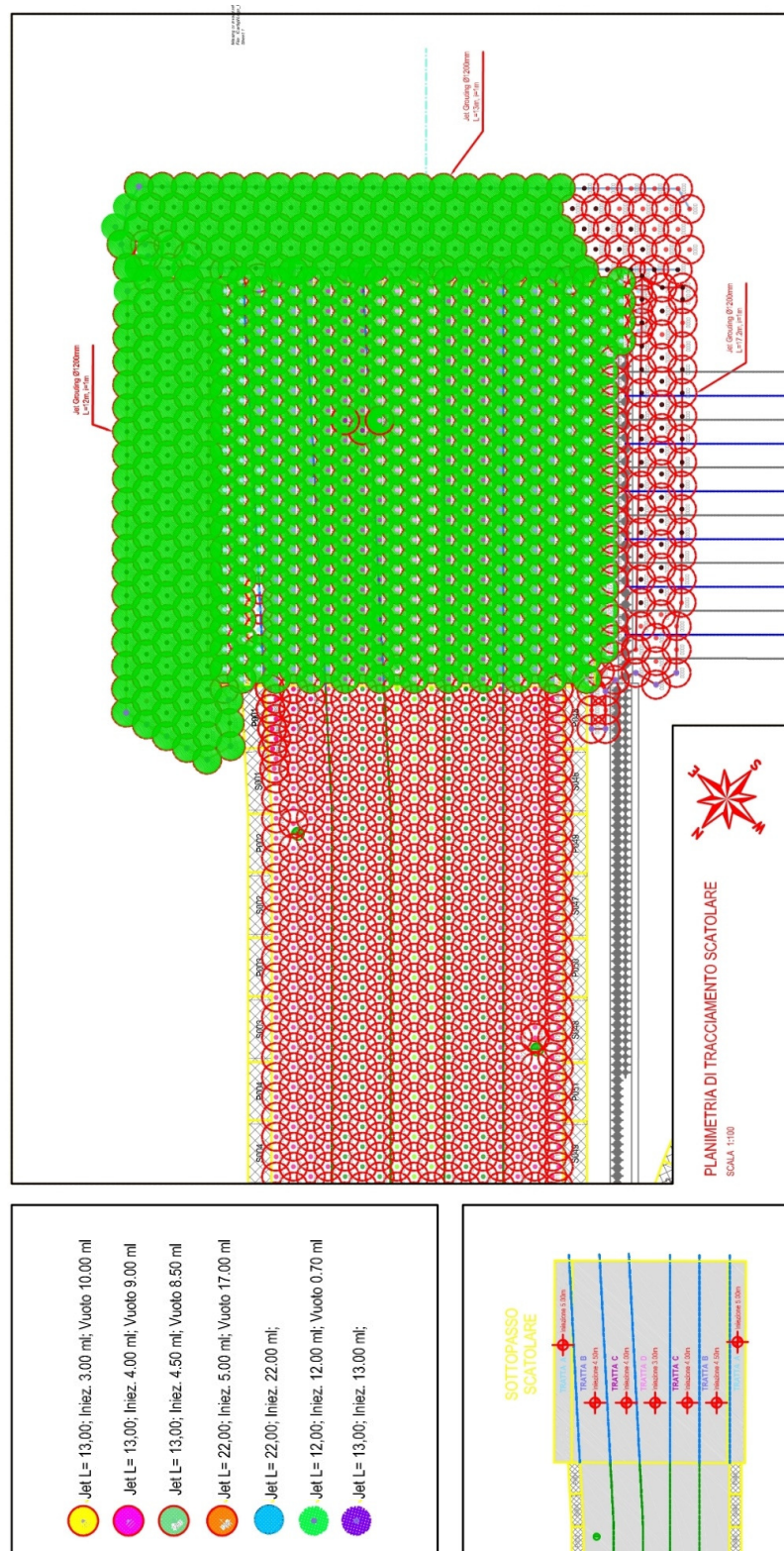
Esclusioni di pannelli non collaudati

Come riportato nel Certificato di idoneità statica non è stato possibile realizzare le prove integrative per i pannelli dei diaframmi: P045 e P047.

Per tali pannelli in sede esecutiva dovranno eseguirsi prove integrative su calcestruzzo su realizzate mediante carotaggio.



**Figura 8 – Galleria artificiale Fornaci II – Planimetria 1 di 2 –
 Tappo di fondo - Trattamento con Jet-grouting realizzato (Da As-Built)**



**Figura 9 – Galleria artificiale Fornaci II – Planimetria 2 di 2 –
 Tappo di fondo - Trattamento con Jet-grouting realizzato (Da As-Built)**

4. Caratterizzazione sismica

L'azione sismica di progetto, in accordo con il D.M.14/01/2008, deriva dalla pericolosità sismica di base del sito che viene definita in termini di accelerazione orizzontale massima (a_g) attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria A).

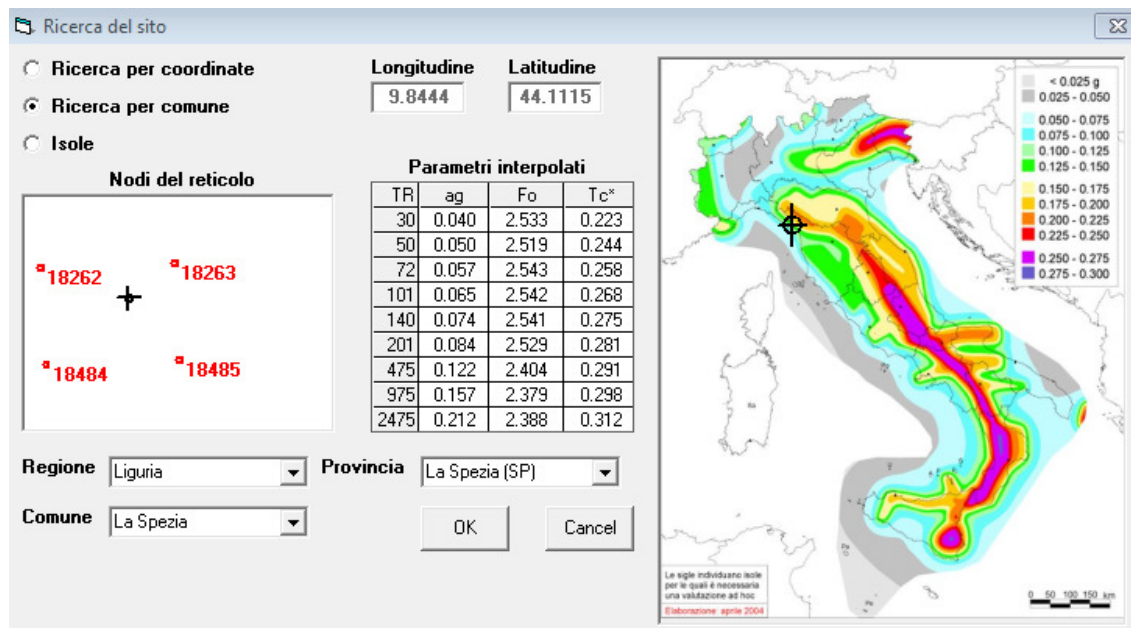


Figura 10: Individuazione del sito di costruzione

Vita nominale	$V_N = 50$ anni
Classe d'uso	III
Coefficiente d'uso	$C_U = 1.5$
Categoria di sottosuolo	C
Categoria topografica	T1

L'accelerazione orizzontale massima al sito (su suolo rigido) risulta pari a:

$$a_g = 0.142g$$

Le condizioni locali del sito di costruzione dell'opera determinano:

Coefficiente di amplificazione stratigrafica	$SS = 1.496$
Coefficiente di amplificazione topografica	$ST = 1.000$

Tali coefficienti consentono di individuare l'accelerazione massima di progetto secondo la seguente espressione:

$$a_{max} = a_g \cdot SS \cdot ST = 0.212g$$

5. Caratteristiche dei materiali

Per la realizzazione delle opere oggetto della presente relazione saranno impiegati calcestruzzo di classe C28/35 e acciaio per cemento armato tipo B450C.

Le caratteristiche assunte per i materiali sono riassunte nelle tabelle seguenti.

5.1 Calcestruzzo

Conglomerato cementizio classe C28/35

Peso specifico	25.00	kN/m ³
Resistenza cubica caratteristica a compressione: R_{ck}	35	MPa
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione: f_{ck}	28	MPa
Coefficiente riduttivo per resistenza di lunga durata: α_{cc}	0.85	
Coefficiente di sicurezza: γ_c	1.50	
Resistenza a compressione di progetto: f_{cd}	15.87	MPa
Modulo elastico di Young istantaneo: E_{cm}	32308	MPa
Classe di esposizione (UNI EN 206-1)	XC2	
Minimo contenuto in cemento	≥ 280	kg/m ³
Massimo rapporto a/c	0.60	
Diametro massimo aggregato: D_{max}	20	mm
Consistenza (slump)	S4 (fluida)	

5.2 Acciaio per armature ordinarie

Acciaio da cemento armato tipo B450C

Tensione caratteristica di snervamento: f_{yk}	450	MPa
Tensione caratteristica di rottura: f_{tk}	540	MPa
Deformazione ultima: $(A_{gt})_k$	$\geq 7.5\%$	
Coefficiente di sicurezza: γ_s	1.15	
Tensione di snervamento di progetto: f_{yd}	391.30	MPa
Modulo elastico di Young: E_s	210000	MPa

6. Criteri generali di progettazione

Nel presente paragrafo sono illustrati i criteri impiegati per il dimensionamento strutturale delle opere civili previste per la realizzazione della galleria artificiale in accordo con quanto specificato al cap. 4 del D.M.14/01/2008.

6.1 Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU)

6.1.1 Resistenza a sforzo normale e flessione

Per la valutazione della resistenza ultima delle sezioni nei confronti di sforzo normale e flessione, si adottano le seguenti ipotesi (par. 4.1.2.1.2 D.M.14/01/2008):

- conservazione delle sezioni piane;
- perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo;
- resistenza a trazione del calcestruzzo nulla;
- rottura del calcestruzzo determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima a compressione;
- rottura dell'armatura tesa determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima.

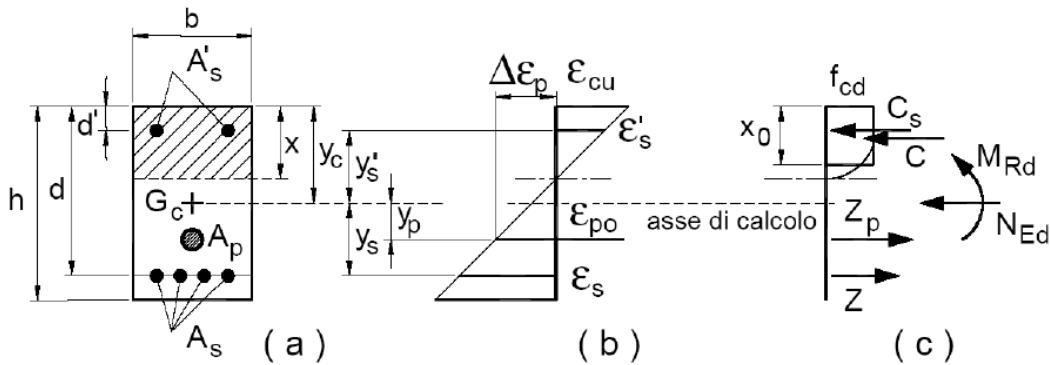


Figura 4.1.3– Sezione pressoinflessa

Con riferimento alla sezione presso-inflessa, la verifica di resistenza (SLU) si esegue controllando che:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

dove:

M_{Rd} è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a N_{Ed} ;

N_{Ed} è il valore di calcolo della componente assiale (sforzo normale) dell'azione;

M_{Ed} è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione

6.1.2 Resistenza nei confronti di sollecitazioni taglianti

Per la valutazione delle resistenze ultime nei confronti di sollecitazioni taglianti, si considera quanto segue (par. 4.1.2.3 D.M.14/01/2008):

Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

La resistenza a taglio V_{Rd} degli elementi strutturali sprovvisti di specifica armatura a taglio è stata valutata, utilizzando formule di comprovata affidabilità, sulla base della resistenza a trazione del calcestruzzo.

La verifica di resistenza (SLU) si pone con:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

dove V_{Ed} è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza al taglio si valuta con:

$$V_{Rd} = [0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

con:

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

e dove:

d è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d)$ è il rapporto geometrico di armatura longitudinale (≤ 0.02);

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$ è la tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0.2 f_{cd}$);

b_w è la larghezza minima della sezione (in mm).

Le armature longitudinali, oltre ad assorbire gli sforzi conseguenti alle sollecitazioni di flessione, devono assorbire quelli provocati dal taglio dovuti all'inclinazione delle fessure rispetto all'asse della trave, inclinazione assunta pari a 45° . In particolare, in corrispondenza degli appoggi, le armature longitudinali devono assorbire uno sforzo pari al taglio sull'appoggio.

Elementi con armature trasversali resistenti al taglio

La resistenza a taglio V_{Rd} di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio è stata valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$1 \leq \text{ctg } \theta \leq 2.5$$

La verifica di resistenza (SLU) si pone con:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

dove V_{Ed} è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot (A_{sw}/s \cdot f_{yd}) \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" si calcola con:

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

La resistenza al taglio della trave è la minore delle due sopra definite:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

dove d , b_w e σ_{cp} hanno il significato già visto in precedenza e inoltre si è posto:

A_{sw}	area dell'armatura trasversale;
s	interasse tra due armature trasversali consecutive;
α	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;
f'_{cd}	resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ($f'_{cd} = 0.5 \cdot f_{cd}$);
α_c	coefficiente maggiorativo pari a:
	1 per membrane non compresse
	$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$ per $0 \leq \sigma_{cp} < 0.25 f_{cd}$
	1.25 per $0.25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0.5 f_{cd}$
	$2.5 (1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$ per $0.5 f_{cd} < \sigma_{cp} < 0.5 f_{cd}$

Le armature longitudinali, dimensionate in base alle sollecitazioni flessionali, dovranno essere prolungate di una misura pari a:

$$a_l = 0.9 \cdot d \cdot (\text{ctg}\theta + \text{ctg}\alpha) / 2 \geq 0$$

6.2 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE)

6.2.1 Verifica di fessurazione

Per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture è necessario:

- realizzare un sufficiente ricoprimento delle armature con calcestruzzo di buona qualità e compattezza, bassa porosità e bassa permeabilità;
- non superare uno stato limite di fessurazione adeguato alle condizioni ambientali, alle sollecitazioni ed alla sensibilità delle armature alla corrosione;
- tener conto delle esigenze estetiche.
- In ordine di severità crescente si distinguono i seguenti stati limite:
 - a) stato limite di decompressione nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale è ovunque di compressione ed al più uguale a 0;
 - b) stato limite di formazione delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata è:

$$\sigma_t = \frac{f_{ctm}}{1.2}$$

- c) stato limite di apertura delle fessure nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$$w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0.4 \text{ mm}$$

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione.

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche, possono essere suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato nella tabella seguente (Tab. 4.1.III D.M.14/01/2008):

Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

In riferimento alla possibile corrosione causata dalla carbonatazione la classe di esposizione da considerare per le strutture oggetto della presente relazione è la XC2:

calcestruzzo bagnato e raramente asciutto (condizioni ambientali ordinarie).

Le armature si distinguono in due gruppi:

- armature sensibili;
- armature poco sensibili.

Gli acciai ordinari utilizzati nella Galleria Artificiale Fornaci II appartengono al secondo gruppo. Nella tabella seguente si riportano per completezza anche i limiti di apertura delle fessure in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature (Tab. 4.1.IV D.M.14/01/2008):

Tabella 4.1.IV – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

6.2.2 Verifica delle tensioni di esercizio

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni caratteristica e quasi permanente delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo sia nelle armature; si verifica che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti di seguito riportati.

Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio

La massima tensione di compressione del calcestruzzo σ_c , deve rispettare la limitazione seguente:

$$\begin{aligned} \sigma_c < 0.60 f_{ck} & \quad \text{per combinazione caratteristica (rara)} \\ \sigma_c < 0.45 f_{ck} & \quad \text{per combinazione quasi permanente.} \end{aligned}$$

Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio

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

$$\sigma_s < 0.80 f_{yk}.$$

6.3 Combinazione delle azioni

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni, in accordo con il par. 2.5.3 del D.M.14/01/2008.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto A_d (v. § 3.6):

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.6)$$

dove:

- G_1 è il peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo);
- G_2 è il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
- Q sono le azioni variabili;
- E sono le azioni sismiche;
- A_d sono le azioni eccezionali;
- γ_G e γ_Q sono i coefficienti parziali di sicurezza delle azioni;
- ψ_i sono i coefficienti di combinazione dei carichi variabili.

Nelle combinazioni per SLE, si intende che vengono omissi i carichi Q_{kj} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_2 .

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza e dei coefficienti di combinazione adottati in fase di analisi sono specificati nei paragrafi successivi.

7. Solettone di copertura

Nel presente capitolo si riportano il calcolo e le principali verifiche relative al solettone di copertura della galleria artificiale Fornaci II. Il solettone è realizzato in c.a. e presenta un'altezza di 1.20 m. Lungo lo sviluppo della copertura si individuano inoltre n.4 salti di quota di altezza variabile.

7.1 Modello di calcolo

L'analisi dello stato tensionale e di deformazione dovuto alle combinazioni di carico di progetto è stato analizzato tramite modellazioni agli elementi finiti realizzate con il programma di calcolo SAP2000 Advanced.

In particolare, il solettone di copertura è stato interamente modellato tramite elementi bidimensionali Areas di tipo "Shell – Thick" caratterizzati da comportamento flessionale e membranale (Shell).

Lo schema strutturale adottato è quello di lastra piana vincolata in corrispondenza dei diaframmi di bordo per mezzo di molle rotazionali caratterizzate da una rigidezza pari a 1×10^6 kNm/rad. Il vincolo fornito dai diaframmi centrali è stato invece schematizzato mediante vincoli a cerniera.

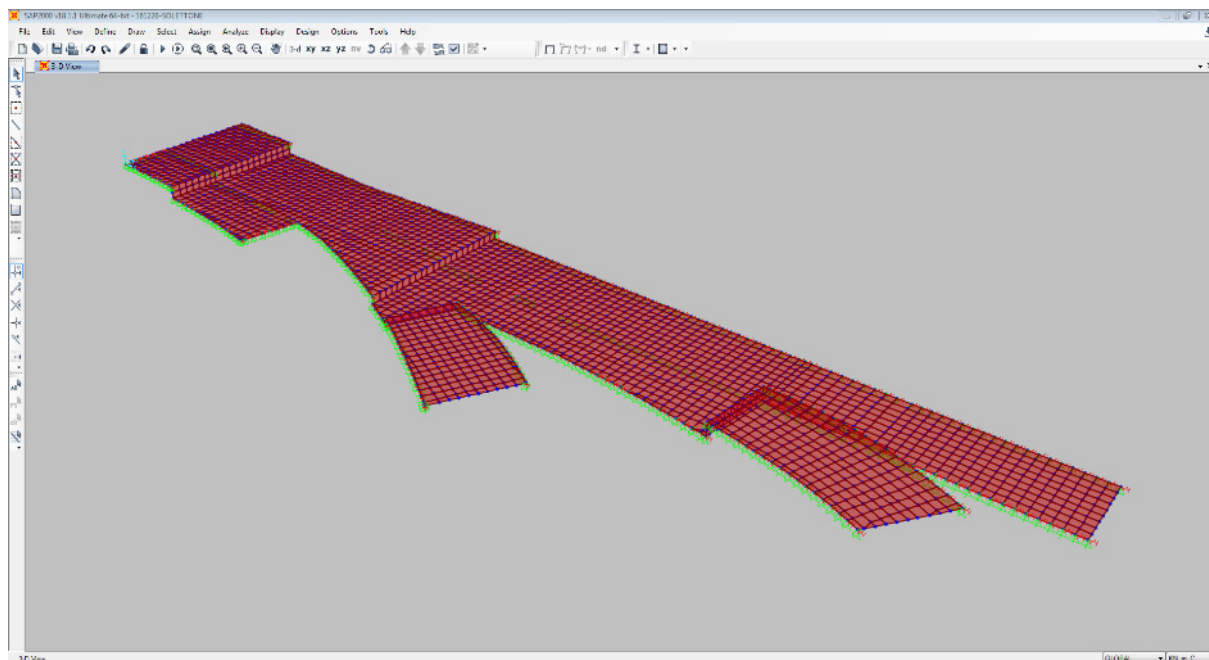


Figura 11: Modello agli elementi finiti SAP2000 – Vista 3D

7.2 Analisi dei carichi

Il modello di calcolo realizzato è soggetto ad azioni esterne definite con gli usuali criteri di determinazione dei carichi. Si elencano di seguito i casi di carico elementari che costituiscono l'input nel programma di calcolo.

7.2.1 Peso proprio (DEAD)

Il programma di calcolo considera automaticamente il peso proprio degli elementi strutturali in funzione delle sezioni assegnate e del peso specifico del materiale valutato in ragione di 25 kN/m³:

$$q_{pp} = 25 \times 1.20 = 30.00 \text{ kN/m}^2$$

7.2.2 Carichi permanenti non strutturali (PERM)

Il carico permanente sul solettone di copertura è costituito dal peso del ricoprimento valutato in ragione di 20 kN/m³.

Si distinguono in funzione della sistemazione superficiale del terreno prevista a progetto due diverse zone caratterizzate da uno spessore del ricoprimento pari rispettivamente a 1.00 m (zona gialla in Figura 12) e 2.00 m (zona blu in Figura 12):

$$Q_{ricopr.1.0m} = 20 \times 1.00 = 20.00 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{ricopr.2.0m} = 20 \times 2.00 = 40.00 \text{ kN/m}^2$$

Il carico è stato assegnato agli elementi Areas schematizzanti il solettone di copertura della galleria come carico superficiale uniformemente distribuito (Uniform Area Load).

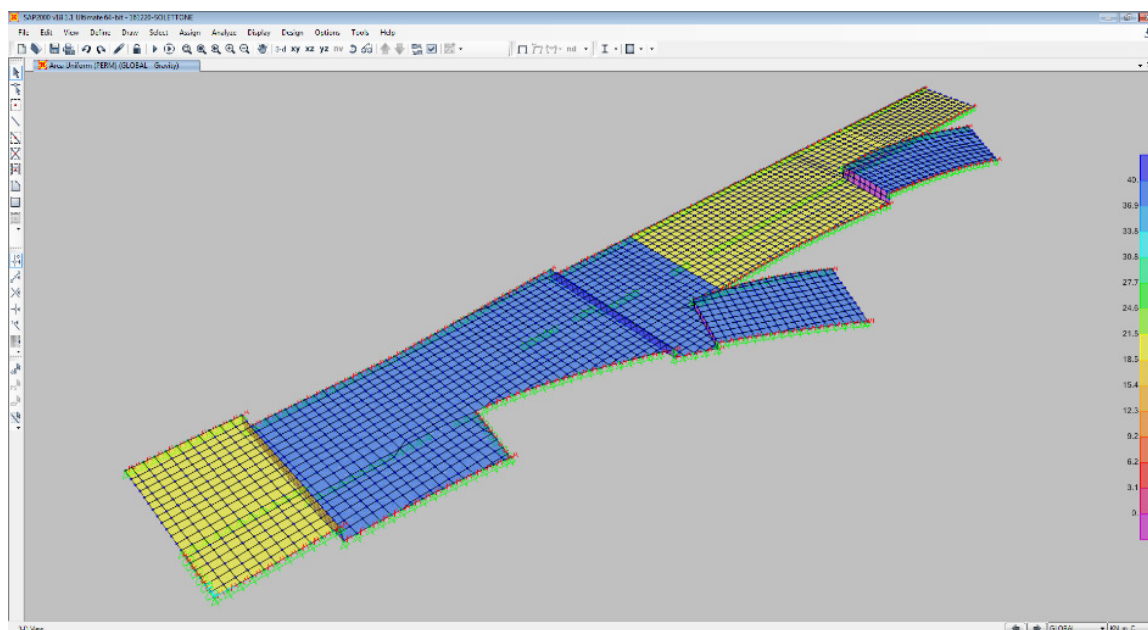


Figura 12: Load pattern: PERM

7.2.3 Carichi variabili (VAR)

Si considera un sovraccarico accidentale dovuto ai carichi mobili pari a 20 kN/m^2 . Tale carico viene applicato nella zona blu di Figura 13 in accordo con il tracciato della viabilità superiore definita a progetto. Nell'area rimanente (zona gialla di Figura 13), su cui non è presente alcuna viabilità superiore, si considera a favore di sicurezza un carico variabile pari a 10 kN/m^2 .

Il carico è stato assegnato agli elementi Areas schematizzanti il solettone di copertura della galleria come carico superficiale uniformemente distribuito (Uniform Area Load).

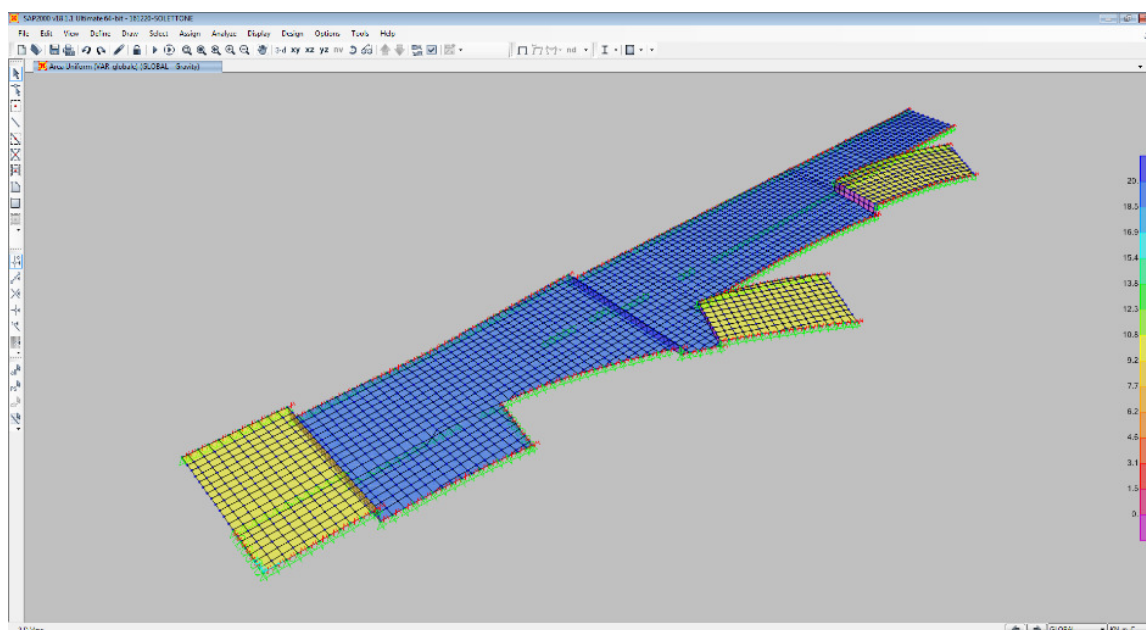


Figura 13: Load pattern: VAR-globale

Per essere certi di massimizzare le sollecitazioni sul solettone di copertura dovute ai carichi variabili si sono considerati, oltre al caso di carico di Figura 13 (VAR-globale), due ulteriori casi di carico illustrati nelle Figure seguenti (VAR-1 e VAR-2).

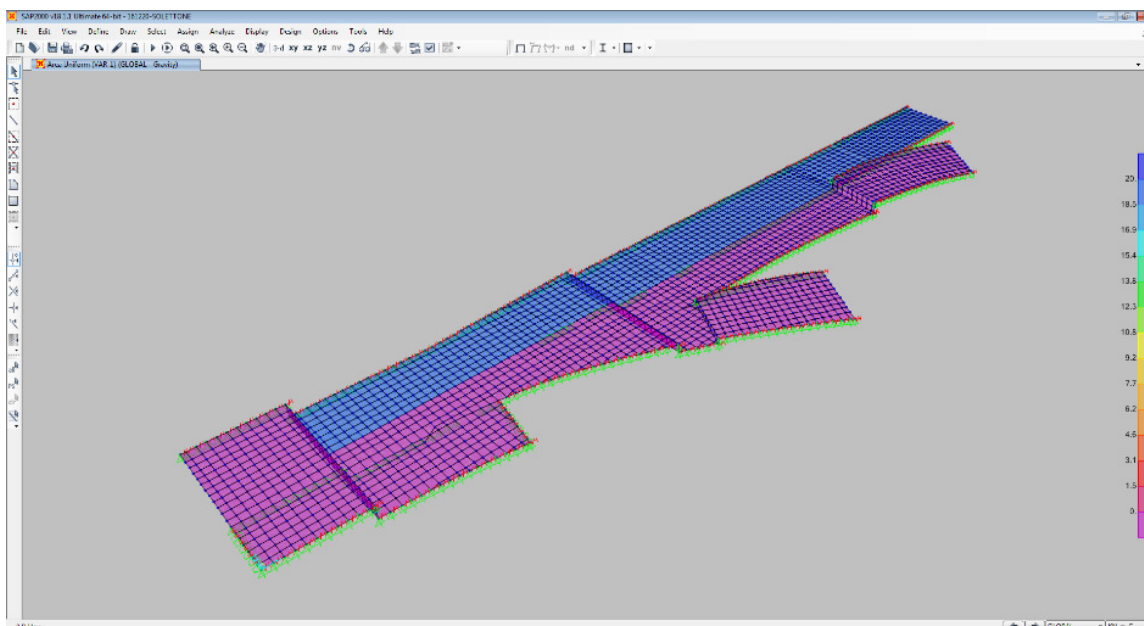


Figura 14: Load pattern: VAR-1

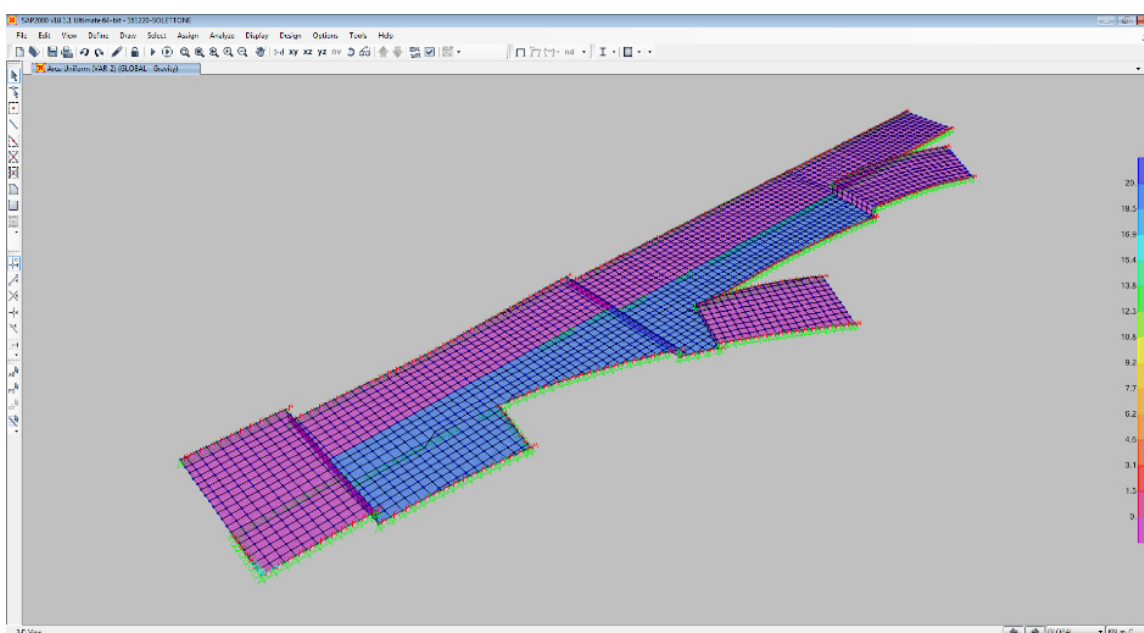


Figura 15: Load pattern: VAR-2

Nelle combinazioni di carico indagate allo SLU e SLE, si è considerato cautelativamente l'involuppo dei tre casi sopra riportati (ENV-VAR).

7.3 Casi di carico e tipologie di analisi eseguite

La seguente Tabella riporta le analisi eseguite per i singoli casi di carico elementari specificandone la tipologia.

Tabella 1: Load Case Definitions

TABLE: Load Case Definitions			
Case	Type	DesignType	Notes
Text	Text	Text	Text
DEAD	LinStatic	DEAD	Peso proprio
PERM	LinStatic	SUPER DEAD	Peso del ricoprimento
VAR-globale	LinStatic	LIVE	Carichi variabili da traffico - caso 1
VAR-1	LinStatic	LIVE	Carichi variabili da traffico - caso 2
VAR-2	LinStatic	LIVE	Carichi variabili da traffico - caso 3

Si specifica che con “LinStatic” si intende un’analisi statica lineare.

7.4 Combinazione delle azioni

I coefficienti di amplificazione dei carichi e i coefficienti di combinazione per le diverse combinazioni di carico da adottare in fase di analisi sono riportati nelle tabelle seguenti. In particolare, con riferimento alle verifiche strutturali condotte nei riguardi delle combinazioni SLU, si fa riferimento ai coefficienti parziali di sicurezza indicati per la combinazione “A1 STR”.

I coefficienti di amplificazione da adottare per i carichi agenti sul solettone di copertura sono riportati nella tabella seguente (Tab. 5.1.V D.M.14/01/2008).

Tabella 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	γ_{e1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti 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

I coefficienti di amplificazione da adottare per i carichi variabili da traffico sono riportati nelle tabelle seguenti (Tab. 5.1.VI D.M.14/01/2008).

Tabella 5.1.VI - Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente Ψ_0 di combinazione	Coefficiente Ψ_1 (valori frequenti)	Coefficiente Ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 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
Vento q_5	Vento a ponte scarico			
	SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	----	0,0
	Vento a ponte carico	0,6		
Neve q_5	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	T_k	0,6	0,6	0,5

Nella seguente Tabella si riassumono tutte le condizioni di carico precedentemente elencate con indicati i relativi coefficienti parziali assunti in fase di analisi.

Tabella 2: Coefficienti di combinazione dei casi di carico elementari

Load Case	γ	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
DEAD	1.00/1.35	-	-	-
PERM	1.00/1.35	-	-	-
VAR-globale	0.00/1.35	0.75	0.75	0.00
VAR-1	0.00/1.35	0.75	0.75	0.00
VAR-2	0.00/1.35	0.75	0.75	0.00

Al fine di individuare le combinazioni dei carichi vincolanti per il dimensionamento, si sono esaminate le sollecitazioni flessionali e taglianti nelle rispettive sezioni di verifica dovute ai singoli casi di carico semplici e si è amplificato solo l'effetto dei casi di carico che massimizzavano la sollecitazione in esame. In tal modo si è certi di aver individuato, tra tutte le possibili, solo le poche combinazioni dei carichi vincolanti ai fini del dimensionamento.

Le verifiche in combinazione sismica (SLV) per la struttura in esame risultano meno gravose delle verifiche in condizione statica (SLU). Tali verifiche non vengono pertanto riportate ai fini della presente relazione in quanto non dimensionanti.

Nella seguente Tabella si riportano le combinazioni dei carichi impiegate in fase di analisi.

Tabella 3: Load Combination Definitions

TABLE: Combination Definitions				
ComboName	ComboType	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Text	Text	Unitless
ENV-VAR	Envelope	Linear Static	VAR-1	1.00
ENV-VAR		Linear Static	VAR-2	1.00
ENV-VAR		Linear Static	VAR-globale	1.00
SLU01	Linear Add	Linear Static	DEAD	1.35
SLU01		Linear Static	PERM	1.35
SLU01		Response Combo	ENV-VAR	1.35
SLECR01	Linear Add	Linear Static	DEAD	1.00
SLECR01		Linear Static	PERM	1.00
SLECR01		Response Combo	ENV-VAR	1.00
SLEFR01	Linear Add	Linear Static	DEAD	1.00
SLEFR01		Linear Static	PERM	1.00
SLEFR01		Response Combo	ENV-VAR	0.75
SLEQP01	Linear Add	Linear Static	DEAD	1.00
SLEQP01		Linear Static	PERM	1.00
SLEQP01		Linear Static	ENV-VAR	0.00

7.5 Sollecitazioni

Nel presente paragrafo si riportano le mappe delle principali sollecitazioni agenti sul solettone di copertura della galleria per effetto della combinazione fondamentale dei carichi (SLU01). Per i valori delle sollecitazioni assunti in fase di verifica si rimanda ai successivi paragrafi.

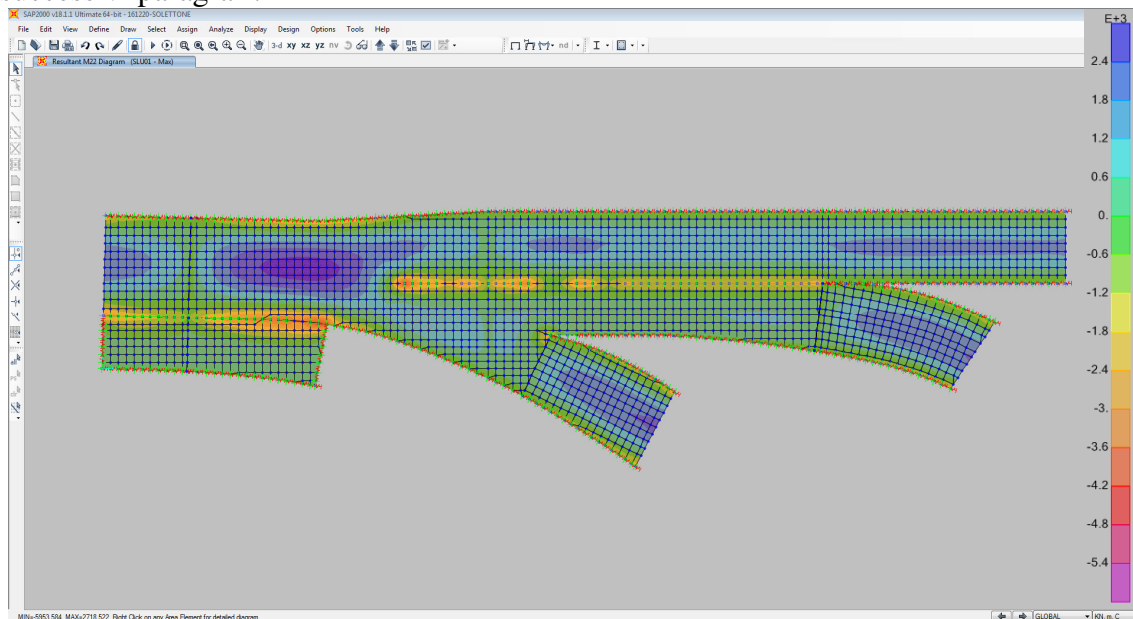


Figura 16: Resultant M22 Diagram (Momento flettente trasversale)

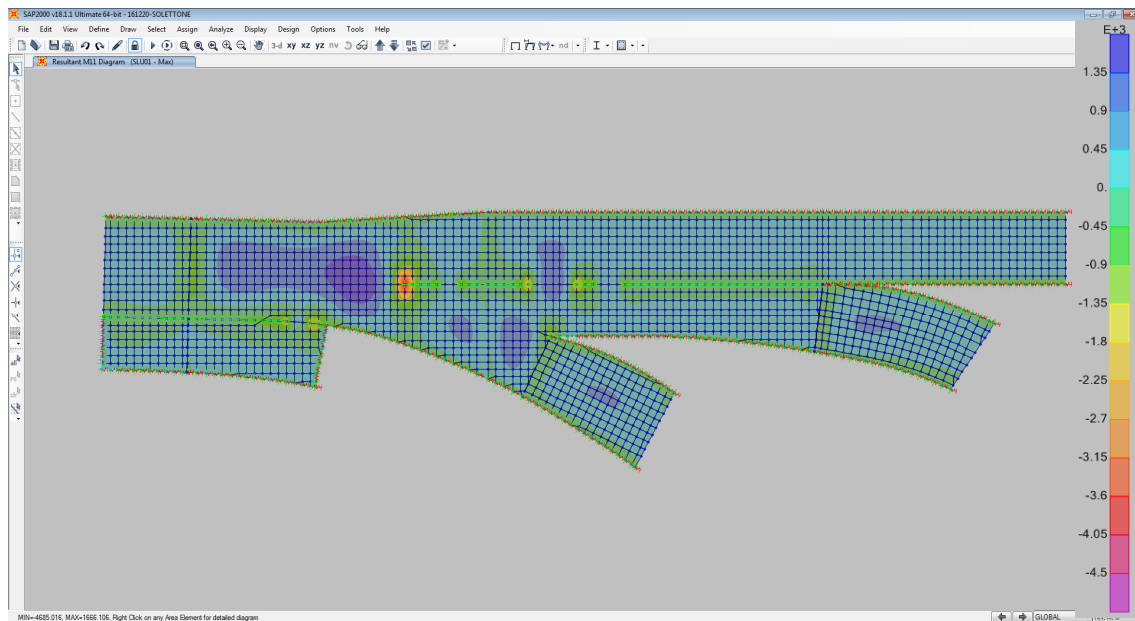


Figura 17: Resultant M11 Diagram (Momento flettente longitudinale)

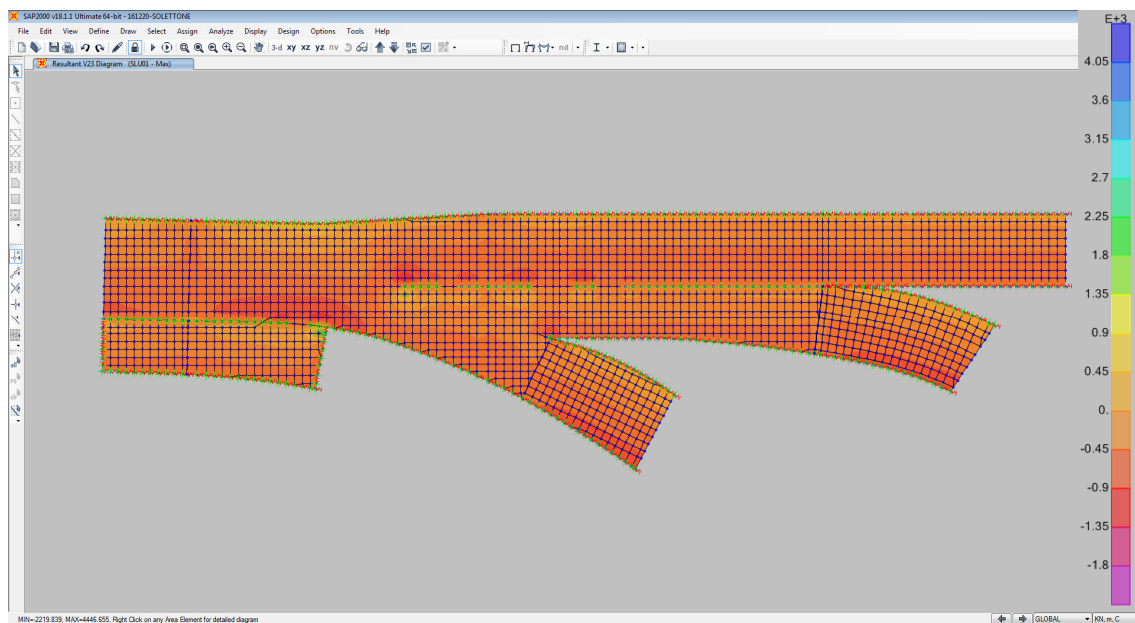


Figura 18: Resultant V23 Diagram (Taglio trasversale)

7.6 Verifiche

Nei seguenti paragrafi si riportano le principali verifiche strutturali effettuate in riferimento alla sezione maggiormente sollecitata per ciascuna tipologia di armatura.

Le verifiche sono state eseguite con il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite. Si effettuano le seguenti verifiche:

- Stato Limite Ultimo (SLU) - verifiche di resistenza in combinazione fondamentale delle azioni;
- Stato Limite di Esercizio (SLE) - verifiche dello stato tensionale in combinazione caratteristica delle azioni;
- Stato Limite di Esercizio (SLE) - verifiche di fessurazione in combinazione frequente e quasi permanente delle azioni.

7.6.1 Sezioni di verifica indagate

Si sono individuate nel modello strutturale n.5 sezioni trasversali significative, il cui stato di sollecitazione risulta determinante per il dimensionamento e le verifiche di resistenza del solettone di copertura, in considerazione delle diverse tipologie di armatura adottate. Tali sezioni sono individuate nella Figura seguente.

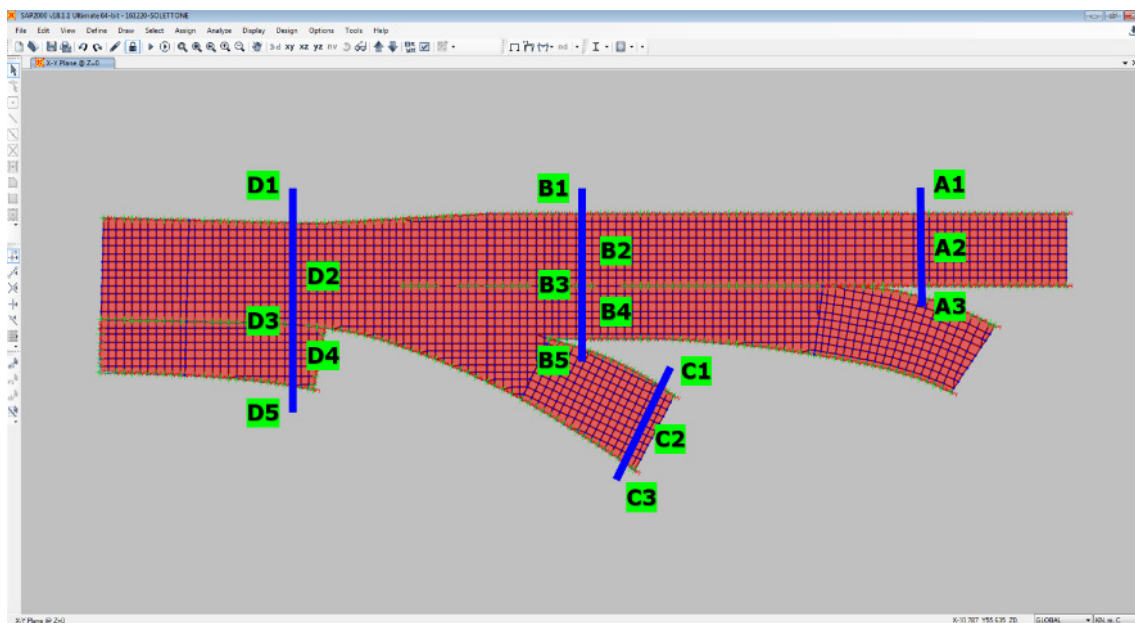


Figura 19: Individuazione sezioni di verifica solettone di copertura

Le verifiche a momento flettente negativo per le sezioni di estremità non vengono riportate in quanto in fase di progetto si è previsto di disporre in tali zone un'armatura

all'estradosso tale da ottenere un momento resistente della sezione almeno pari al momento resistente della sezione di testa del diaframma di bordo corrispondente. In tal modo le verifiche di tali sezioni risultano automaticamente soddisfatte.

Le sollecitazioni riportate nelle tabelle che seguono così come le rispettive verifiche sono sempre riferite ad una striscia di larghezza unitaria.

Per il dettaglio della disposizione delle armature nelle sezioni di verifica indagate si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

7.6.2 Sezione di verifica A-A

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il momento flettente allo SLU nella sezione di mezzzeria (SLU01).

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	M22
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-A2	SLU01	Combination	1329.35

SEZ-A2 Armatura	Copriferro netto	Armatura corrente	Armatura aggiuntiva
PRINCIPALE	SUPERIORE: 46 mm INFERIORE: 46 mm	SUPERIORE: 1Ø20/20 INFERIORE: 1Ø20/20	- INFERIORE: 1Ø26/20
SECONDARIA	SUPERIORE: 30 mm INFERIORE: 30 mm	SUPERIORE: 1Ø16/20 INFERIORE: 1Ø16/20	- -

La sezione risulta armata in estradosso da 1Ø20/20 e in intradosso da 1Ø20/20+1Ø26/20. Si ha quanto segue:

Verifica C.A. S.L.U. - File: solettone-sp120cm

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

Titolo: solettone-sp120cm

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	120	1	15.71	6
			2	0	13
			3	0	107
			4	42.25	114

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

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
 M_{xEd} 1329 kNm
 M_{yEd} 0

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

Tipologia rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipologia flessione:
 Retta Deviata

Materiali:
 B450C C28/35
 ε_{su} 67.5‰ ε_{c2} 2‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5‰
 E_s 210,000 N/mm² f_{cd} 15.87
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ε_{syd} 1.863‰ σ_{c,adm} 11
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.6667
 τ_{c1} 1.971

M_{xRd} 1,810 kNm
 σ_c -15.87 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ε_c 3.5‰
 ε_s 38.42‰
 d 114 cm
 x 9.519 x/d 0.0835
 δ 0.7

Calcola MRd Dominio M-N
 L₀ 0 cm Col. modello
 Precompresso

$$M_{Ed} = 1329 \text{ kNm} < M_{Rd} = 1810 \text{ kNm}$$

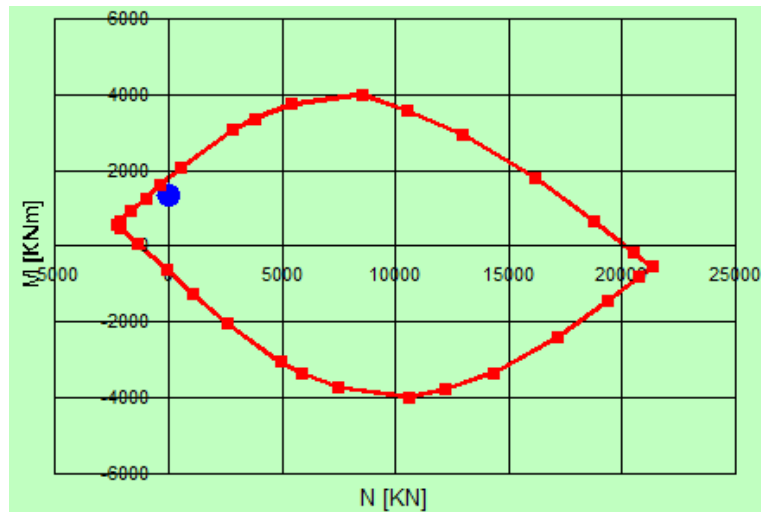


Figura 20: SEZ-A2 – Verifica a momento flettente SLU

Si dispone un'armatura secondaria pari ad almeno il 20% dell'armatura principale:

$$A_s = 20.11 \text{ cm}^2 (5\phi 16 + 5\phi 16) > 0.20 \cdot 57.96 = 11.59 \text{ cm}^2$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il taglio per lo SLU nelle sezioni di appoggio.

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	V23
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-A1	SLU01	Combination	572.02
SEZ-A3	SLU01	Combination	573.28

La sezione risulta armata a taglio da ganci 1φ14/40x40 per i primi 4.00 m. Si ha quanto segue:

Tabella 4: Calcolo della resistenza a taglio
RESISTENZA NEI CONFRONTI DI SOLLECITAZIONI TAGLIANTI (p.to 4.1.2.1.3 DM2008)

1) DATI GENERALI

1.1) CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

- calcestruzzo	f_{ck}	28.0	MPa
	α_{cc}	0.85	-
	γ_c	1.50	-
	f_{cd}	15.9	MPa
	f_{ctm}	2.8	MPa
- acciaio	f_{yk}	450.0	MPa
	f_{yd}	391.3	MPa

1.2) CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

- altezza	h	1200	mm
- larghezza minima	b_w	1000	mm
- copriferro di calcolo	c	60	mm
- area cls	A_c	1.20E+06	mm ²
- altezza utile	d	1140	mm
- braccio coppia interna (= 0,9 d)	z	1026	mm

1.3) ARMATURA LONGITUDINALE TESA

- armatura longitudinale 1	ϕ_1	20	mm
	n_1	5	-
- armatura longitudinale 2	ϕ_2	0	mm
	n_2	0	-
- area armatura longitudinale tesa	A_{sl}	1571	mm ²

1.4) SOLLECITAZIONI DI CALCOLO

- taglio di calcolo	V_{Ed}	573.3	kN
- compressione (+) / trazione (-)	N_{Ed}	0.0	kN

2) ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO (p.to 4.1.2.1.3.1 DM2008)

- parametri di calcolo	k	1.42	-
	v_{min}	0.31	-
- rapporto geometrico di armatura	ρ_l	1.38E-03	-
- tensione media di compressione	σ_{cp}	0.00	MPa
- taglio resistente minimo	$V_{Rd,min}$	356.8	kN

- taglio resistente	V_{Rd}	356.8	kN
---------------------	----------	-------	----

VERIFICA $V_{Rd} > V_{Ed}$

VERIFICA NON SODDISFATTA

- prolungamento armatura tesa (o in alternativa)	$a_l = z$	-	mm
- incremento trazione armatura tesa	$\Delta N_{sl,d}$	-	kN
	$\Delta A_{sl,d}$	-	mm ²

3) ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO (p.to 4.1.2.1.3.2 DM2008)

3.1) STAFFE

- diametro	ϕ	14	mm
- n° braccia	n_b	2.50	-
- passo	s	400	mm
- area di acciaio per ogni staffa	A_{sw}	385	mm ²
- area staffe per metro	A_{sw}/s	962	mm ² /m

3.2) FERRI PIEGATI

- inclinazione ferri piegati	α	0.0	deg
- diametro	ϕ_a	0	mm
- n° braccia	$n_{b,\alpha}$	0	-
- passo	s_α	0	mm
- area di acciaio per ogni ferro piegato	$A_{sw,\alpha}$	0	mm ²
- area ferri piegati per metro	$(A_{sw}/s)_\alpha$	0	mm ² /m

3.3) RESISTENZA DEI PUNTONI IN CLS

- coefficiente maggiorativo	α_c	1.00	-
- resistenza a compressione ridotta	f'_{cd}	7.9	MPa
- resistenza a compressione dei puntoni	f_{cdw}	7.9	MPa
- resistenza minima lato cls	$V_{Rcd,min}$	2806.8	kN
- resistenza max lato cls	$V_{Rcd,max}$	4069.8	kN

VERIFICA $V_{Rcd,max} > V_{Ed}$

OK

3.4) VERIFICA A TAGLIO

- taglio resistente di progetto	V_{Rd}	965.7	kN
- inclinazione ultima dei puntoni	$\cotg\theta_u$	2.50	-
	θ_u	21.8	deg

VERIFICA $V_{Rd} > V_{Ed}$

OK

$$V_{Ed,MAX} = 573.3 \text{ kN} < V_{Rd} = 965.7 \text{ kN}$$

Si dispone all'estradosso in corrispondenza degli appoggi un'armatura longitudinale adeguatamente ancorata in grado di assorbire uno sforzo di trazione almeno pari al taglio:

$$A_s = 15.71 \text{ cm}^2 (5\varnothing 20) > V_{Ed,MAX} / f_{yd} = 13.37 \text{ cm}^2$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per le combinazioni che massimizzano il momento flettente allo SLE nella sezione di mezzeria.

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	M22
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-A2	SLECR01	Combination	984.70
SEZ-A2	SLEFR01	Combination	914.32
SEZ-A2	SLEQP01	Combination	703.17

Nella seguente Tabella si riportano le verifiche tensionali in condizioni di esercizio e le verifiche di fessurazione.

Tabella 5: SEZ-A2 – Verifiche in esercizio

1. Combinazione caratteristica						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	$\sigma_s \text{ max}$ [MPa]	$\sigma_c \text{ max}$ [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = 984.70$	223.6	-5.48	360	-16.8	-	-
2. Combinazione frequente						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	$\sigma_s \text{ max}$ [MPa]	$\sigma_c \text{ max}$ [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = 914.32$	207.6	-5.09	-	-	0.227	0.400
3. Combinazione quasi permanente						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	$\sigma_s \text{ max}$ [MPa]	$\sigma_c \text{ max}$ [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = 703.17$	159.7	-3.92	-	-12.6	0.160	0.300

7.6.3 Sezione di verifica B-B

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il momento flettente allo SLU nelle sezioni di mezzeria in campata e nella sezione in corrispondenza dei diaframmi centrali (SLU01).

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	M22
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-B2	SLU01	Combination	1132.94
SEZ-B3	SLU01	Combination	1502.00
SEZ-B4	SLU01	Combination	579.11

SEZ-B2 Armatura	Copriferro netto	Armatura corrente	Armatura aggiuntiva
PRINCIPALE	SUPERIORE: 46 mm INFERIORE: 46 mm	SUPERIORE: 1Ø20/20 INFERIORE: 1Ø20/20	- INFERIORE: 1Ø20/20
SECONDARIA	SUPERIORE: 30 mm INFERIORE: 30 mm	SUPERIORE: 1Ø16/20 INFERIORE: 1Ø16/20	- -

La SEZ-B2 risulta armata in estradosso da 1Ø20/20 e in intradosso da 1Ø20/20+1Ø20/20.
 Si ha quanto segue:

Verifica C.A. S.L.U. - File: solettone-sp120cm

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

Titolo : solettone-sp120cm

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	120

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	6
2	0	13
3	0	107
4	31.42	114

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
 M_{xEd} 1133 kNm
 M_{yEd} 0 kNm

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

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd} 1,355 kN m

Materiali
 B450C C28/35
 ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
 E_s 210,000 N/mm² f_{cd} 15.87 ‰
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ε_{syd} 1.863 ‰ σ_{c,adm} 11
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.6667
 τ_{c1} 1.971

σ_c -15.87 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ε_c 3.5 ‰
 ε_s 48.83 ‰
 d 114 cm
 x 7.625 x/d 0.06689
 δ 0.7

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N
 L_o 0 cm Col. modello

Precompresso

$$M_{Ed} = 1133 \text{ kNm} < M_{Rd} = 1355 \text{ kNm}$$

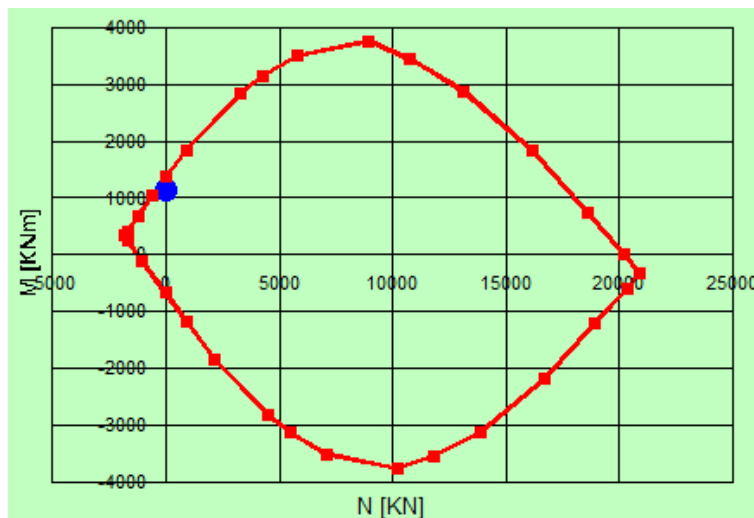


Figura 21: SEZ-B2 – Verifica a momento flettente SLU

Si dispone un'armatura secondaria pari ad almeno il 20% dell'armatura principale:

$$A_s = 20.11 \text{ cm}^2 (5\phi 16 + 5\phi 16) > 0.20 \cdot 47.13 = 9.43 \text{ cm}^2$$

SEZ-B3 Armatura	Copriferro netto	Armatura corrente	Armatura aggiuntiva
PRINCIPALE	SUPERIORE: 46 mm INFERIORE: 46 mm	SUPERIORE: 1Ø20/20 INFERIORE: 1Ø20/20	SUPERIORE: 1Ø26/20 -
SECONDARIA	SUPERIORE: 30 mm INFERIORE: 30 mm	SUPERIORE: 1Ø16/20 INFERIORE: 1Ø16/20	- -

La SEZ-B3 risulta armata in estradosso da 1Ø20/20+1Ø26/20 e in intradosso da 1Ø20/20.
 Si ha quanto segue:

Titolo: solettone-sp120cm

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	120	1	42.25	6
			2	0	13
			3	0	107
			4	15.71	114

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

P.to applicazione N: Centro

Materiali: B450C, C28/35

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

Tipo flessione: Retta

Calcola MRd **Dominio M-N**

L₀ 0 cm **Col. modello**

Precompresso

$$M_{Ed} = 1502 \text{ kNm} < M_{Rd} = 1810 \text{ kNm}$$

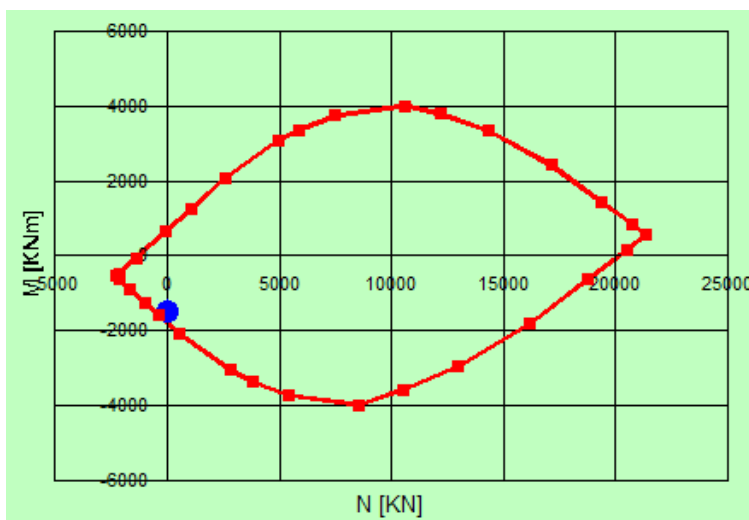


Figura 22: SEZ-B3 – Verifica a momento flettente SLU

SEZ-B4 Armatura	Copriferro netto	Armatura corrente	Armatura aggiuntiva
PRINCIPALE	SUPERIORE: 46 mm INFERIORE: 46 mm	SUPERIORE: 1Ø20/20 INFERIORE: 1Ø20/20	- -
SECONDARIA	SUPERIORE: 30 mm INFERIORE: 30 mm	SUPERIORE: 1Ø16/20 INFERIORE: 1Ø16/20	- -

La SEZ-B4 risulta armata in estradosso da 1φ20/20 e in intradosso da 1φ20/20. Si ha quanto segue:

Verifica C.A. S.L.U. - File: solettone-sp120cm

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

Titolo: solettone-sp120cm

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	120

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	6
2	0	13
3	0	107
4	15.71	114

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

Sollecitazioni:
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 kN M_{xEd}: 579 kNm M_{yEd}: 0 kNm

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

Materiali:
 B450C C28/35
 ε_{su}: 67.5 ‰ ε_{c2}: 2 ‰
 f_{yd}: 391.3 N/mm² ε_{cu}: 3.5 ‰
 E_s: 210,000 N/mm² f_{cd}: 15.87
 E_s/E_c: 15 f_{cc}/f_{cd}: 0.8
 ε_{syd}: 1.863 ‰ σ_{c,adm}: 11
 σ_{s,adm}: 255 N/mm² τ_{co}: 0.6667
 τ_{c1}: 1.971

M_{xRd}: 690 kNm

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

Tipologia flessione:
 Retta Deviata

N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio M-N

L_o: 0 cm Col. modello

Precompresso

σ_c: -15.87 N/mm² σ_s: 391.3 N/mm²
 ε_c: 3.439 ‰ ε_s: 67.5 ‰
 d: 114 cm x: 5.526 x/d: 0.04848
 δ: 0.7

$$M_{Ed} = 579 \text{ kNm} < M_{Rd} = 690 \text{ kNm}$$

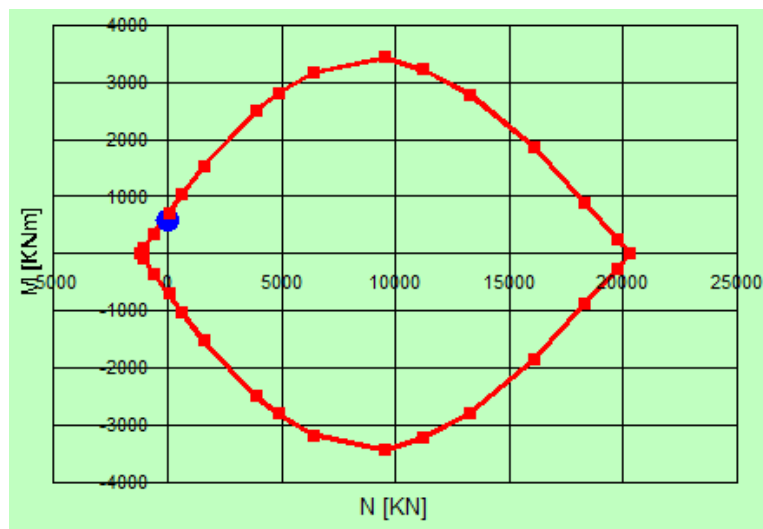


Figura 23: SEZ-B4 – Verifica a momento flettente SLU

Si dispone un'armatura secondaria pari ad almeno il 20% dell'armatura principale:

$$A_s = 20.11 \text{ cm}^2 (5\phi 16+5\phi 16) > 0.20 \cdot 31.42 = 6.29 \text{ cm}^2$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il taglio per lo SLU nelle sezioni di appoggio.

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	V23
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-B1	SLU01	Combination	516.83
SEZ-B5	SLU01	Combination	333.00

La sezione risulta armata a taglio da ganci $1\phi 14/40 \times 40$ per i primi 4.00 m lato sez-B1 mentre risulta priva di armatura a taglio lato sez-B5. Si ha quanto segue (per i calcoli di dettaglio della resistenza a taglio della sezione si veda la Tabella 4):

$$V_{Ed,MAX} = 516.83 \text{ kN} < V_{Rd} = 965.7 \text{ kN}$$

Si dispone all'estradosso in corrispondenza degli appoggi un'armatura longitudinale adeguatamente ancorata in grado di assorbire uno sforzo di trazione almeno pari al taglio:

$$A_s = 15.71 \text{ cm}^2 (5\phi 20) > V_{Ed,MAX} / f_{yd} = 12.06 \text{ cm}^2$$

Tabella 6: Calcolo della resistenza a taglio in assenza di armatura a taglio

RESISTENZA NEI CONFRONTI DI SOLLECITAZIONI TAGLIANTI (p.to 4.1.2.1.3 DM2008)

1) DATI GENERALI

1.1) CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

- calcestruzzo	f_{ck}	28.0	MPa
	α_{cc}	0.85	-
	γ_c	1.50	-
	f_{cd}	15.9	MPa
	f_{ctm}	2.8	MPa
- acciaio	f_{yk}	450.0	MPa
	f_{yd}	391.3	MPa

1.2) CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

- altezza	h	1200	mm
- larghezza minima	b_w	1000	mm
- copriferro di calcolo	c	60	mm
- area cls	A_c	1.20E+06	mm ²
- altezza utile	d	1140	mm
- braccio coppia interna (= 0,9 d)	z	1026	mm

1.3) ARMATURA LONGITUDINALE TESA

- armatura longitudinale 1	ϕ_1	20	mm
	n_1	5	-
- armatura longitudinale 2	ϕ_2	0	mm
	n_2	0	-
- area armatura longitudinale tesa	A_{sl}	1571	mm ²

1.4) SOLLECITAZIONI DI CALCOLO

- taglio di calcolo	V_{Ed}	333.0	kN
- compressione (+) / trazione (-)	N_{Ed}	0.0	kN

2) ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO (p.to 4.1.2.1.3.1 DM2008)

- parametri di calcolo	k	1.42	-
	v_{min}	0.31	-
- rapporto geometrico di armatura	ρ_l	1.38E-03	-
- tensione media di compressione	σ_{cp}	0.00	MPa
- taglio resistente minimo	$V_{Rd,min}$	356.8	kN
- taglio resistente	V_{Rd}	356.8	kN

VERIFICA $V_{Rd} > V_{Ed}$

OK

$$V_{Ed,MAX} = 333.0 \text{ kN} < V_{Rd} = 356.8 \text{ kN}$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per le combinazioni che massimizzano il momento flettente allo SLE nelle sezioni di mezzeria in campata e nella sezione in corrispondenza dei diaframmi centrali.

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	M22
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-B2	SLECR01	Combination	839.21
SEZ-B2	SLEFR01	Combination	773.45
SEZ-B2	SLEQP01	Combination	576.17
SEZ-B3	SLECR01	Combination	-1112.59
SEZ-B3	SLEFR01	Combination	-1033.06
SEZ-B3	SLEQP01	Combination	-794.5
SEZ-B4	SLECR01	Combination	428.97
SEZ-B4	SLEFR01	Combination	386.61
SEZ-B4	SLEQP01	Combination	259.55

Nella seguente Tabella si riportano le verifiche tensionali in condizioni di esercizio e le verifiche di fessurazione.

Tabella 7: SEZ-B2 – Verifiche in esercizio

1. Combinazione caratteristica						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = 839.21$	253.4	-5.21	360	-16.8	-	-
2. Combinazione frequente						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = 773.45$	233.6	-4.80	-	-	0.260	0.400
3. Combinazione quasi permanente						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = 576.17$	174.0	-3.58	-	-12.6	0.172	0.300

Tabella 8: SEZ-B3 – Verifiche in esercizio

1. Combinazione caratteristica						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = -1112.59$	252.6	-6.19	360	-16.8	-	-
2. Combinazione frequente						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = -1033.06$	234.6	-5.75	-	-	0.265	0.400

3. Combinazione quasi permanente						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = -794.5$	180.4	-4.42	-	-12.6	0.189	0.300

Tabella 9: SEZ-B4 – Verifiche in esercizio

1. Combinazione caratteristica						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = 428.97$	253.9	-3.50	360	-16.8	-	-
2. Combinazione frequente						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = 386.61$	228.8	-3.15	-	-	0.300	0.400
3. Combinazione quasi permanente						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = 259.55$	153.6	-2.12	-	-12.6	0.202	0.300

7.6.4 Sezione di verifica C-C

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il momento flettente allo SLU nella sezione di mezzeria (SLU01).

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	M22
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-C2	SLU01	Combination	1859.92

Armatura	Copriferro netto	Armatura corrente	Armatura aggiuntiva
PRINCIPALE	SUPERIORE: 46 mm INFERIORE: 50 mm	SUPERIORE: 1 ϕ 20/20 INFERIORE: 1 ϕ 26/20	- INFERIORE: 1 ϕ 26/20
SECONDARIA	SUPERIORE: 30 mm INFERIORE: 30 mm	SUPERIORE: 1 ϕ 16/20 INFERIORE: 1 ϕ 20/20	- -

La sezione risulta armata in estradosso da 1 ϕ 20/20 e in intradosso da 1 ϕ 26/20+1 ϕ 26/20.

Si ha quanto segue:

Titolo: solettone-sp120cm

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	120

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	6
2	0	13
3	0	107
4	53.09	114

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 kN
M_{xEd}: 1859 kNm
M_{yEd}: 0 kNm

P.to applicazione N: Centro
 xN: 0, yN: 0

Materiali: B450C, C28/35

Proprietà materiali:
 ϵ_{su} : 67.5 ‰, ϵ_{c2} : 2 ‰
 f_{yd} : 391.3 N/mm², ϵ_{cu} : 3.5 ‰
 E_s : 210,000 N/mm², f_{cd} : 15.87 N/mm²
 E_s/E_c : 15, f_{cc}/f_{cd} : 0.8
 ϵ_{syd} : 1.863 ‰, $\sigma_{c,adm}$: 11 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$: 255 N/mm², τ_{co} : 0.6667, τ_{cl} : 1.971

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

Output:
 M_{xRd}: 2.260 kNm
 σ_c : -15.87 N/mm²
 σ_s : 391.3 N/mm²
 ϵ_s : 30.46 ‰
 d: 114 cm
 x: 11.75, x/d: 0.1031
 δ : 0.7

$$M_{Ed} = 1859 \text{ kNm} < M_{Rd} = 2260 \text{ kNm}$$

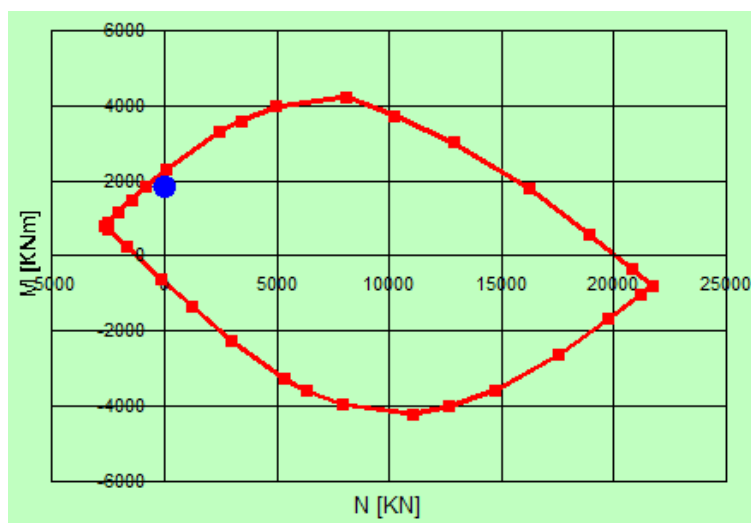


Figura 24: SEZ-C2 – Verifica a momento flettente SLU

Si dispone un'armatura secondaria pari ad almeno il 20% dell'armatura principale:

$$A_s = 25.76 \text{ cm}^2 (5\phi 20+5\phi 16) > 0.20 \cdot 68.8 = 13.76 \text{ cm}^2$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il taglio per lo SLU nelle sezioni di appoggio.

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	V23
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-C1	SLU01	Combination	726.36
SEZ-C3	SLU01	Combination	723.06

La sezione risulta armata a taglio da ganci $1\phi 14/40 \times 40$ per i primi 4.00 m. Si ha quanto segue (per i calcoli di dettaglio della resistenza a taglio della sezione si veda la Tabella 4):

$$V_{Ed,MAX} = 726.3 \text{ kN} < V_{Rd} = 965.7 \text{ kN}$$

Si dispone all'estradosso in corrispondenza degli appoggi un'armatura longitudinale adeguatamente ancorata in grado di assorbire uno sforzo di trazione almeno pari al taglio:

$$A_s = 26.55 \text{ cm}^2 (5\phi 26) > V_{Ed,MAX} / f_{yd} = 16.95 \text{ cm}^2$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per le combinazioni che massimizzano il momento flettente allo SLE nella sezione di mezzzeria.

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	M22
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-C2	SLECR01	Combination	1377.72
SEZ-C2	SLEFR01	Combination	1334.66
SEZ-C2	SLEQP01	Combination	1205.51

Nella seguente Tabella si riportano le verifiche tensionali in condizioni di esercizio e le verifiche di fessurazione.

Tabella 10: SEZ-C2 – Verifiche in esercizio

1. Combinazione caratteristica						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	$\sigma_{s \max}$ [MPa]	$\sigma_{c \max}$ [MPa]	W_d [mm]	$W_{d, \max}$ [mm]
$M_{Ed} = 1377.72$	251.3	-7.07	360	-16.8	-	-
2. Combinazione frequente						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	$\sigma_{s \max}$ [MPa]	$\sigma_{c \max}$ [MPa]	W_d [mm]	$W_{d, \max}$ [mm]
$M_{Ed} = 1334.66$	243.5	6.85	-	-	0.287	0.400
3. Combinazione quasi permanente						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	$\sigma_{s \max}$ [MPa]	$\sigma_{c \max}$ [MPa]	W_d [mm]	$W_{d, \max}$ [mm]
$M_{Ed} = 1205.51$	219.9	-6.19	-	-12.6	0.254	0.300

7.6.5 Sezione di verifica D-D

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il momento flettente allo SLU nelle sezioni di mezzeria in campata e nella sezione in corrispondenza dei diaframmi centrali (SLU01).

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	M22
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-D2	SLU01	Combination	2707.96
SEZ-D3	SLU01	Combination	-2753.06
SEZ-D4	SLU01	Combination	409.65

SEZ-D2 Armatura	Coprifermo netto	Armatura corrente	Armatura aggiuntiva
PRINCIPALE	SUPERIORE: 50 mm INFERIORE: 56 mm	SUPERIORE: 1Ø20/20 INFERIORE: 1Ø26/20	- INFERIORE: 1Ø26/20 (I strato) 1Ø26/20 (II strato)
SECONDARIA	SUPERIORE: 30 mm INFERIORE: 30 mm	SUPERIORE: 1Ø20/10 INFERIORE: 1Ø26/10	- -

La SEZ-D2 risulta armata in estradosso da 1Ø20/20 e in intradosso da 1Ø26/10(I strato)+ 1Ø26/20(II strato). Si ha quanto segue:

Verifica C.A. S.L.U. - File: solettone-sp120cm

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

Titolo : solettone-sp120cm

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	120

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	6
2	0	13
3	26.55	107
4	53.09	114

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
 M_{xEd} 2707 kNm
 M_{yEd} 0 kNm

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

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione Retta Deviata

Materiali B450C C28/35

ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
 E_s 210,000 N/mm² f_{cd} 15.87 ‰
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ε_{syd} 1.863 ‰ σ_{c,adm} 11
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.6667
 τ_{c1} 1.971

M_{xRd} 3,240 kNm

σ_c -15.87 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ε_c 3.5 ‰
 ε_s 17 ‰
 d 114 cm
 x 19.46 x/d 0.1707
 δ 0.7

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

$$M_{Ed} = 2707 \text{ kNm} < M_{Rd} = 3240 \text{ kNm}$$

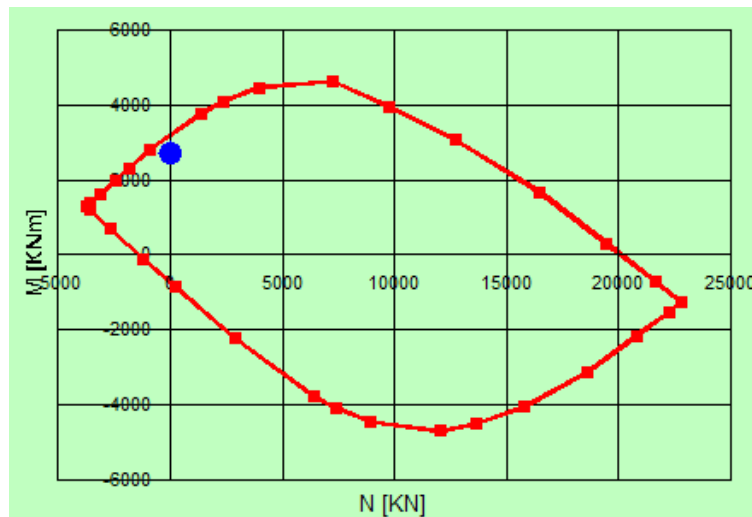


Figura 25: SEZ-D2 – Verifica a momento flettente SLU

Si dispone un'armatura secondaria pari ad almeno il 20% dell'armatura principale:

$$A_s = 84.51 \text{ cm}^2 (10\phi 20 + 1\phi 26) > 0.20 \cdot 95.35 = 19.07 \text{ cm}^2$$

SEZ-D3 Armatura	Copriferro netto	Armatura corrente	Armatura aggiuntiva
PRINCIPALE	SUPERIORE: 50 mm INFERIORE: 56 mm	SUPERIORE: 1Ø20/20 INFERIORE: 1Ø26/20	SUPERIORE: 1Ø26/20 (I strato) 1Ø26/20 (II strato) -
SECONDARIA	SUPERIORE: 30 mm INFERIORE: 30 mm	SUPERIORE: 1Ø16/20 INFERIORE: 1Ø16/20	- -

La SEZ-D3 risulta armata in estradosso da 1Ø20/20+1Ø26/20(I strato)+ 1Ø26/20(II strato) e in intradosso da 1Ø26/20. Si ha quanto segue:

$$M_{Ed} = 2753 \text{ kNm} < M_{Rd} = 2845 \text{ kNm}$$

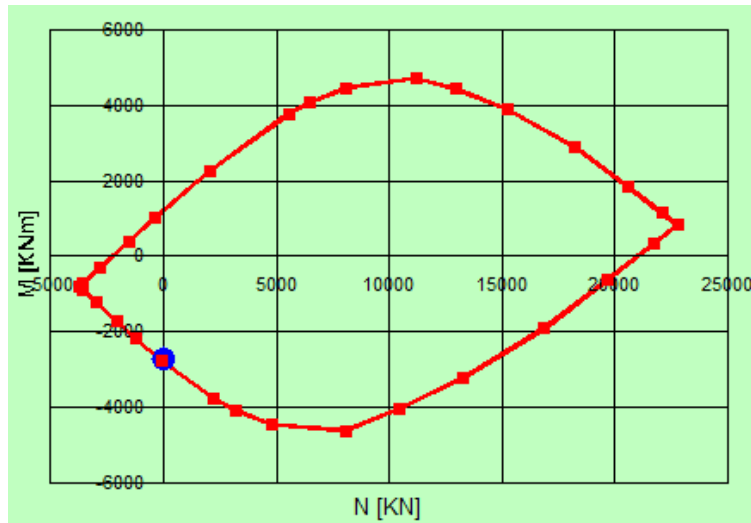


Figura 26: SEZ-D3 – Verifica a momento flettente SLU

SEZ-D4 Armatura	Copriferro netto	Armatura corrente	Armatura aggiuntiva
PRINCIPALE	SUPERIORE: 46 mm INFERIORE: 46 mm	SUPERIORE: 1Ø20/20 INFERIORE: 1Ø26/20	- -
SECONDARIA	SUPERIORE: 30 mm INFERIORE: 30 mm	SUPERIORE: 1Ø16/20 INFERIORE: 1Ø16/20	- -

La SEZ-D4 risulta armata in estradosso da 1Ø20/20 e in intradosso da 1Ø26/20. Si ha quanto segue:

Verifica C.A. S.L.U. - File: solettone-sp120cm

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

Titolo : solettone-sp120cm

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	120

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	6
2	0	13
3	0	107
4	26.55	114

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

Diagramma di sezione:

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
 M_{xEd} 409 kNm
 M_{yEd} 0 kNm

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

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C		C28/35	
ε _{su}	67.5 ‰	ε _{c2}	2 ‰
f _{yd}	391.3 N/mm²	ε _{cu}	3.5 ‰
E _s	210,000 N/mm²	f _{cd}	15.87
E _s /E _c	15	f _{cc} /f _{cd}	0.8
ε _{syd}	1.863 ‰	σ _{c,adm}	11
σ _{s,adm}	255 N/mm²	τ _{co}	0.6667
		τ _{cl}	1.971

M_{xRd} 1,150 kNm

σ_c -15.87 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ε_c 3.5 ‰
 ε_s 54.41 ‰
 d 114 cm
 x 6.89 x/d 0.06044
 δ 0.7

$$M_{Ed} = 409 \text{ kNm} < M_{Rd} = 1150 \text{ kNm}$$

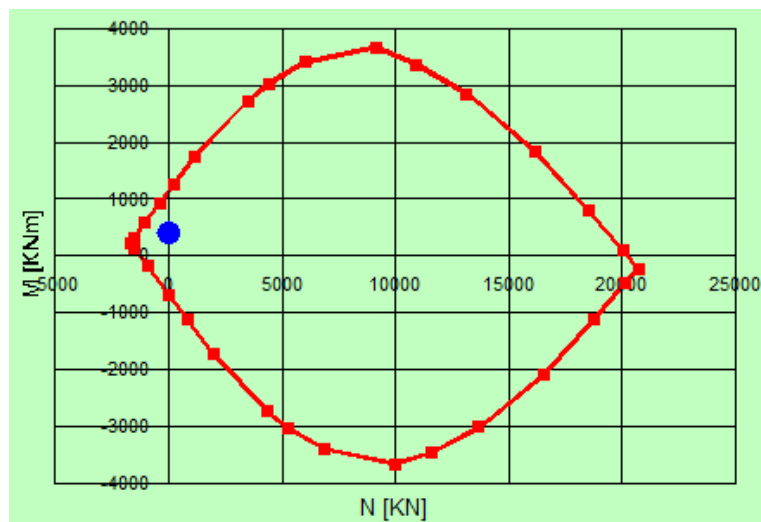


Figura 27: SEZ-D4 – Verifica a momento flettente SLU

Si dispone un'armatura secondaria pari ad almeno il 20% dell'armatura principale:

$$A_s = 20.11 \text{ cm}^2 (5\phi 16+5\phi 16) > 0.20 \cdot 42.26 = 8.45 \text{ cm}^2$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il taglio per lo SLU nelle sezioni di appoggio.

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	V23
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-D1	SLU01	Combination	944.45
SEZ-D5	SLU01	Combination	275.67

La sezione risulta armata a taglio da ganci $1\phi 14/40 \times 40$ per i primi 6.00 m lato SEZ-D1 mentre risulta priva di armatura a taglio lato SEZ-D5. Si ha quanto segue (per i calcoli di dettaglio della resistenza a taglio della sezione si veda la Tabella 4):

$$V_{Ed,MAX} = 944.45 \text{ kN} < V_{Rd} = 965.7 \text{ kN}$$

Si dispone all'estradosso in corrispondenza degli appoggi un'armatura longitudinale adeguatamente ancorata in grado di assorbire uno sforzo di trazione almeno pari al taglio:

$$A_s = 26.55 \text{ cm}^2 (5\phi 26) > V_{Ed,MAX} / f_{yd} = 24.67 \text{ cm}^2$$

Tabella 11: Calcolo della resistenza a taglio in assenza di armatura a taglio

RESISTENZA NEI CONFRONTI DI SOLLECITAZIONI TAGLIANTI (p.to 4.1.2.1.3 DM2008)

1) DATI GENERALI

1.1) CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

- calcestruzzo	f_{ck}	28.0	MPa
	α_{cc}	0.85	-
	γ_c	1.50	-
	f_{cd}	15.9	MPa
	f_{ctm}	2.8	MPa
- acciaio	f_{yk}	450.0	MPa
	f_{yd}	391.3	MPa

1.2) CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

- altezza	h	1200	mm
- larghezza minima	b_w	1000	mm
- copriferro di calcolo	c	60	mm
- area cls	A_c	1.20E+06	mm ²
- altezza utile	d	1140	mm
- braccio coppia interna (= 0,9 d)	z	1026	mm

1.3) ARMATURA LONGITUDINALE TESA

- armatura longitudinale 1	ϕ_1	20	mm
	n_1	5	-
- armatura longitudinale 2	ϕ_2	0	mm
	n_2	0	-
- area armatura longitudinale tesa	A_{sl}	1571	mm ²

1.4) SOLLECITAZIONI DI CALCOLO

- taglio di calcolo	V_{Ed}	275.7	kN
- compressione (+) / trazione (-)	N_{Ed}	0.0	kN

2) ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO (p.to 4.1.2.1.3.1 DM2008)

- parametri di calcolo	k	1.42	-
	v_{min}	0.31	-
- rapporto geometrico di armatura	ρ_l	1.38E-03	-
- tensione media di compressione	σ_{cp}	0.00	MPa
- taglio resistente minimo	$V_{Rd,min}$	356.8	kN
- taglio resistente	V_{Rd}	356.8	kN

VERIFICA $V_{Rd} > V_{Ed}$ OK

$$V_{Ed,MAX} = 275.7 \text{ kN} < V_{Rd} = 356.8 \text{ kN}$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per le combinazioni che massimizzano il momento flettente allo SLE nelle sezioni di mezzeria in campata e nella sezione in corrispondenza dei diaframmi centrali.

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	M22
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-D2	SLECR01	Combination	2005.90
SEZ-D2	SLEFR01	Combination	1894.51
SEZ-D2	SLEQP01	Combination	1560.35
SEZ-D3	SLECR01	Combination	-2039.31
SEZ-D3	SLEFR01	Combination	-1925.79
SEZ-D3	SLEQP01	Combination	-1585.23
SEZ-D4	SLECR01	Combination	303.45
SEZ-D4	SLEFR01	Combination	286.10
SEZ-D4	SLEQP01	Combination	234.06

Nella seguente Tabella si riportano le verifiche tensionali in condizioni di esercizio e le verifiche di fessurazione.

Tabella 12: SEZ-D2 – Verifiche in esercizio

1. Combinazione caratteristica						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = 2005.90$	261.9	-9.27	360	-16.8	-	-
2. Combinazione frequente						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = 1894.51$	247.3	-8.76	-	-	0.316	0.400
3. Combinazione quasi permanente						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = 1560.35$	203.7	-7.22	-	-12.6	0.249	0.300

Tabella 13: SEZ-D3 – Verifiche in esercizio

1. Combinazione caratteristica						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = -2039.31$	306.1	-9.49	360	-16.8	-	-
2. Combinazione frequente						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = -1925.79$	289.0	-8.96	-	-	0.353	0.400
3. Combinazione quasi permanente						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = -1585.23$	237.9	-7.38	-	-12.6	0.280	0.300

Tabella 14: SEZ-D4 – Verifiche in esercizio

1. Combinazione caratteristica						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = 303.45$	107.8	-2.01	360	-16.8	-	-
2. Combinazione frequente						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = 286.10$	101.7	-1.89	-	-	-	0.400
3. Combinazione quasi permanente						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = 234.06$	83.18	-1.55	-	-12.6	-	0.300

Le verifiche a fessurazione per la SEZ-D4 si ritengono superflue visti i limitati valori delle tensioni in gioco.

7.6.6 Verifiche a momento flettente longitudinale

Come precisato al par. 7.1 il solettone di copertura è stato analizzato utilizzando un modello di calcolo a lastra che comporta l'insorgere di sollecitazioni flessionali longitudinali M11 non trascurabili, in particolare nel tratto centrale della copertura (Figura 28). Tali sollecitazioni sono state tenute in conto prevedendo un'ideale armatura longitudinale.

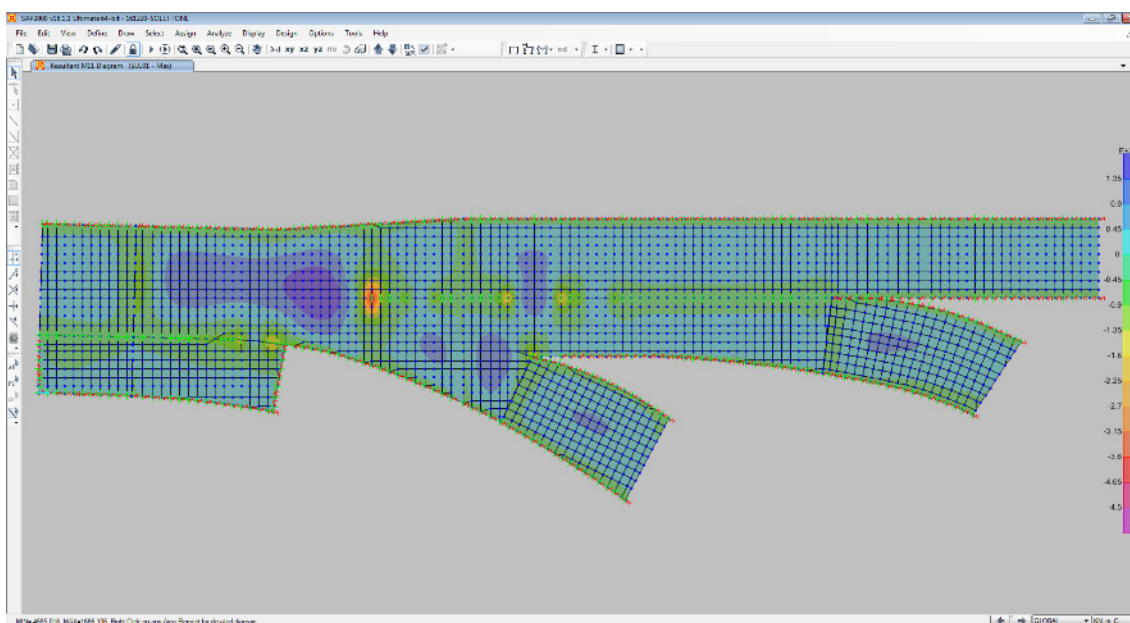


Figura 28: Resultant M11 Diagram (Momento flettente longitudinale)

Di seguito si riportano le verifiche di resistenza per il momento flettente M11 eseguite utilizzando lo strumento “Concrete Shell Design” del programma di calcolo SAP2000, che implementa la procedura descritta nell’Eurocodice 2 per il calcolo delle sollecitazioni in elementi di tipo Shell (EN1992-2:2005 Annex LL).

Tale algoritmo fornisce in output una mappa rappresentativa dell’area minima di armatura da adottare per assorbire le sollecitazioni dovute ai carichi di progetto.

Nelle mappe illustrate nelle Figure che seguono sono stati eseguiti dei “cut-off” in funzione delle diverse tipologie di armatura longitudinale adottate. In particolare, per ciascuna tipologia, le zone in magenta sono rappresentative delle aree in cui l’armatura indicata risulta sufficiente ad assorbire le sollecitazioni di progetto mentre le zone in viola evidenziano le aree in cui tale armatura non risulta sufficiente a soddisfare le verifiche di sicurezza.

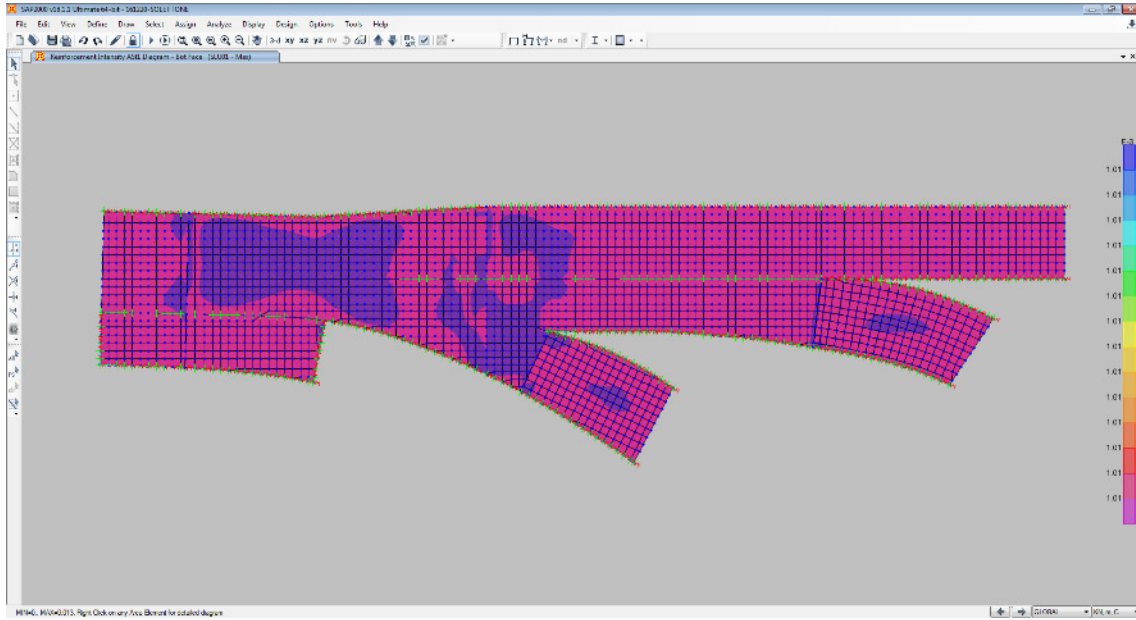


Figura 29: Armatura longitudinale minima – cut-off $A_s < 10.05 \text{ cm}^2$ (1Ø16/20)

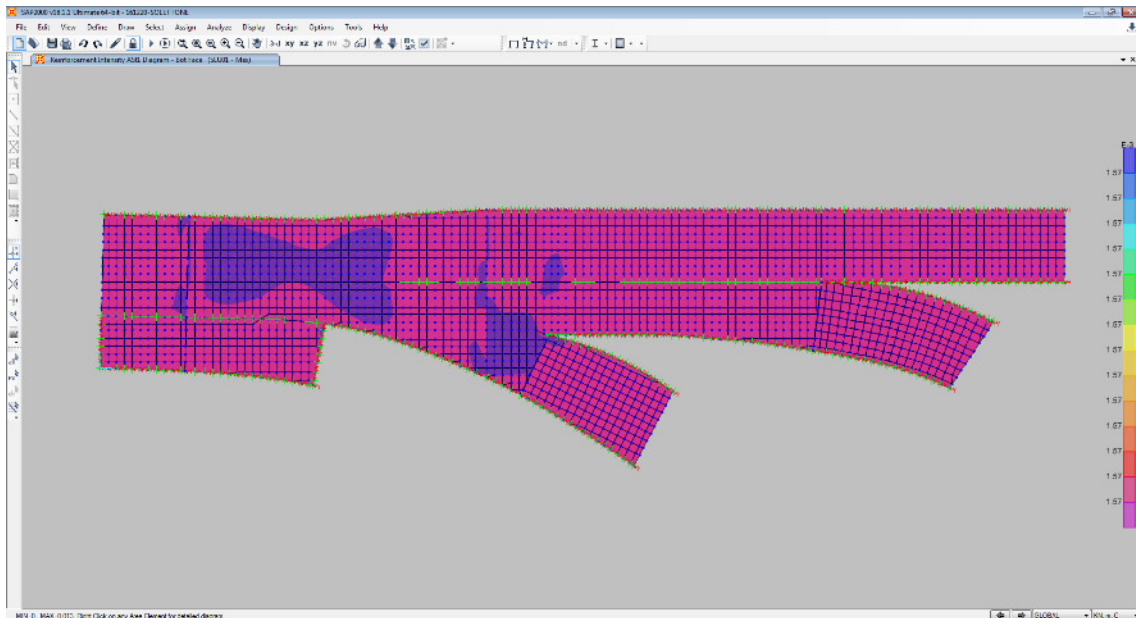


Figura 30: Armatura longitudinale minima – cut-off $A_s < 15.71 \text{ cm}^2$ (1Ø20/20)

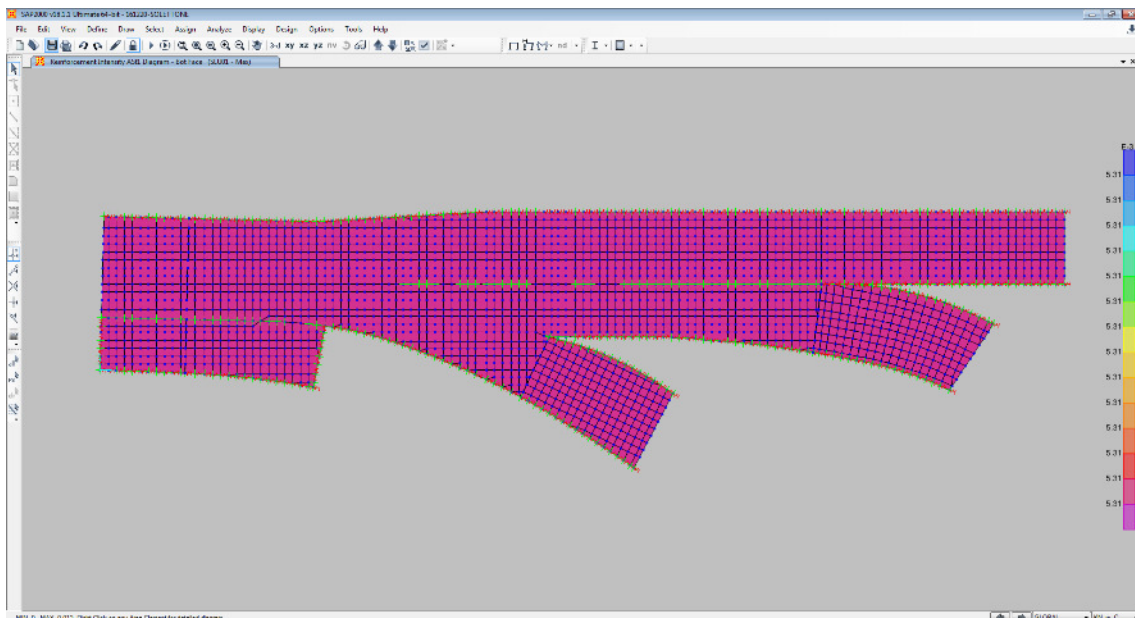


Figura 31: Armatura longitudinale minima – cut-off $A_s < 53.09 \text{ cm}^2$ (1Ø26/10)

Confrontando le mappe sopra riportate con le armature longitudinali definite a progetto si può affermare che anche le verifiche di resistenza a momento flettente longitudinale risultano soddisfatte.

7.6.7 Verifica di deformabilità

La seguente Figura 32 mostra la deformazione verticale del solettone di copertura per effetto della combinazione quasi permanente dei carichi.

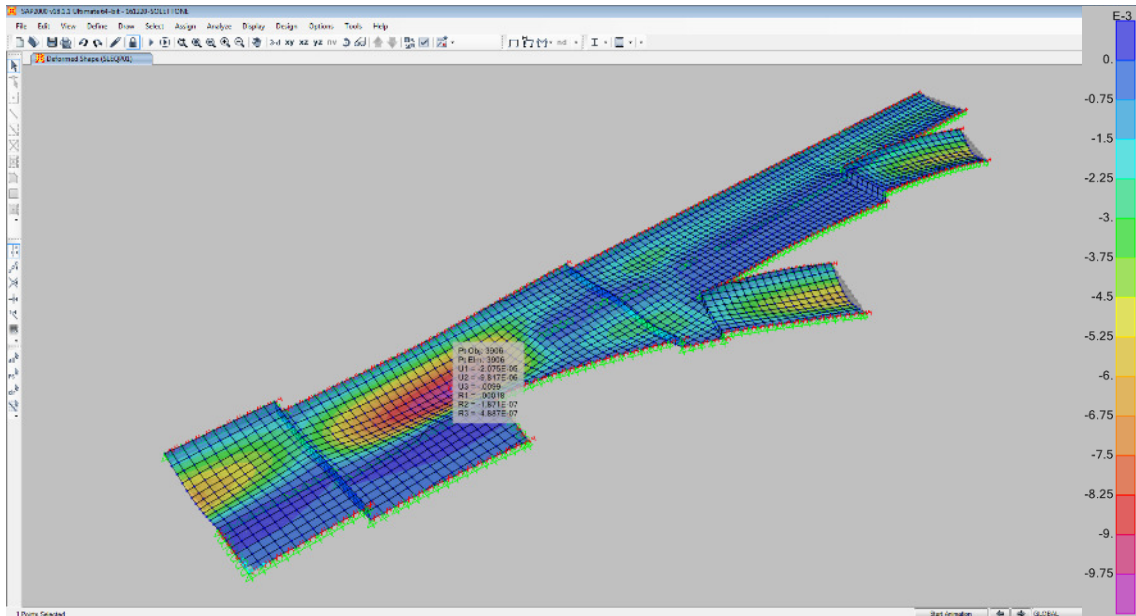


Figura 32: Spostamenti verticali U3 – Combinazione quasi permanente

Joint Text	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
3906	SLEQP01	Combination	Max	-2.1E-05	-9.817E-06	-0.009912	0.000184	-1.871E-07	-4.887E-07
3906	SLEQP01	Combination	Min	-2.1E-05	-9.817E-06	-0.009912	0.000184	-1.871E-07	-4.887E-07
3896	SLEQP01	Combination	Max	-2.4E-05	-8.453E-06	-0.009877	0.000162	4.8E-05	-1.07E-06
3896	SLEQP01	Combination	Min	-2.4E-05	-8.453E-06	-0.009877	0.000162	4.8E-05	-1.07E-06
3916	SLEQP01	Combination	Max	-1.8E-05	-1.1E-05	-0.009864	0.000201	-6.4E-05	-9.268E-07
3916	SLEQP01	Combination	Min	-1.8E-05	-1.1E-05	-0.009864	0.000201	-6.4E-05	-9.268E-07

Considerando un modulo elastico del calcestruzzo pari ad 1/3 del modulo elastico istantaneo per tenere in conto dell'effetto della viscosità si ha:

$$f_{\max} = 29.74 \text{ mm} = L/650 < L/250$$

La verifica di deformabilità risulta soddisfatta.

8. Solettone di fondo

Nel presente capitolo si riportano il calcolo e le principali verifiche relative al solettone di fondo della galleria artificiale Fornaci II. Il solettone è realizzato in c.a. e presenta un'altezza di 1.50 m.

8.1 Modello di calcolo

L'analisi dello stato tensionale e di deformazione dovuto alle combinazioni di carico di progetto è stato analizzato tramite modellazioni agli elementi finiti realizzate con il programma di calcolo SAP2000 Advanced. In particolare il solettone di fondo è stato interamente modellato tramite elementi bidimensionali Areas di tipo "Shell - Thick" caratterizzati da comportamento flessionale e membranale (Shell).

Per tutte le combinazioni di carico indagate, le risultanti dei carichi agenti sul solettone producono ovunque risultanti dirette verso l'alto; in tale condizione il solettone risulta vincolato ai suoi bordi in corrispondenza dei rimpelli.

Lo schema strutturale adottato è quindi quello di lastra piana semplicemente appoggiata sui rimpelli. Il grado di incastro parziale che inevitabilmente si verrà a creare ai bordi della struttura, e che non è considerato in fase di analisi, viene tenuto in conto prevedendo un'armatura all'intradosso in grado di assorbire almeno il 15% del massimo momento flettente in campata (UNI EN 1992 par. 9.3.1.2 (2)).

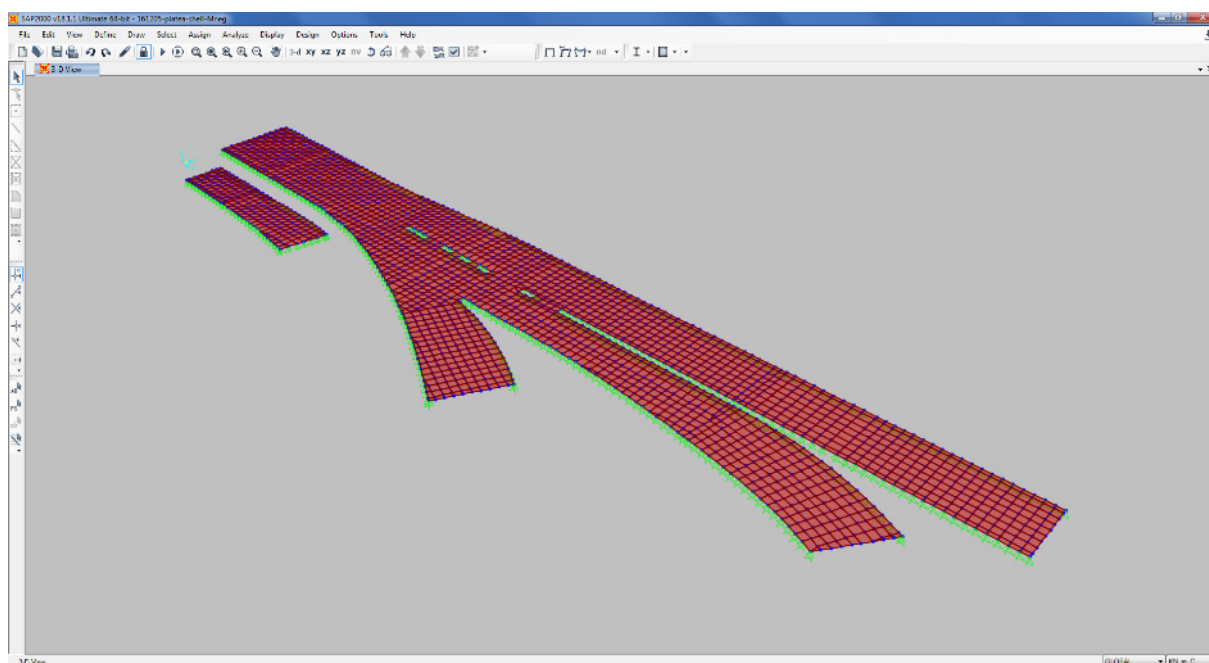


Figura 33: Modello agli elementi finiti SAP2000 – Vista 3D

8.2 Analisi dei carichi

Il modello di calcolo realizzato è soggetto ad azioni esterne definite con gli usuali criteri di determinazione dei carichi. Si elencano di seguito i casi di carico elementari che costituiscono l'input nel programma di calcolo.

8.2.1 Peso proprio (DEAD)

Il programma di calcolo considera automaticamente il peso proprio degli elementi strutturali in funzione delle sezioni assegnate e del peso specifico del materiale valutato in ragione di 25 kN/m³:

$$q_{pp} = 25 \times 1.50 = 37.50 \text{ kN/m}^2$$

8.2.2 Carichi permanenti non strutturali (PERM)

Il carico permanente sul solettone di fondo è costituito dal peso del ricoprimento (comprensivo della sottostruttura stradale) valutato in ragione di 20 kN/m³.

Lo spessore medio del ricoprimento è assunto pari a 0.80 m, quindi:

$$q_{ricopr.} = 20 \times 0.80 = 16.00 \text{ kN/m}^2$$

Il carico è stato assegnato agli elementi Areas schematizzanti il solettone di fondo della galleria come carico superficiale uniformemente distribuito (Uniform Area Load).

8.2.3 Sottospinta idrostatica (SI)

La sottospinta idrostatica esercitata dall'acqua di falda sul solettone di fondo, in condizioni di esercizio dell'opera, è modellata mediante una distribuzione lineare di pressioni variabile in funzione della quota di intradosso del solettone.

Il livello statico di falda di progetto viene assunto a quota assoluta +12.00 m s.l.m.

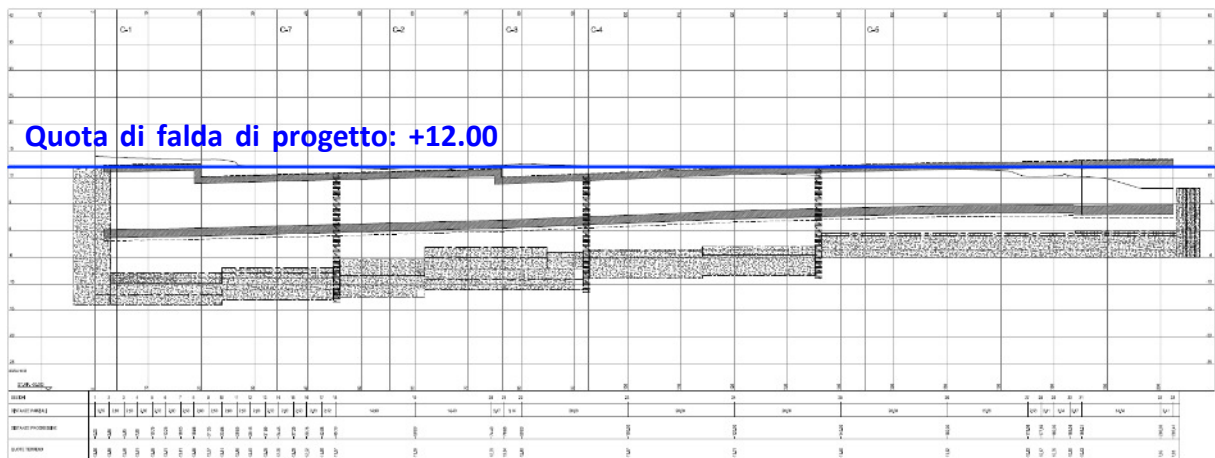


Figura 34: Profilo longitudinale galleria con indicazione del livello di falda di progetto

La distribuzione della pressione idrostatica sul solettone di fondo assume pertanto i seguenti valori estremi:

Spinta idrostatica lato GN Le Fornaci 1 (quota intradosso solettone -1.35 m s.l.m.)

$$p_1 = 10 \times 13.35 = 133.5 \text{ kN/m}^2$$

Spinta idrostatica lato sottopasso scatolare (quota intradosso solettone +3.45 m s.l.m.)

$$p_2 = 10 \times 8.55 = 85.5 \text{ kN/m}^2$$

La distribuzione della pressione idrostatica sul solettone di fondo della vasca di sollevamento (livello intradosso costante a quota -5.08 m) assume il seguente valore:

Spinta idrostatica solettone vasca di sollevamento (quota intradosso solettone -5.08 m s.l.m.)

$$p_3 = 10 \times 17.08 = 170.08 \text{ kN/m}^2$$

Quota di falda di progetto: +12.00

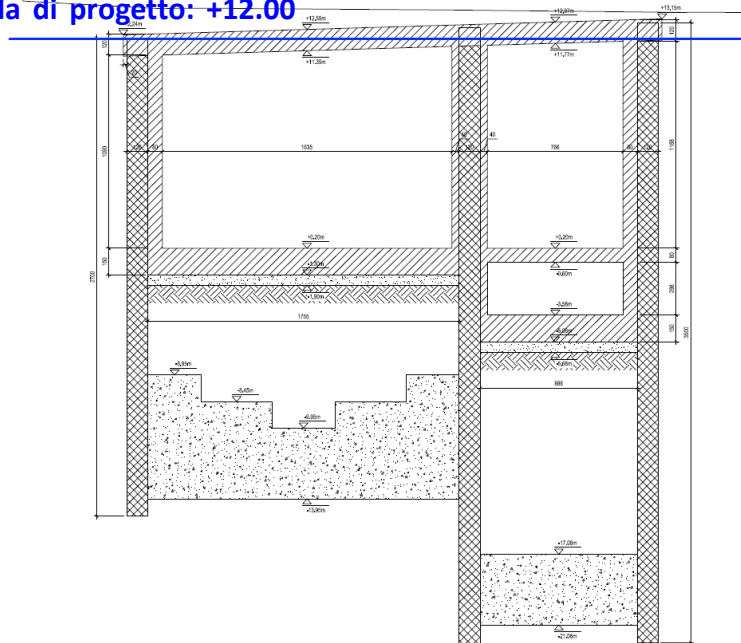


Figura 35: Sezione trasversale vasca di sollevamento con indicazione del livello di falda di progetto

Il carico è stato assegnato agli elementi Areas schematizzanti il solettone di fondo come carico superficiale uniformemente distribuito (Uniform Area Load).

8.2.4 Carichi variabili (VAR)

Si considera un sovraccarico accidentale dovuto ai carichi mobili pari a 10 kN/m².

Il carico è stato assegnato agli elementi Areas schematizzanti il solettone di fondo della galleria come carico superficiale uniformemente distribuito (Uniform Area Load).

8.3 Casi di carico e tipologie di analisi eseguite

La seguente Tabella riporta le analisi eseguite per i singoli casi di carico elementari specificandone la tipologia.

Tabella 15: Load Case Definitions

TABLE: Load Case Definitions			
Case	Type	DesignType	Notes
Text	Text	Text	Text
DEAD	LinStatic	DEAD	Peso proprio
PERM	LinStatic	SUPER DEAD	Peso del ricoprimento
SI	LinStatic	SUPER DEAD	Spinta idrostatica
VAR	LinStatic	LIVE	Carichi variabili da traffico

Si specifica che con “LinStatic” si intende un’analisi statica lineare.

8.4 Combinazione delle azioni

I coefficienti di amplificazione dei carichi e i coefficienti di combinazione per le diverse combinazioni di carico da adottare in fase di analisi sono riportati nelle tabelle seguenti. In particolare, con riferimento alle verifiche strutturali condotte nei riguardi delle combinazioni SLU, si fa riferimento ai coefficienti parziali di sicurezza indicati per la combinazione “A1 STR”.

I coefficienti di amplificazione da adottare per i carichi permanenti agenti sul solettone di fondo sono riportati nella tabella seguente (Tab. 2.6.I D.M.14/01/2008).

Tabella 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

I coefficienti di amplificazione e di combinazione da adottare per i carichi variabili da traffico sono riportati nelle tabelle seguenti (Tab. 5.1.V e Tab. 5.1.VI D.M.14/01/2008).

Tabella 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	γ_{e1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti 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

Tabella 5.1.VI - Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente ψ_0 di combinazione	Coefficiente ψ_1 (valori frequenti)	Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 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
Vento q_5	Vento a ponte scarico			
	SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	----	0,0
Neve q_5	Vento a ponte carico	0,6		
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Temperatura	esecuzione	0,8	0,6	0,5
	T_k	0,6	0,6	0,5

Nella seguente Tabella si riassumono tutte le condizioni di carico precedentemente elencate con indicati i relativi coefficienti parziali assunti in fase di analisi.

A favore di sicurezza si fattorizza allo SLU il carico da ricoprimento (PERM) con coefficiente pari a 0.00 in quanto alla luce dello schema statico considerato tale carico fornirebbe un contributo favorevole ai fini delle verifiche.

Tabella 16: Coefficienti di combinazione dei casi di carico elementari

Load Case	γ	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
DEAD	1.00/1.30	-	-	-
PERM	0.00/1.50	-	-	-
SI	1.00/1.30	-	-	-
VAR	0.00/1.35	0.75	0.75	0.00

Al fine di individuare le combinazioni dei carichi vincolanti per il dimensionamento, si sono esaminate le sollecitazioni flessionali e taglianti nelle rispettive sezioni di verifica dovute ai singoli casi di carico semplici e si è amplificato solo l'effetto dei casi di carico che massimizzavano la sollecitazione in esame. In tal modo si è certi di aver individuato, tra tutte le possibili, solo le poche combinazioni dei carichi vincolanti ai fini del dimensionamento.

Nelle combinazioni per SLE si omette il contributo dei carichi variabili in accordo con quanto indicato al par. 2.5.3 del D.M.14/01/2008, in quanto darebbero un contributo favorevole ai fini delle verifiche. Il contributo del ricoprimento viene invece tenuto in conto in quanto si può realisticamente ritenere che questo sia sempre presente nel corso della condizione di esercizio dell'opera.

Poiché le uniche azioni in gioco considerate per le verifiche in esercizio sono azioni di tipo permanente si considera un'unica combinazione di carico SLE (SLE01).

Le verifiche in combinazione sismica (SLV) per la struttura in esame risultano meno gravose delle verifiche in condizione statica (SLU). Tali verifiche non vengono pertanto riportate ai fini della presente relazione in quanto non dimensionanti.

Nella seguente Tabella si riportano le combinazioni dei carichi impiegate in fase di analisi.

Tabella 17: Load Combination Definitions

TABLE: Combination Definitions				
ComboName	ComboType	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Text	Text	Unitless
SLU01	Linear Add	Linear Static	DEAD	1.00
SLU01		Linear Static	PERM	0.00
SLU01		Linear Static	VAR	0.00
SLU01		Linear Static	SI	1.30
SLE01	Linear Add	Linear Static	DEAD	1.00
SLE01		Linear Static	PERM	1.00
SLE01		Linear Static	VAR	0.00
SLE01		Linear Static	SI	1.00

8.5 Sollecitazioni

Nel presente paragrafo si riportano le mappe delle principali sollecitazioni agenti sul solettone di fondo della galleria per effetto della combinazione fondamentale dei carichi (SLU01). Per i valori delle sollecitazioni assunti in fase di verifica si rimanda ai successivi paragrafi.

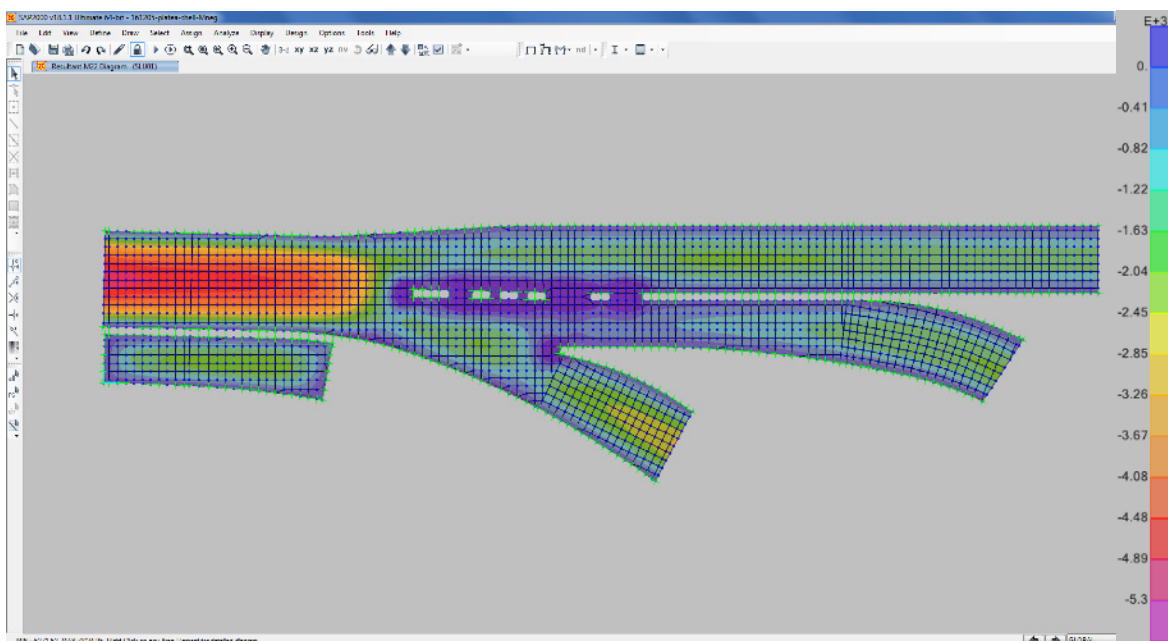


Figura 36: Resultant M22 Diagram (top)

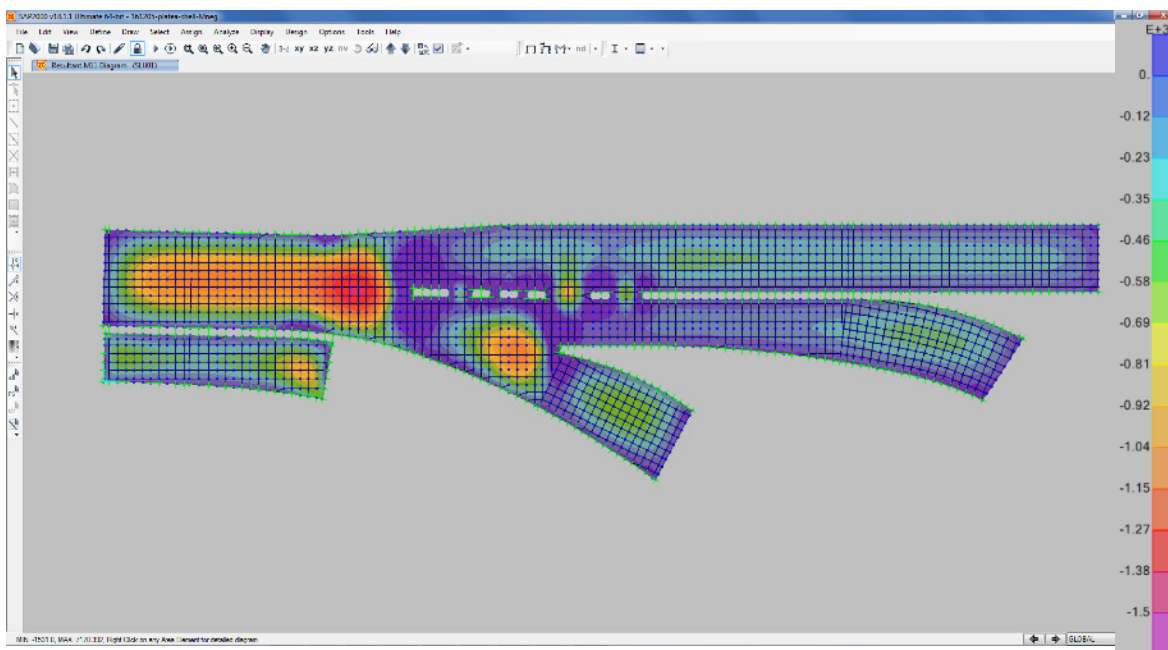


Figura 37: Resultant M11 Diagram (top)

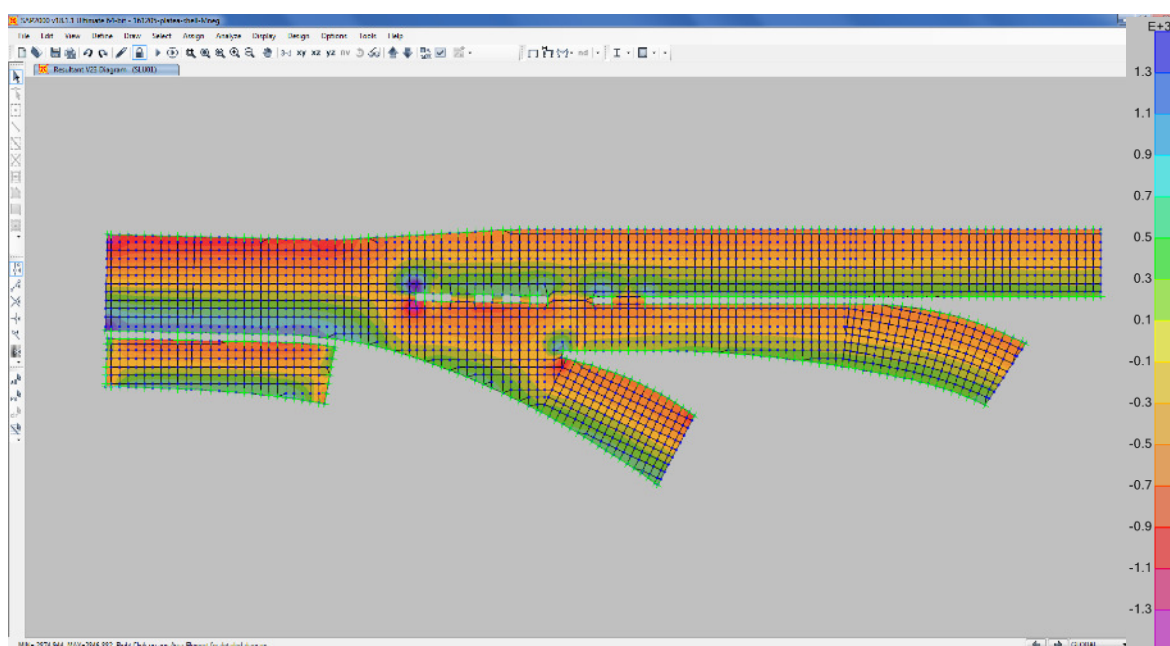


Figura 38: Resultant V23 Diagram

8.6 Verifiche

Nei seguenti paragrafi si riportano le principali verifiche strutturali effettuate in riferimento alla sezione maggiormente sollecitata per ciascuna tipologia di armatura. Le verifiche sono state eseguite con il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite. Si effettuano le seguenti verifiche:

- Stato Limite Ultimo (SLU) - verifiche di resistenza in combinazione fondamentale delle azioni;
- Stato Limite di Esercizio (SLE) - verifiche dello stato tensionale in combinazione caratteristica delle azioni;
- Stato Limite di Esercizio (SLE) - verifiche di fessurazione in combinazione frequente e quasi permanente delle azioni. ¹

8.6.1 Sezioni di verifica indagate

Si sono individuate nel modello strutturale n.5 sezioni trasversali significative della galleria + n.1 sezione trasversale in corrispondenza della vasca di sollevamento, il cui stato di sollecitazione risulta determinante per il dimensionamento e le verifiche di resistenza del solettone di fondo, in considerazione delle diverse tipologie di armatura adottate. Tali sezioni sono individuate nella Figura seguente.

¹ Poiché le uniche azioni in gioco sono di tipo permanente si considera per le verifiche in esercizio un'unica combinazione di carico (SLE01).

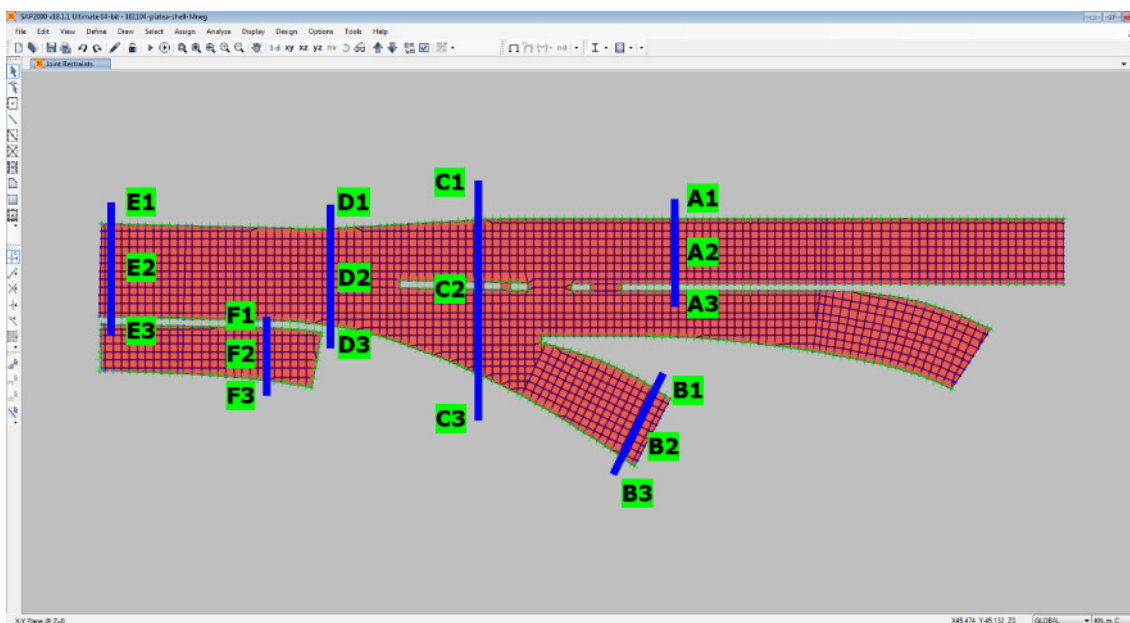


Figura 39: Individuazione sezioni di verifica solettone di fondo

Le sollecitazioni riportate nelle tabelle che seguono così come le rispettive verifiche sono sempre riferite ad una striscia di larghezza unitaria.

Per il dettaglio della disposizione delle armature nelle sezioni di verifica indagate si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

8.6.2 Sezione di verifica A-A

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il momento flettente allo SLU nella sezione di mezzzeria (SLU01).

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	M22
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-A2	SLU01	Combination	-1713.13

SEZ-A2 Armatura	Copriferro netto	Armatura corrente	Armatura aggiuntiva
PRINCIPALE	SUPERIORE: 46 mm INFERIORE: 46 mm	SUPERIORE: 1Ø20/20 INFERIORE: 1Ø20/20	SUPERIORE: 1Ø20/20 -
SECONDARIA	SUPERIORE: 30 mm INFERIORE: 30 mm	SUPERIORE: 1Ø16/20 INFERIORE: 1Ø16/20	- -

La sezione risulta armata in estradosso da 1φ20/10 e in intradosso da 1φ20/20. Si ha quanto segue:

Verifica C.A. S.L.U. - File: platea-sp150cm

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	100	150

N°	As [cm²]	d [cm]
1	31.42	6
2	0	13
3	15.71	144

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

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 kN N_{Rd}: -1.886 kN m
 M_{xEd}: -1713 kNm M_s: 428.6 N/mm²
 M_{yEd}: 0 kNm M_c: 3.5 ‰
 E_s: 210,000 N/mm² E_s: 58.7 ‰
 E_s/E_c: 15 d: 144 cm
 E_{syd}: 2.041 ‰ x: 8.102 x/d: 0.05627
 σ_{s,adm}: 255 N/mm² τ_{co}: 0.6667 δ: 0.7
 τ_{c1}: 1.971

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

Tipologia flessione:
 Retta Deviata

N° rett.: 100
 Calcola MRd Dominio M-N
 L_o: 0 cm Col. modello

Precompresso

$$M_{Ed} = 1713 \text{ kNm} < M_{Rd} = 1886 \text{ kNm}$$

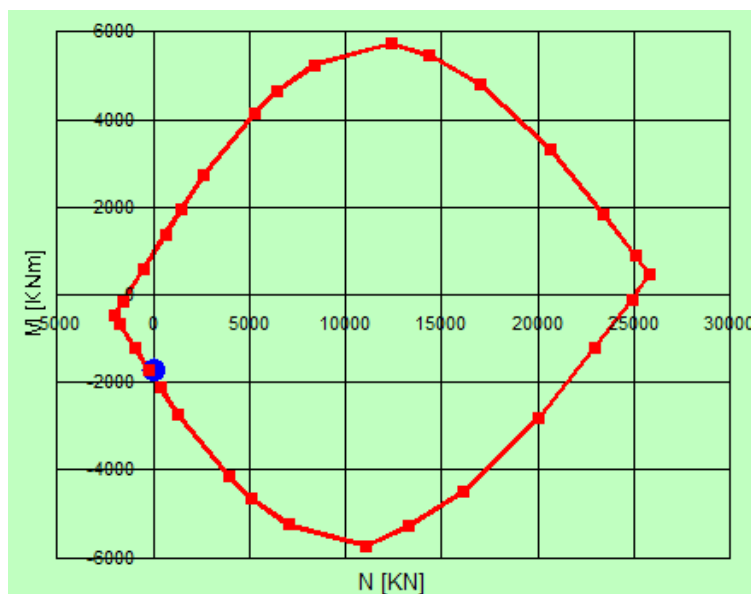


Figura 40: SEZ-A2 – Verifica a momento flettente SLU

Si dispone un'armatura secondaria pari ad almeno il 20% dell'armatura principale:

$$A_s = 20.11 \text{ cm}^2 (5\phi 16+5\phi 16) > 0.20 \cdot 47.13 = 9.43 \text{ cm}^2$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il taglio per lo SLU nelle sezioni di appoggio.

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	V23
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-A1	SLU01	Combination	-550.38
SEZ-A3	SLU01	Combination	549.00

La sezione risulta armata a taglio da ganci $1\phi 14/40 \times 40$ per i primi 2.00 m. Si ha quanto segue:

Tabella 18: Calcolo della resistenza a taglio

RESISTENZA NEI CONFRONTI DI SOLLECITAZIONI TAGLIANTI (p.to 4.1.2.1.3 DM2008)

1) DATI GENERALI

1.1) CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

- calcestruzzo	f_{ck}	28.0	MPa
	α_{cc}	0.85	-
	γ_c	1.50	-
	f_{cd}	15.9	MPa
	f_{ctm}	2.8	MPa
- acciaio	f_{yk}	450.0	MPa
	f_{yd}	391.3	MPa

1.2) CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

- altezza	h	1500	mm
- larghezza minima	b_w	1000	mm
- copriferro di calcolo	c	60	mm
- area cls	A_c	1.50E+06	mm ²
- altezza utile	d	1440	mm
- braccio coppia interna (= 0,9 d)	z	1296	mm

1.3) ARMATURA LONGITUDINALE TESA

- armatura longitudinale 1	ϕ_1	20	mm
	n_1	5	-
- armatura longitudinale 2	ϕ_2	0	mm
	n_2	0	-
- area armatura longitudinale tesa	A_{sl}	1571	mm ²

1.4) SOLLECITAZIONI DI CALCOLO

- taglio di calcolo	V_{Ed}	550.38	kN
- compressione (+) / trazione (-)	N_{Ed}	0.0	kN

2) ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO (p.to 4.1.2.1.3.1 DM2008)

- parametri di calcolo	k	1.37	-
	v_{min}	0.30	-
- rapporto geometrico di armatura	ρ_l	1.09E-03	-
- tensione media di compressione	σ_{cp}	0.00	MPa
- taglio resistente minimo	$V_{Rd,min}$	428.9	kN
- taglio resistente	V_{Rd}	428.9	kN
	VERIFICA $V_{Rd} > V_{Ed}$		VERIFICA NON SODDISFATTA
- prolungamento armatura tesa (o in alternativa)	$a_l = z$	-	mm
- incremento trazione armatura tesa	$\Delta N_{sl,d}$	-	kN
	$\Delta A_{sl,d}$	-	mm ²

3) ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO (p.to 4.1.2.1.3.2 DM2008)

3.1) STAFFE

- diametro	ϕ	14	mm
- n° braccia	n_b	2.50	-
- passo	s	400	mm
- area di acciaio per ogni staffa	A_{sw}	385	mm ²
- area staffe per metro	A_{sw}/s	962	mm ² /m

3.2) FERRI PIEGATI

- inclinazione ferri piegati	α	0.0	deg
- diametro	ϕ_a	0	mm
- n° braccia	$n_{b,\alpha}$	0	-
- passo	s_α	0	mm
- area di acciaio per ogni ferro piegato	$A_{sw,\alpha}$	0	mm ²
- area ferri piegati per metro	$(A_{sw}/s)_\alpha$	0	mm ² /m

3.3) RESISTENZA DEI PUNTONI IN CLS

- coefficiente maggiorativo	α_c	1.00	-
- resistenza a compressione ridotta	f'_{cd}	7.9	MPa
- resistenza a compressione dei puntoni	f_{cdw}	7.9	MPa
- resistenza minima lato cls	$V_{Rcd,min}$	3545.4	kN
- resistenza max lato cls	$V_{Rcd,max}$	5140.8	kN
	VERIFICA $V_{Rcd,max} > V_{Ed}$		OK

3.4) VERIFICA A TAGLIO

- taglio resistente di progetto	V_{Rd}	1219.8	kN
	VERIFICA $V_{Rd} > V_{Ed}$		OK
- inclinazione ultima dei puntoni	$\cotg\theta_u$	2.50	-
	θ_u	21.8	deg

$$V_{Ed,MAX} = 550.4 \text{ kN} < V_{Rd} = 1219.8 \text{ kN}$$

Si dispone all'estradosso in corrispondenza degli appoggi un'armatura longitudinale adeguatamente ancorata in grado di assorbire uno sforzo di trazione almeno pari al taglio:

$$A_s = 15.71 \text{ cm}^2 (5\emptyset 20) > V_{Ed,MAX} / f_{yd} = 12.84 \text{ cm}^2$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il momento flettente allo SLE nella sezione di mezzzeria (SLE01).

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	M22
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-A2	SLE01	Combination	-883.31

Nella seguente Tabella si riportano le verifiche tensionali in condizioni di esercizio e le verifiche di fessurazione.

Tabella 19: SEZ-A2 – Verifiche in esercizio

1. Combinazione caratteristica/frequente/quasi permanente SLE01						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = -883.31$	209.5	-3.80	360	-12.6	0.224	0.300

Figura 41: SEZ-A2 – Verifiche in esercizio

8.6.3 Sezione di verifica B-B

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il momento flettente allo SLU nella sezione di mezzzeria (SLU01).

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	M22
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-B2	SLU01	Combination	-2372.52

Armatura	Copriferro netto	Armatura corrente	Armatura aggiuntiva
PRINCIPALE	SUPERIORE: 46 mm INFERIORE: 46 mm	SUPERIORE: 1Ø20/20 INFERIORE: 1Ø20/20	SUPERIORE: 1Ø26/20 -
SECONDARIA	SUPERIORE: 30 mm INFERIORE: 30 mm	SUPERIORE: 1Ø16/20 INFERIORE: 1Ø16/20	- -

La sezione risulta armata in estradosso da 1Ø20/20+1Ø26/20 e in intradosso da 1Ø20/20.
 Si ha quanto segue:

$$M_{Ed} = 2372 \text{ kNm} < M_{Rd} = 2521 \text{ kNm}$$

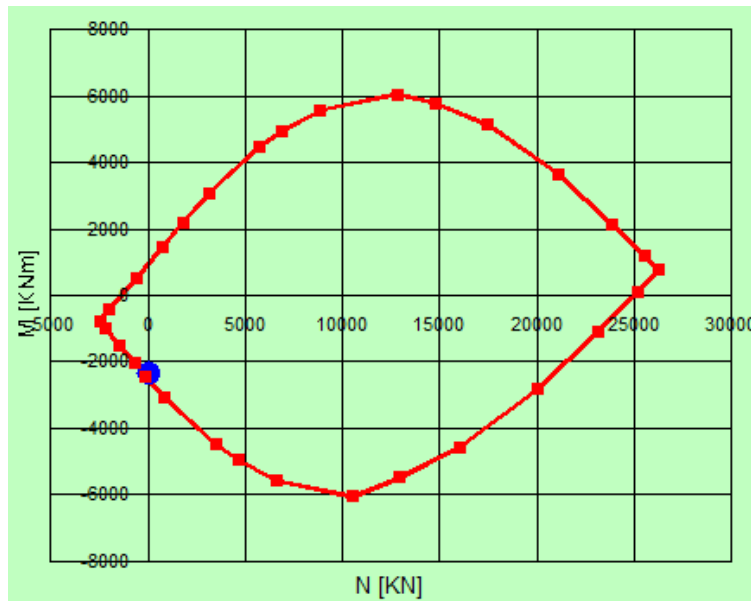


Figura 42: SEZ-B2 – Verifica a momento flettente SLU

Si dispone un'armatura secondaria pari ad almeno il 20% dell'armatura principale:
 $A_s = 20.11 \text{ cm}^2 (5\phi 16+5\phi 16) > 0.20 \cdot 57.96 = 11.59 \text{ cm}^2$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il taglio per lo SLU nelle sezioni di appoggio.

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	V23
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-B1	SLU01	Combination	-570.82
SEZ-B3	SLU01	Combination	654.92

La sezione risulta armata a taglio da ganci $1\phi 14/40 \times 40$ per i primi 2.00 m. Si ha quanto segue (per i calcoli di dettaglio della resistenza a taglio della sezione si veda la Tabella 18):

$$V_{Ed,MAX} = 654.9 \text{ kN} < V_{Rd} = 1219.8 \text{ kN}$$

Si dispone all'estradosso in corrispondenza degli appoggi un'armatura longitudinale adeguatamente ancorata in grado di assorbire uno sforzo di trazione almeno pari al taglio:

$$A_s = 15.71 \text{ cm}^2 (5\phi 20) > V_{Ed,MAX} / f_{yd} = 15.28 \text{ cm}^2$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il momento flettente allo SLE nella sezione di mezzzeria (SLE01).

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	M22
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-B2	SLE01	Combination	-1245.04

Nella seguente Tabella si riportano le verifiche tensionali in condizioni di esercizio e le verifiche di fessurazione.

Tabella 20: Sez-B2 – Verifiche in esercizio

1. Combinazione caratteristica/frequente/quasi permanente SLE01						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = -1245.04$	221.8	-4.79	360	-12.6	0.247	0.300

The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. Key sections include:

- Titolo:** [Empty field]
- N° figure elementari:** 1
- N° strati barre:** 2
- Table 1 (Reinforcement):**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	150
- Table 2 (Reinforcement):**

N°	As [cm²]	d [cm]
1	42.25	6
2	15.71	144
- Sollecitazioni:**
 - N_{Ed} : 0 kN
 - M_{Ed} : -1245.04 kNm
 - M_{xEd} : 0 kNm
 - M_{yEd} : 0 kNm
- Materiali:**
 - B450C:** ϵ_{su} 67.5%, f_{yd} 428.6 N/mm², E_s 210.000 N/mm², E_s/E_c 15, ϵ_{syd} 2.041%, $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²
 - C28/35:** ϵ_{c2} 2%, ϵ_{cu} 3.5%, f_{cd} 15.87, f_{cc}/f_{cd} 0.8, $\sigma_{c,adm}$ 11, τ_{co} 0.6667, τ_{c1} 1.971
- Calculated Values:**
 - σ_c : -4.79 N/mm²
 - σ_s : 221.8 N/mm²
 - ϵ_s : 1.056%
 - d : 144 cm
 - x : 35.23, x/d : 0.2446
 - δ : 0.7458
- Metodo di calcolo:** S.L.U. + (selected)
- Verifica:** N° iterazioni: 4
- Precompresso:** [Unselected]

Figura 43: Sez-B2 – Verifiche in esercizio

8.6.4 Sezione di verifica C-C

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il momento flettente allo SLU nella sezione di mezzzeria (SLU01).

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	M22
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-C2	SLU01	Combination	2050.78

SEZ-C2 Armatura	Copriferro netto	Armatura corrente	Armatura aggiuntiva
PRINCIPALE	SUPERIORE: 46 mm INFERIORE: 46 mm	SUPERIORE: 1Ø20/20 INFERIORE: 1Ø20/20	- INFERIORE: 1Ø26/20 (tra i diaframmi)
SECONDARIA	SUPERIORE: 30 mm INFERIORE: 30 mm	SUPERIORE: 1Ø16/20 INFERIORE: 1Ø16/20	- -

La sezione risulta armata in estradosso da 1Ø20/10 e in intradosso da 1Ø20/20 + 1Ø26/20.
 Si ha quanto segue:

Verifica C.A. S.L.U. - File: platea-sp150cm

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

TITOLO :

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	150	1	31.42	6
			2	0	13
			3	42.25	144

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

Diagramma sezione rettangolare con armatura.

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
 M_{xEd} 2050 kNm
 M_{yEd} 0 kNm

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

Tipologia rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipologia flessione:
 Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali: B450C C28/35

ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 428.6 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
 E_s 210,000 N/mm² f_{cd} 15.87 ‰
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ε_{syd} 2.041 ‰ σ_{c,adm} 11
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.6667
 τ_{c1} 1.971

M_{xRd} 2,525 kNm
 σ_c -15.87 N/mm²
 σ_s 428.6 N/mm²
 ε_c 3.5 ‰
 ε_s 55.06 ‰
 d 144 cm
 x 8.607 x/d 0.05977
 δ 0.7

$$M_{Ed} = 2050 \text{ kNm} < M_{Rd} = 2525 \text{ kNm}$$

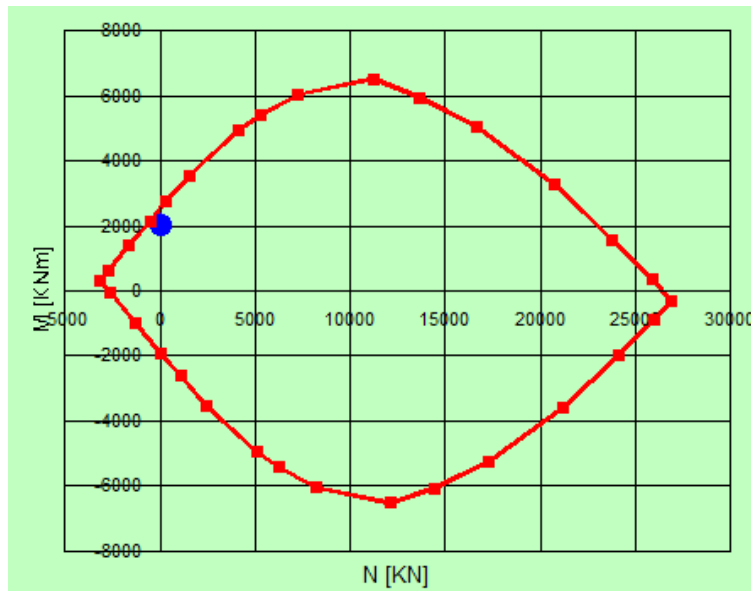


Figura 44: SEZ-C2 – Verifica a momento flettente SLU

Si dispone un'armatura secondaria pari ad almeno il 20% dell'armatura principale:

$$A_s = 20.11 \text{ cm}^2 (5\phi 16+5\phi 16) > 0.20 \cdot 73.67 = 14.73 \text{ cm}^2$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il taglio per lo SLU nelle sezioni di appoggio.

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	V23
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-C1	SLU01	Combination	-417.67
SEZ-C3	SLU01	Combination	500.43

La sezione risulta armata a taglio da ganci $1\phi 14/40 \times 40$ per i primi 2.00 m. Si ha quanto segue (per i calcoli di dettaglio della resistenza a taglio della sezione si veda la Tabella 18):

$$V_{Ed,MAX} = 500.43 \text{ kN} < V_{Rd} = 1219.8 \text{ kN}$$

Si dispone all'estradosso in corrispondenza degli appoggi un'armatura longitudinale adeguatamente ancorata in grado di assorbire uno sforzo di trazione almeno pari al taglio:

$$A_s = 15.71 \text{ cm}^2 (5\phi 20) > V_{Ed,MAX} / f_{yd} = 11.67 \text{ cm}^2$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il momento flettente allo SLE nella sezione di mezzzeria (SLE01).

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	M22
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-C2	SLE01	Combination	1124.39

Nella seguente Tabella si riportano le verifiche tensionali in condizioni di esercizio e le verifiche di fessurazione.

Tabella 21: SEZ-C2 – Verifiche in esercizio

1. Combinazione caratteristica/frequente/quasi permanente SLE01						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	$\sigma_s \text{ max}$ [MPa]	$\sigma_c \text{ max}$ [MPa]	w_d [mm]	$w_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = 1124.39$	199.0	-4.06	360	-12.6	0.215	0.300

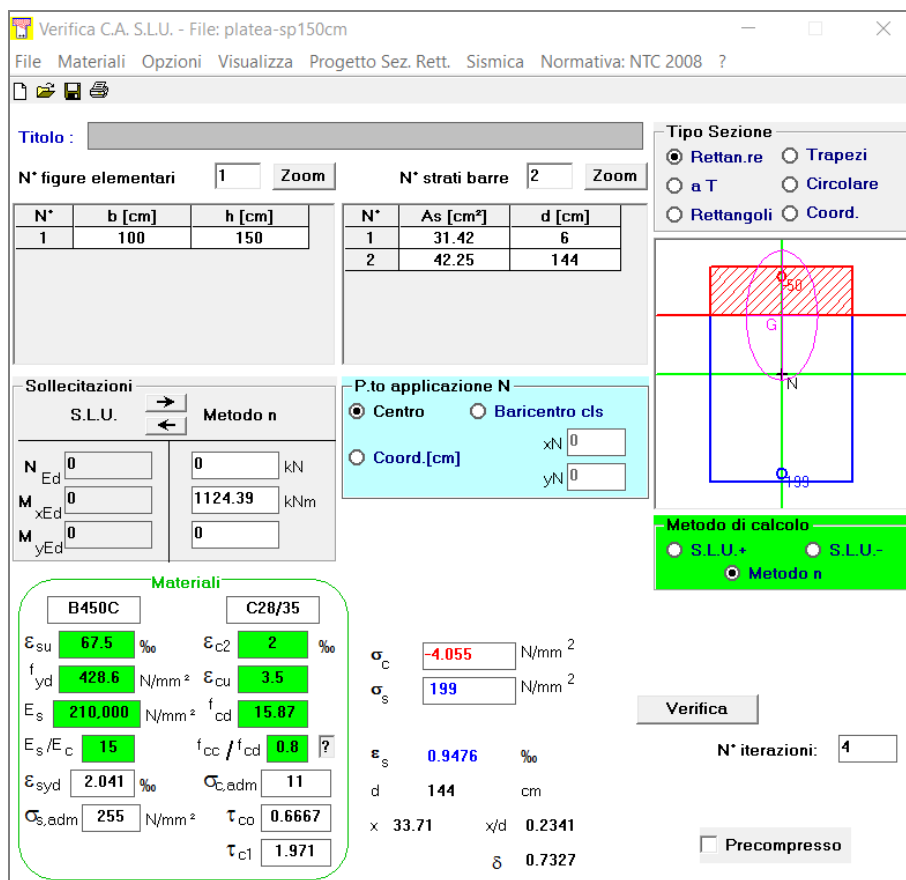


Figura 45: SEZ-C2 – Verifiche in esercizio

8.6.5 Sezione di verifica D-D

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il momento flettente allo SLU nella sezione di mezzeria (SLU01).

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	M22
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-D2	SLU01	Combination	-3522.69

SEZ-D2 Armatura	Copriferro netto	Armatura corrente	Armatura aggiuntiva
PRINCIPALE	SUPERIORE: 50 mm INFERIORE: 46 mm	SUPERIORE: 1Ø26/10 (I strato) INFERIORE: 1Ø26/20	SUPERIORE: 1Ø26/20 (II strato) -

SECONDARIA	SUPERIORE: 30 mm INFERIORE: 30 mm	SUPERIORE: 1Ø20/10 INFERIORE: 1Ø16/20	- -
------------	--	--	--------

La sezione risulta armata in estradosso da 1Ø26/10 (I strato) + 1Ø26/20 (II strato) e in intradosso da 1Ø26/20. Si ha quanto segue:

The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. Key data points include:

- Section Properties:**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	150

N°	As [cm²]	d [cm]
1	53.09	6
2	26.55	13
3	26.55	144
- Applied Forces:**
 - $N_{Ed} = 0$ kN
 - $M_{xEd} = -3522$ kNm
 - $M_{yEd} = 0$ kNm
- Material Properties (B450C / C28/35):**
 - $\epsilon_{su} = 67.5$ ‰
 - $f_{yd} = 428.6$ N/mm²
 - $E_s = 210,000$ N/mm²
 - $\epsilon_{s/E_c} = 15$ ‰
 - $\epsilon_{syd} = 2.041$ ‰
 - $\sigma_{s,adm} = 255$ N/mm²
 - $\epsilon_{c2} = 2$ ‰
 - $\epsilon_{cu} = 3.5$ ‰
 - $f_{cd} = 15.87$ N/mm²
 - $f_{cc}/f_{cd} = 0.8$
 - $\sigma_{c,adm} = 11$ N/mm²
 - $\tau_{co} = 0.6667$ N/mm²
 - $\tau_{c1} = 1.971$ N/mm²
- Design Results:**
 - $M_{Rd} = -4,599$ kNm
 - $\sigma_c = -15.87$ N/mm²
 - $\sigma_s = 428.6$ N/mm²
 - $\epsilon_c = 3.5$ ‰
 - $\epsilon_s = 24.99$ ‰
 - $d = 144$ cm
 - $x = 17.69$ cm, $x/d = 0.1228$
 - $\delta = 0.7$

$$M_{Ed} = 3522 \text{ kNm} < M_{Rd} = 4599 \text{ kNm}$$

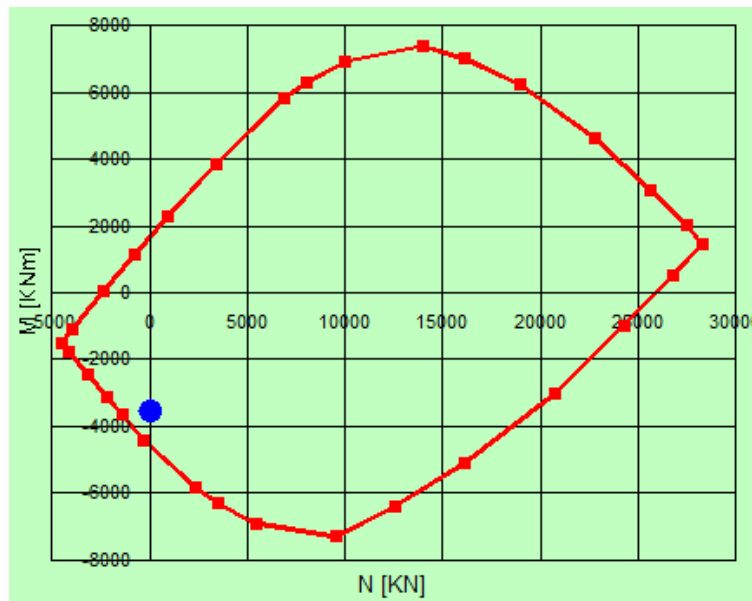


Figura 46: SEZ-D2 – Verifica a momento flettente SLU

Si dispone un'armatura secondaria pari ad almeno il 20% dell'armatura principale:

$$A_s = 41.47 \text{ cm}^2 (10\phi 20 + 5\phi 16) > 0.20 \cdot 106.19 = 21.24 \text{ cm}^2$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il taglio per lo SLU nelle sezioni di appoggio.

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	V23
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-D1	SLU01	Combination	-913.49
SEZ-D3	SLU01	Combination	895.37

La sezione risulta armata a taglio da ganci $1\phi 14/40 \times 40$ per i primi 2.00 m. Si ha quanto segue (per i calcoli di dettaglio della resistenza a taglio della sezione si veda la Tabella 18):

$$V_{Ed,MAX} = 913.5 \text{ kN} < V_{Rd} = 1219.8 \text{ kN}$$

Si dispone all'estradosso in corrispondenza degli appoggi un'armatura longitudinale adeguatamente ancorata in grado di assorbire uno sforzo di trazione almeno pari al taglio:

$$A_s = 53.09 \text{ cm}^2 (10\phi 26) > V_{Ed,MAX} / f_{yd} = 21.32 \text{ cm}^2$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il momento flettente allo SLE nella sezione di mezzeria (SLE01).

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	M22
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-D2	SLE01	Combination	-1999.35

Nella seguente Tabella si riportano le verifiche tensionali in condizioni di esercizio e le verifiche di fessurazione.

Tabella 22: SEZ-D2 – Verifiche in esercizio

1. Combinazione caratteristica/frequente7quasi permanente SLE01						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = -1999.35$	200.8	-6.04	360	-12.6	0.219	0.300

Verifica C.A. S.L.U. - File: platea-sp150cm

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	100	150

N°	As [cm²]	d [cm]
1	53.09	6
2	26.55	13
3	26.55	144

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

Sollecitazioni:
 S.L.U. Metodo n
 N_{Ed} 0 kN
 M_{xEd} -1999.35 kNm
 M_{yEd} 0

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

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

Materiali:
 B450C C20/35
 ϵ_{su} 67.5% ϵ_{c2} 2%
 f_{yd} 428.6 N/mm² ϵ_{cu} 3.5%
 E_s 210.000 N/mm² f_{cd} 15.87
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ϵ_{syd} 2.041% $\sigma_{c,adm}$ 11
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0.6667
 τ_{c1} 1.971

σ_c -6.042 N/mm²
 σ_s 200.8 N/mm²

ϵ_s 0.9561%
 d 144 cm
 x 44.79 x/d 0.311
 δ 0.8288

Verifica N° iterazioni: 4 Precompresso

Figura 47: SEZ-D2 – Verifiche in esercizio

8.6.6 Sezione di verifica E-E

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il momento flettente allo SLU nella sezione di mezzzeria (SLU01).

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	M22
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-E2	SLU01	Combination	-5035.65

Armatura	Copriferro netto	Armatura corrente	Armatura aggiuntiva
PRINCIPALE	SUPERIORE: 50 mm INFERIORE: 46 mm	SUPERIORE: 1∅26/10 (I strato) INFERIORE: 1∅26/20	SUPERIORE: 1∅26/10 (II strato) -
SECONDARIA	SUPERIORE: 30 mm INFERIORE: 30 mm	SUPERIORE: 1∅20/10 INFERIORE: 1∅16/20	- -

La sezione risulta armata in estradosso da 1∅26/10 (I strato) + 1∅26/10 (II strato) e in intradosso da 1∅26/20. Si ha quanto segue:

Verifica C.A. S.L.U. - File: platea-sp150cm

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

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

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	150	1	53.09	6
			2	53.09	13
			3	26.55	144

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
 M_{xEd} -5035 kNm
 M_{yEd} 0 kNm

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
 L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C		C28/35	
ε _{su}	67.5 ‰	ε _{c2}	2 ‰
f _{yd}	428.6 N/mm²	ε _{cu}	3.5 ‰
E _s	210,000 N/mm²	f _{cd}	15.87
E _s /E _c	15	f _{cc} /f _{cd}	0.8
ε _{syd}	2.041 ‰	σ _{c,adm}	11
σ _{s,adm}	255 N/mm²	τ _{co}	0.6667
		τ _{c1}	1.971

M_{xRd} -5,948 kN m

σ_c -15.87 N/mm²
 σ_s 428.6 N/mm²
 ε_c 3.5 ‰
 ε_s 15.48 ‰
 d 144 cm
 x 26.55 x/d 0.1844
 δ 0.7

$$M_{Ed} = 5035 \text{ kNm} < M_{Rd} = 5948 \text{ kNm}$$

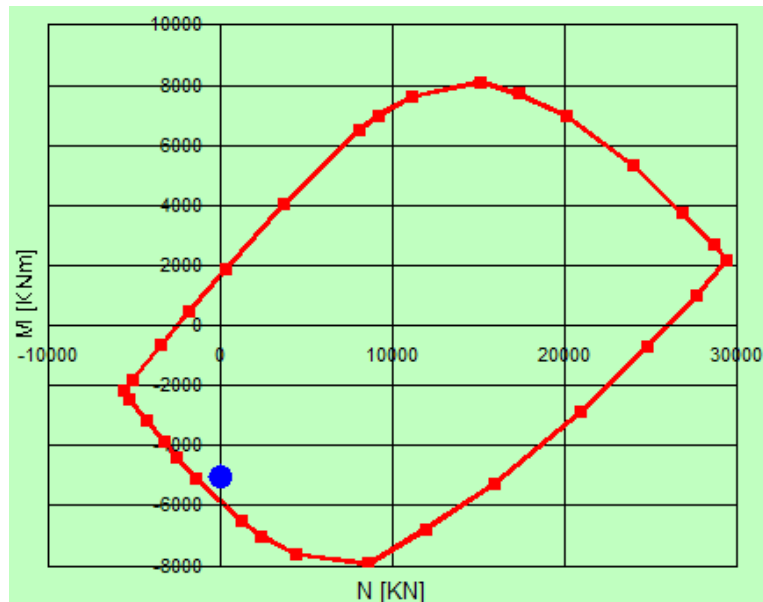


Figura 48: SEZ-E2 – Verifica a momento flettente SLU

Si dispone un'armatura secondaria pari ad almeno il 20% dell'armatura principale:

$$A_s = 41.47 \text{ cm}^2 (10\phi 20 + 5\phi 16) > 0.20 \cdot 132.73 = 26.55 \text{ cm}^2$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il taglio per lo SLU nelle sezioni di appoggio.

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	V23
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-E1	SLU01	Combination	-994.70
SEZ-E2	SLU01	Combination	990.07

La sezione risulta armata a taglio da ganci $1\phi 14/40 \times 40$ per i primi 6.00 m. Si ha quanto segue (per i calcoli di dettaglio della resistenza a taglio della sezione si veda la Tabella 18):

$$V_{Ed,MAX} = 994.7 \text{ kN} < V_{Rd} = 1219.8 \text{ kN}$$

Si dispone all'estradosso in corrispondenza degli appoggi un'armatura longitudinale adeguatamente ancorata in grado di assorbire uno sforzo di trazione almeno pari al taglio:

$$A_s = 53.09 \text{ cm}^2 (10\phi 26) > V_{Ed,MAX} / f_{yd} = 23.21 \text{ cm}^2$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il momento flettente allo SLE nella sezione di mezzzeria (SLE01).

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	M22
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-E2	SLE01	Combination	-2941.47

Nella seguente Tabella si riportano le verifiche tensionali in condizioni di esercizio e le verifiche di fessurazione.

Tabella 23: SEZ-E2 – Verifiche in esercizio

1. Combinazione caratteristica/frequente/quasi permanente SLE01						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	Wd [mm]	Wd,max [mm]
$M_{Ed} = -2941.47$	229.8	-8.21	360	-12.6	0.244	0.300

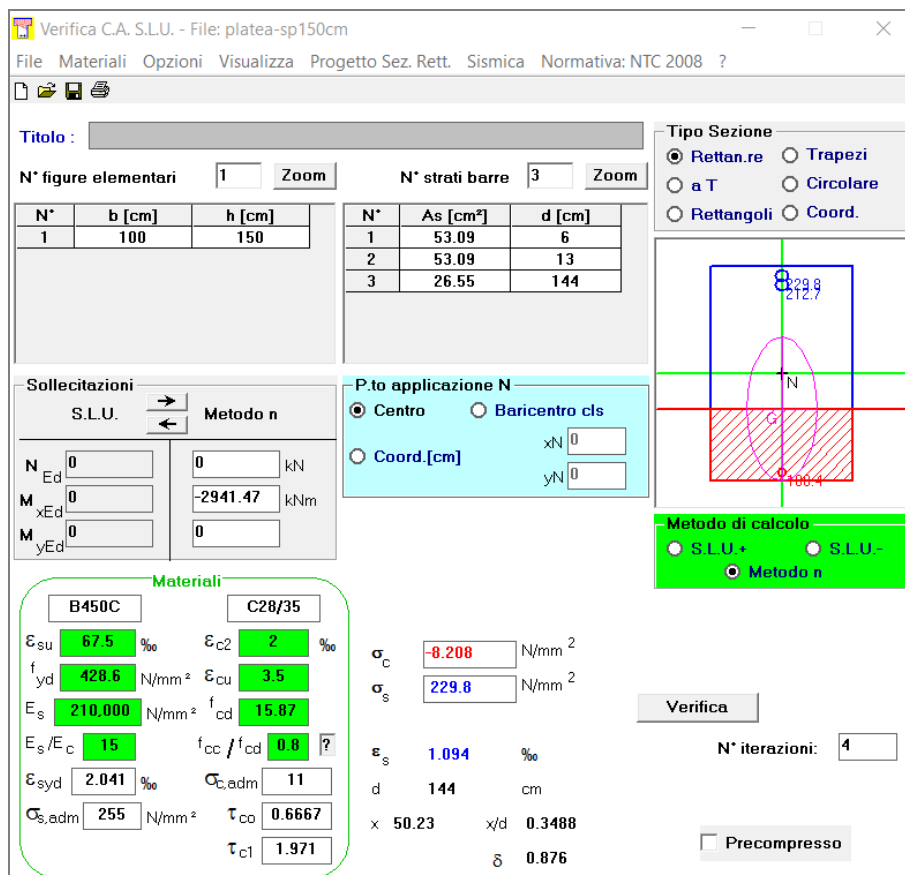


Figura 49: Sez-E2 – Verifiche in esercizio

8.6.7 Sezione di verifica F-F – solettone di fondo vasca di sollevamento

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il momento flettente allo SLU nella sezione di mezzzeria (SLU01).

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	M22
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-F2	SLU01	Combination	-1965.71

SEZ-F2 Armatura	Copriferro netto	Armatura corrente	Armatura aggiuntiva
PRINCIPALE	SUPERIORE: 50 mm INFERIORE: 46 mm	SUPERIORE: 1Ø26/20 INFERIORE: 1Ø26/20	SUPERIORE: 1Ø26/20 -
SECONDARIA	SUPERIORE: 30 mm INFERIORE: 30 mm	SUPERIORE: 1Ø20/20 INFERIORE: 1Ø16/20	- -

La sezione risulta armata in estradosso da 1Ø26/10 e in intradosso da 1Ø26/20. Si ha quanto segue:

Si dispone un'armatura secondaria pari ad almeno il 20% dell'armatura principale:

$$A_s = 25.76 \text{ cm}^2 (5\phi 20+5\phi 16) > 0.20 \cdot 79.64 = 15.93 \text{ cm}^2$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il taglio per lo SLU nelle sezioni di appoggio.

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	V23
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-F1	SLU01	Combination	-739.81
SEZ-F3	SLU01	Combination	702.18

La sezione risulta armata a taglio da ganci $1\phi 14/40 \times 40$ per i primi 2.00 m. Si ha quanto segue (per i calcoli di dettaglio della resistenza a taglio della sezione si veda la Tabella 18):

$$V_{Ed,MAX} = 739.8 \text{ kN} < V_{Rd} = 1219.8 \text{ kN}$$

Si dispone all'estradosso in corrispondenza degli appoggi un'armatura longitudinale adeguatamente ancorata in grado di assorbire uno sforzo di trazione almeno pari al taglio:

$$A_s = 26.55 \text{ cm}^2 (5\phi 26) > V_{Ed,MAX} / f_{yd} = 17.26 \text{ cm}^2$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per le combinazioni che massimizzano il momento flettente allo SLE nella sezione di mezzzeria.

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	M22
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-F2	SLE01	Combination	-1419.43

Nella seguente Tabella si riportano le verifiche tensionali in condizioni di esercizio e le verifiche di fessurazione.

Tabella 24: SEZ-F2 – Verifiche in esercizio

1. Combinazione caratteristica/frequente/quasi permanente						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	$\sigma_s \text{ max}$ [MPa]	$\sigma_c \text{ max}$ [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = -1419.43$	202.0	-4.81	360	-12.6	0.232	0.300

Verifica C.A. S.L.U. - File: platea-sp150cm

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

Titolo: _____

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	150

N°	As [cm²]	d [cm]
1	53.09	6
2	26.55	144

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

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

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

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

Materiali

B450C		C28/35	
ε _{su}	<input type="text" value="67.5"/> ‰	ε _{c2}	<input type="text" value="2"/> ‰
f _{yd}	<input type="text" value="428.6"/> 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="15.87"/> ‰
E _s /E _c	<input type="text" value="15"/>	f _{cc} /f _{cd}	<input type="text" value="0.8"/> ?
ε _{syd}	<input type="text" value="2.041"/> ‰	σ _{c,adm}	<input type="text" value="11"/>
σ _{s,adm}	<input type="text" value="255"/> N/mm²	τ _{co}	<input type="text" value="0.6667"/>
		τ _{c1}	<input type="text" value="1.971"/>

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

 N° iterazioni:

Precompresso

Figura 51: SEZ-F2 – Verifiche in esercizio

8.6.8 Verifiche a momento flettente longitudinale

Come precisato al par. 8.1 il solettone di fondo è stato analizzato utilizzando un modello di calcolo a lastra che comporta l'insorgere di sollecitazioni flessionali longitudinali M11 non trascurabili, in particolare nel tratto iniziale della galleria e nel tratto centrale (Figura 52). Tali sollecitazioni sono state tenute in conto prevedendo un'ideale armatura longitudinale.

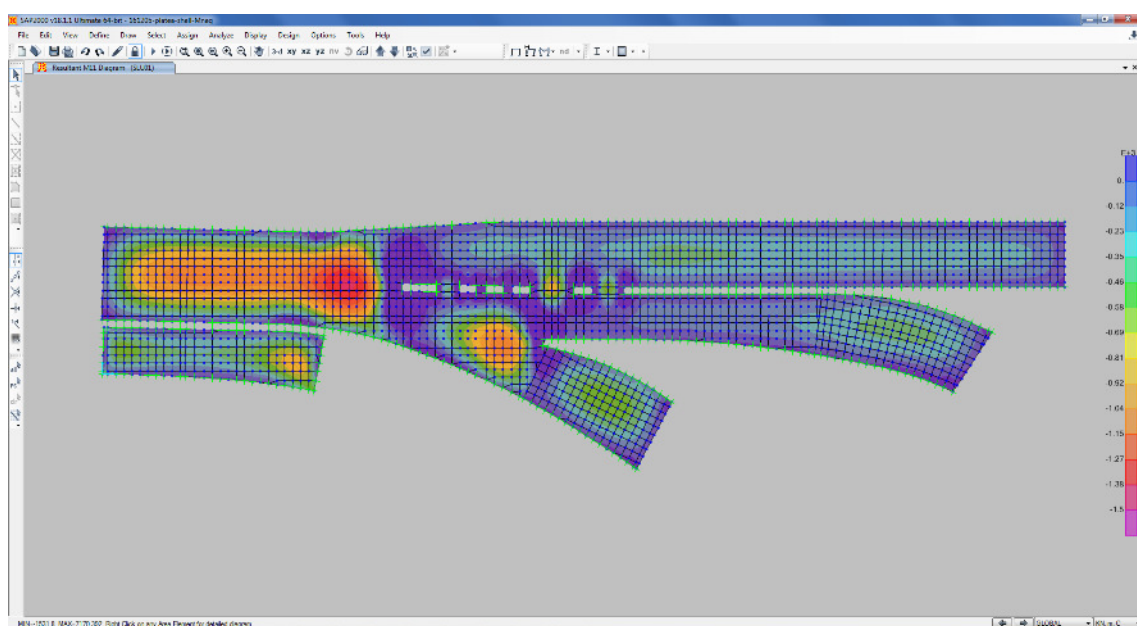


Figura 52: Resultant M11 Diagram (Momento flettente longitudinale)

Di seguito si riportano le verifiche di resistenza per il momento flettente M11 eseguite utilizzando lo strumento “Concrete Shell Design” del programma di calcolo SAP2000, che implementa la procedura descritta nell’Eurocodice 2 per il calcolo delle sollecitazioni in elementi di tipo Shell (EN1992-2:2005 Annex LL).

Tale algoritmo fornisce in output una mappa rappresentativa dell’area minima di armatura da adottare per assorbire le sollecitazioni dovute ai carichi di progetto.

Nelle mappe illustrate nelle Figure che seguono sono stati eseguiti dei “cut-off” in funzione delle diverse tipologie di armatura longitudinale adottate. In particolare, per ciascuna tipologia, le zone in magenta sono rappresentative delle aree in cui l’armatura indicata risulta sufficiente ad assorbire le sollecitazioni di progetto mentre le zone in viola evidenziano le aree in cui tale armatura non risulta sufficiente a soddisfare le verifiche di sicurezza.

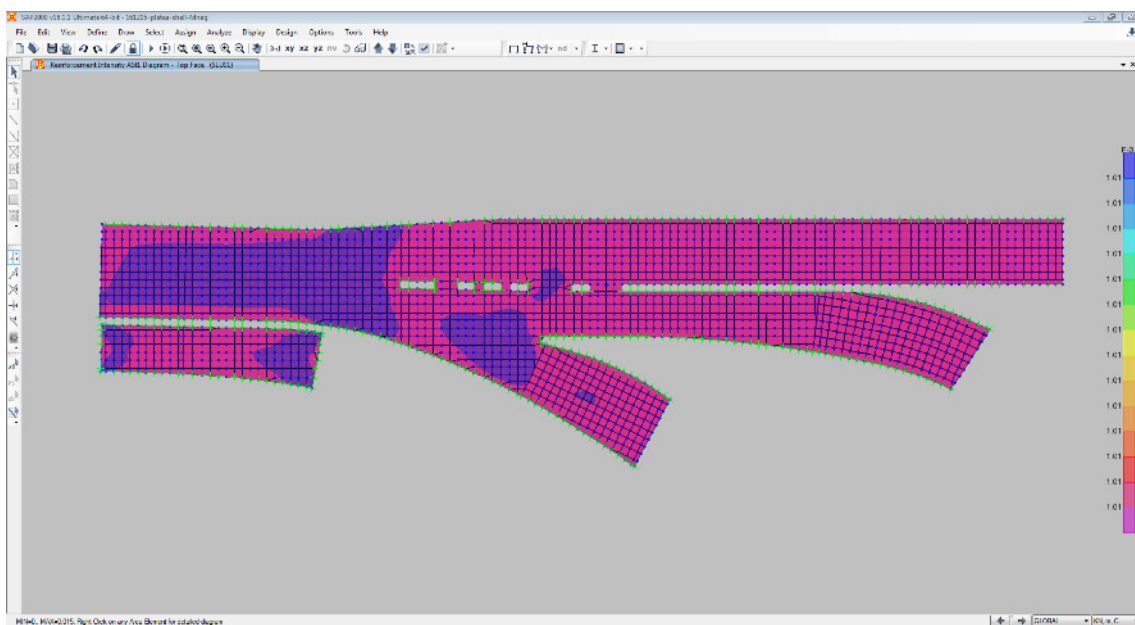


Figura 53: Armatura longitudinale minima – cut-off $A_s < 10.05 \text{ cm}^2$ (1Ø16/20)

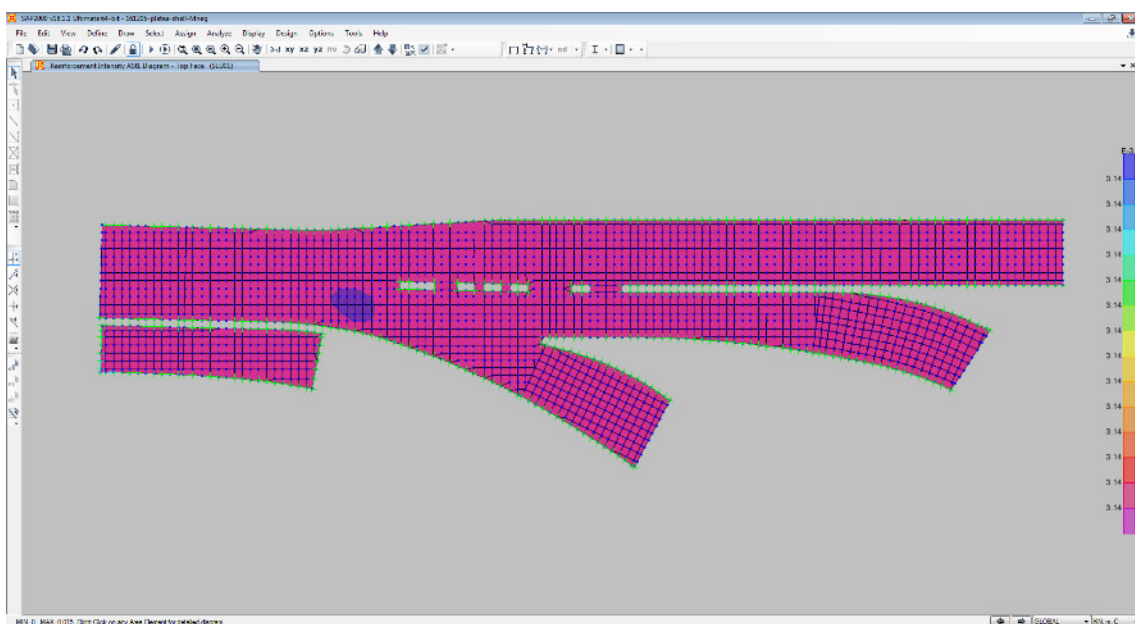


Figura 54: Armatura longitudinale minima – cut-off $A_s < 31.42 \text{ cm}^2$ (1Ø20/10)

Confrontando le mappe sopra riportate con le armature longitudinali definite a progetto si può affermare che anche le verifiche di resistenza a momento flettente longitudinale risultano soddisfatte.

8.6.9 Verifica di deformabilità

La seguente

Figura 55 mostra la deformazione verticale del solettone di fondo (sollevamento) per effetto della combinazione quasi permanente dei carichi.

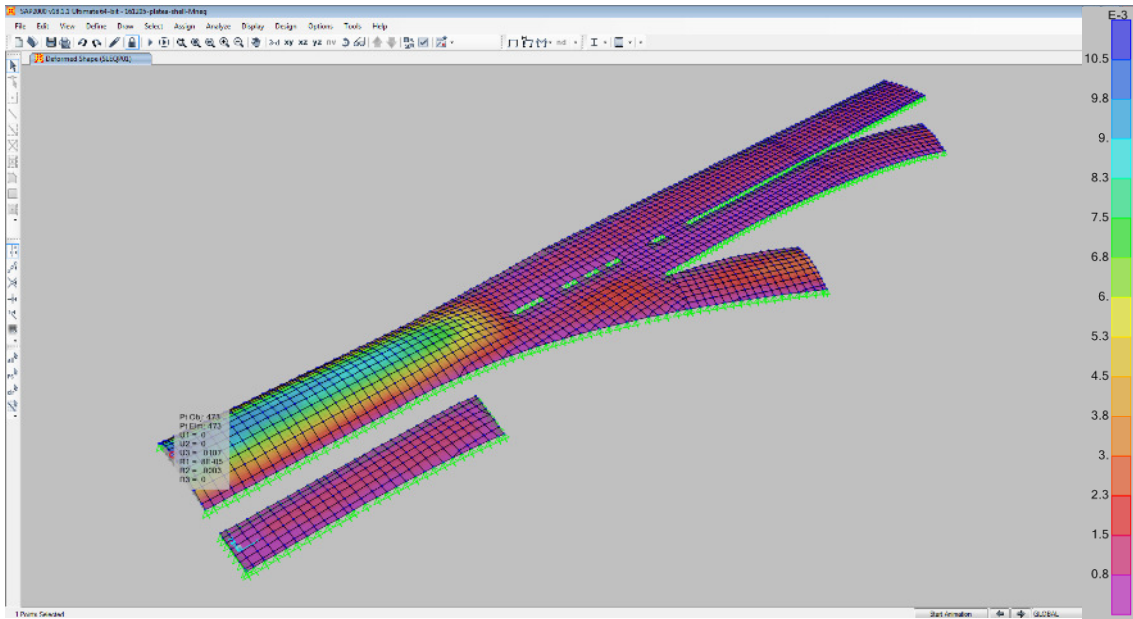


Figura 55: Spostamenti verticali U3 – Combinazione quasi permanente

Joint Text	OutputCase	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
473	SLEQP01	Combination	0	0	0.01075	7.8E-05	0.000296	0
474	SLEQP01	Combination	0	0	0.010511	6.8E-05	0.000242	0
471	SLEQP01	Combination	0	0	0.010473	-0.000423	0.000301	0
475	SLEQP01	Combination	0	0	0.010262	0.000574	0.000272	0
472	SLEQP01	Combination	0	0	0.010239	-0.000423	0.00025	0
505	SLEQP01	Combination	0	0	0.010202	5.3E-05	0.000172	0

Considerando un modulo elastico del calcestruzzo pari ad 1/3 del modulo elastico istantaneo per tenere in conto dell'effetto della viscosità si ha:

$$f_{\max} = 32.25 \text{ mm} = L/535 < L/250$$

La verifica di deformabilità risulta soddisfatta.

9. Solettone intermedio vasca di sollevamento

Nel presente capitolo si riportano il calcolo e le principali verifiche relative al solettone intermedio della vasca di sollevamento della Galleria artificiale Fornaci II. Il solettone è realizzato in c.a. e presenta uno spessore di 0.80 m.

Nella Figura seguente è mostrata una sezione trasversale della galleria in corrispondenza della vasca di sollevamento.

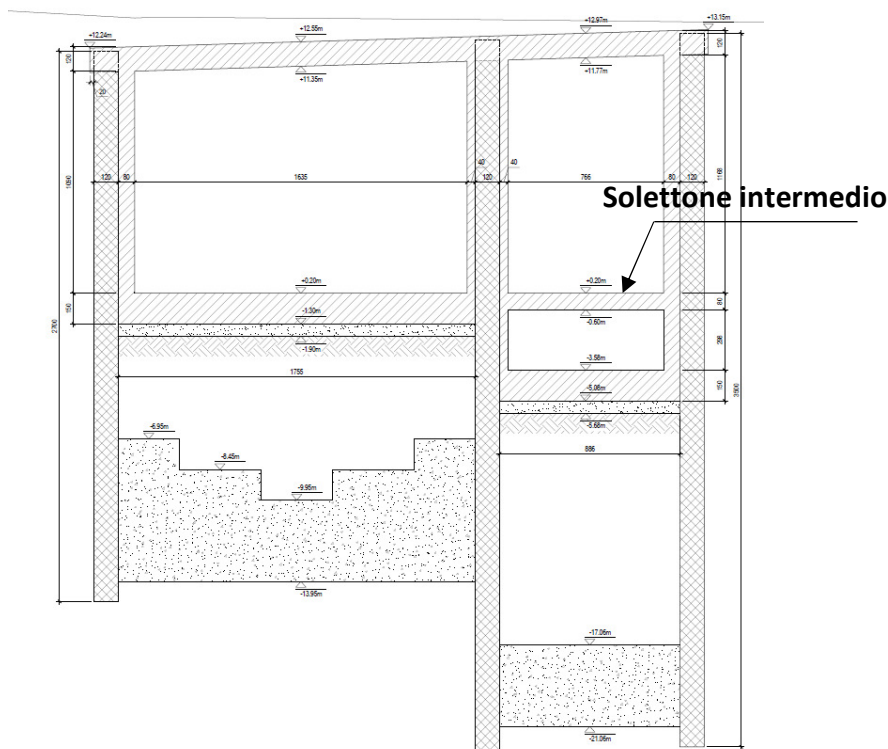


Figura 56: Sezione trasversale vasca di sollevamento

9.1 Modello di calcolo

L'analisi dello stato tensionale e di deformazione dovuto alle combinazioni di carico di progetto è stato analizzato tramite modellazioni agli elementi finiti realizzate con il programma di calcolo SAP2000 Advanced. In particolare, il solettone intermedio della vasca di sollevamento è stato interamente modellato tramite elementi bidimensionali Areas di tipo "Shell - Thick" caratterizzati da comportamento flessionale e membranale (Shell).

Lo schema strutturale adottato è quello di lastra piana semplicemente appoggiata sui rimpelli. Il grado di incastro parziale che inevitabilmente si verrà a creare ai bordi della struttura, e che non è considerato in fase di analisi, viene tenuto in conto prevedendo un'armatura all'intradosso in grado di assorbire almeno il 15% del massimo momento flettente in campata (UNI EN 1992 par. 9.3.1.2 (2)).

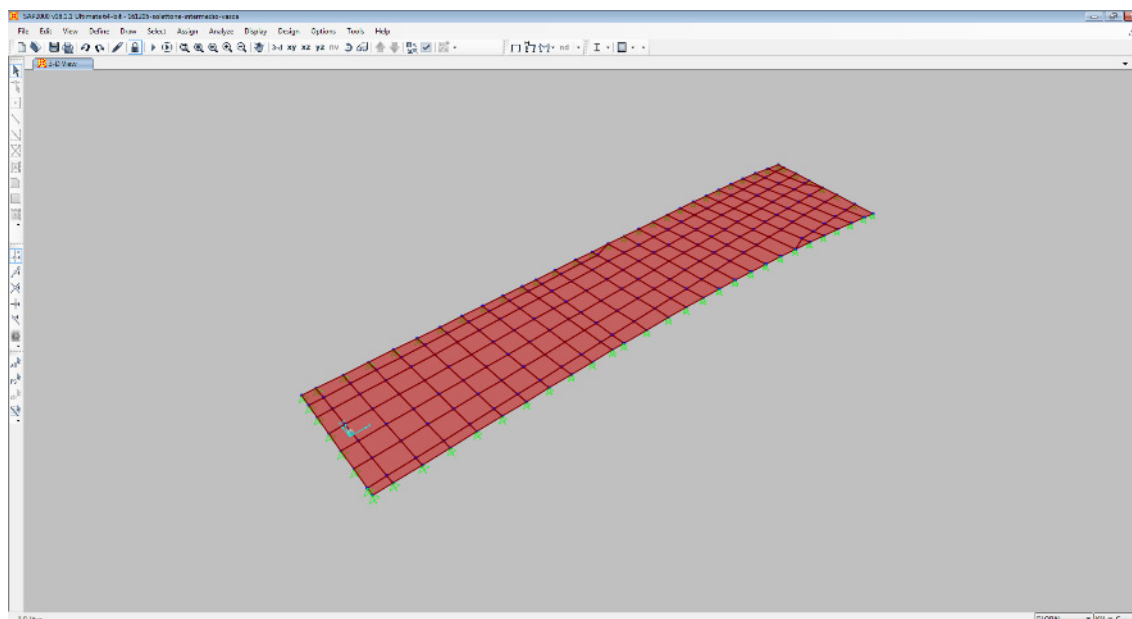


Figura 57: Modello agli elementi finiti SAP2000 – Vista 3D

9.2 Analisi dei carichi

Il modello di calcolo realizzato è soggetto ad azioni esterne definite con gli usuali criteri di determinazione dei carichi. Si elencano di seguito i casi di carico elementari che costituiscono l'input nel programma di calcolo.

9.2.1 Peso proprio (DEAD)

Il programma di calcolo considera automaticamente il peso proprio degli elementi strutturali in funzione delle sezioni assegnate e del peso specifico del materiale valutato in ragione di 25 kN/m³:

$$q_{pp} = 25 \times 0.80 = 20.00 \text{ kN/m}^2$$

9.2.2 Carichi variabili (VAR)

Tenuto conto della particolare destinazione d'uso del locale si considera un sovraccarico accidentale pari a 5.0 kN/m².

Il carico è stato assegnato agli elementi Areas schematizzanti il solettone intermedio della vasca di sollevamento come carico superficiale uniformemente distribuito (Uniform Area Load).

9.3 Casi di carico e tipologie di analisi eseguite

La seguente Tabella riporta le analisi eseguite per i singoli casi di carico elementari specificandone la tipologia.

Tabella 25: Load Case Definitions

TABLE: Load Case Definitions			
Case	Type	DesignType	Notes
Text	Text	Text	Text
DEAD	LinStatic	DEAD	Peso proprio
VAR	LinStatic	LIVE	Sovraccarico accidentale

Si specifica che con “LinStatic” si intende un’analisi statica lineare.

9.4 Combinazione delle azioni

I coefficienti di amplificazione dei carichi e i coefficienti di combinazione per le diverse combinazioni di carico da adottare in fase di analisi sono riportati nelle tabelle seguenti. In particolare, con riferimento alle verifiche strutturali condotte nei riguardi delle combinazioni SLU, si fa riferimento ai coefficienti parziali di sicurezza indicati per la combinazione “A1 STR”.

I coefficienti di amplificazione da adottare per i carichi permanenti agenti sul solettone di fondo sono riportati nella tabella seguente (Tab. 2.6.I D.M.14/01/2008).

Tabella 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l’effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

I coefficienti di combinazione da adottare per i carichi variabili sono riportati nella tabella seguente (Tab. 2.5.I D.M.14/01/2008).

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Nella seguente Tabella si riassumono tutte le condizioni di carico precedentemente elencate con indicati i relativi coefficienti assunti in fase di analisi.

Tabella 26: Coefficienti di combinazione dei casi di carico elementari

Load Case	γ	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
DEAD	1.00/1.30	-	-	-
VAR	0.00/1.50	0.7	0.7	0.6

Al fine di individuare le combinazioni dei carichi vincolanti per il dimensionamento, si sono esaminate le sollecitazioni flessionali e taglianti nelle rispettive sezioni di verifica dovute ai singoli casi di carico semplici e si è amplificato solo l'effetto dei casi di carico che massimizzavano la sollecitazione in esame. In tal modo si è certi di aver individuato, tra tutte le possibili, solo le poche combinazioni dei carichi vincolanti ai fini del dimensionamento.

Le verifiche in combinazione sismica (SLV) per la struttura in esame risultano meno gravose delle verifiche in condizione statica (SLU). Tali verifiche non vengono pertanto riportate ai fini della presente relazione in quanto non dimensionanti.

Nella seguente Tabella si riportano le combinazioni dei carichi impiegate in fase di analisi.

Tabella 27: Load Combination Definitions

TABLE: Combination Definitions				
ComboName	ComboType	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Text	Text	Unitless
SLU01	Linear Add	Linear Static	DEAD	1.30
SLU01		Linear Static	VAR	1.50
SLECR01	Linear Add	Linear Static	DEAD	1.00
SLECR01		Linear Static	PERM	1.00
SLEFR01	Linear Add	Linear Static	DEAD	1.00
SLEFR01		Linear Static	PERM	0.70
SLEQP01	Linear Add	Linear Static	DEAD	1.00
SLEQP01		Linear Static	PERM	0.60

9.5 Sollecitazioni

Nel presente paragrafo si riportano le mappe delle principali sollecitazioni agenti sul solettone intermedio della vasca di sollevamento per effetto della combinazione fondamentale dei carichi (SLU01). Per i valori delle sollecitazioni assunti in fase di verifica si rimanda ai successivi paragrafi.

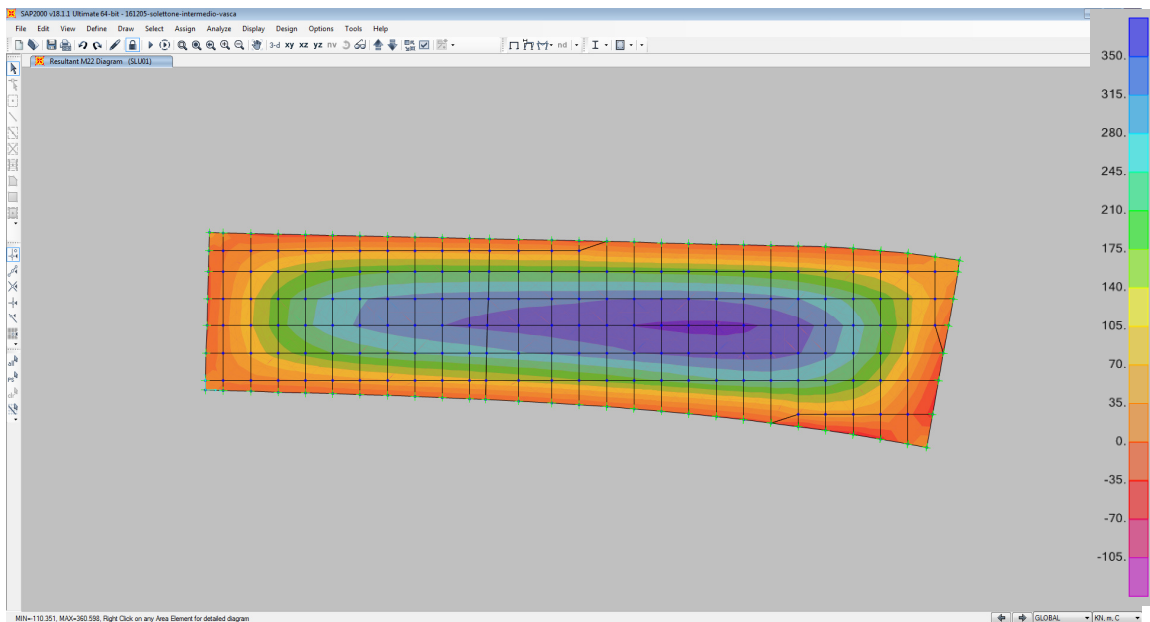


Figura 58: Resultant M22 Diagram

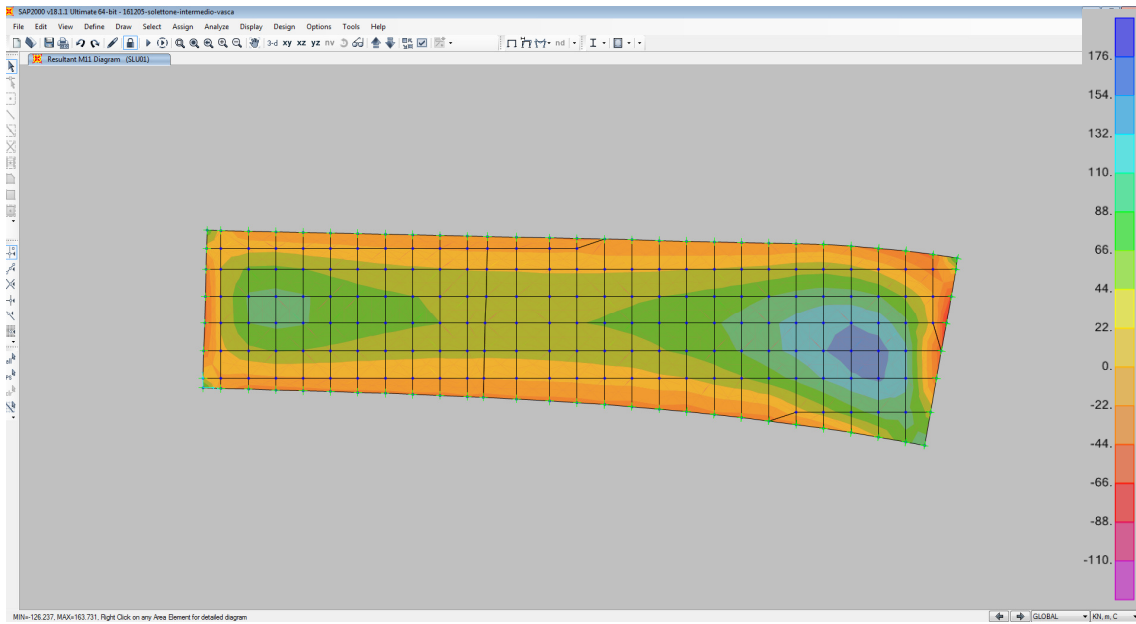


Figura 59: Resultant M11 Diagram (top)

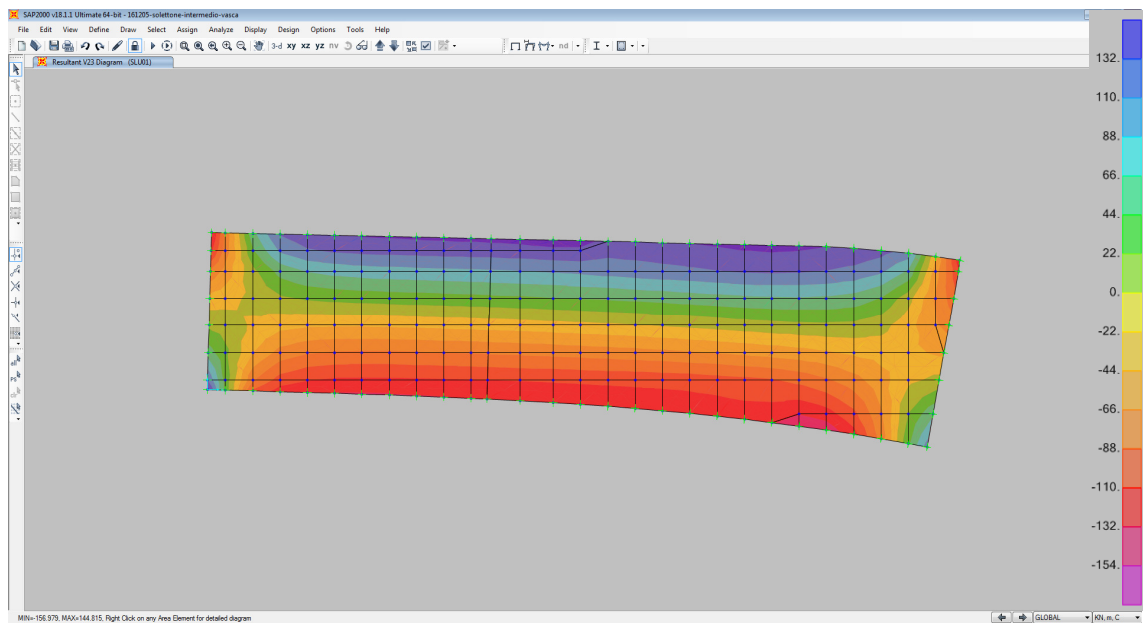


Figura 60: Resultant V23 Diagram

9.6 Verifiche

Nei seguenti paragrafi si riportano le principali verifiche strutturali effettuate in riferimento alla sezione maggiormente sollecitata per ciascuna tipologia di armatura.

Le verifiche sono state eseguite con il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite. Si effettuano le seguenti verifiche:

- Stato Limite Ultimo (SLU) - verifiche di resistenza in combinazione fondamentale delle azioni;
- Stato Limite di Esercizio (SLE) - verifiche dello stato tensionale in combinazione caratteristica delle azioni;
- Stato Limite di Esercizio (SLE) - verifiche di fessurazione in combinazione frequente e quasi permanente delle azioni.

9.6.1 Sezioni di verifica indagate

Si sono individuate nel modello strutturale n.1 sezione trasversale significativa, il cui stato di sollecitazione risulta determinante per il dimensionamento e le verifiche di resistenza del solettone intermedio della vasca di sollevamento. Tale sezione è individuata nella Figura seguente.

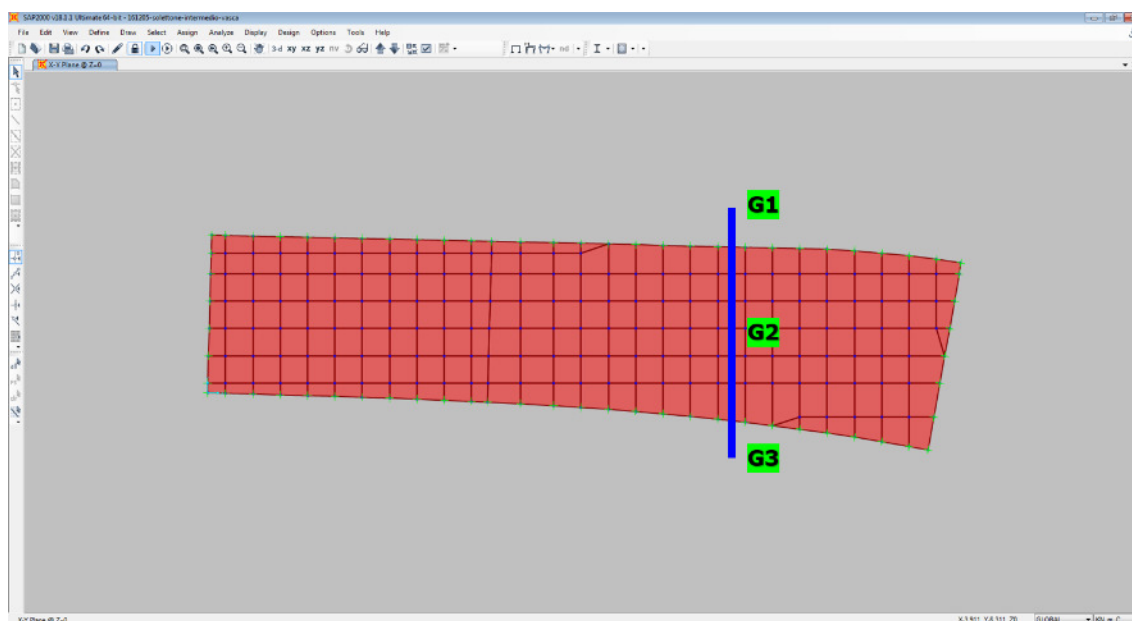


Figura 61: Individuazione sezioni di verifica solettone di fondo

Le sollecitazioni riportate nelle tabelle che seguono così come le rispettive verifiche sono sempre riferite ad una striscia di larghezza unitaria.

Per il dettaglio della disposizione delle armature nella sezione di verifica indagata si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

9.6.2 Sezione di verifica G-G

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il momento flettente allo SLU nella sezione di mezzzeria (SLU01).

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	M22
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-G2	SLU01	Combination	354.66

SEZ-G2 Armatura	Copriferro netto	Armatura corrente	Armatura aggiuntiva
PRINCIPALE	SUPERIORE: 46 mm INFERIORE: 46 mm	SUPERIORE: 1Ø20/20 INFERIORE: 1Ø20/20	- -
SECONDARIA	SUPERIORE: 30 mm INFERIORE: 30 mm	SUPERIORE: 1Ø16/20 INFERIORE: 1Ø16/20	- -

La sezione risulta armata in estradosso da 1Ø20/20 e in intradosso da 1Ø20/20. Si ha quanto segue:

$$M_{Ed} = 354 \text{ kNm} < M_{Rd} = 444 \text{ kNm}$$

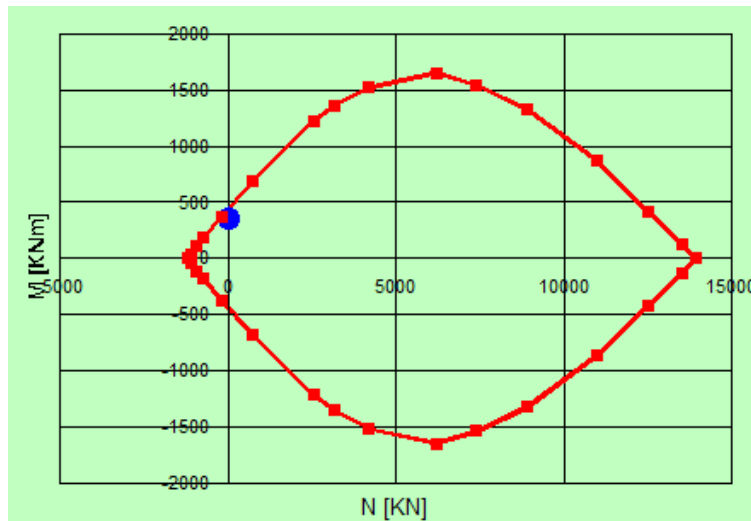


Figura 62: SEZ-G2 – Verifica a momento flettente SLU

Si dispone un'armatura secondaria pari ad almeno il 20% dell'armatura principale:

$$A_s = 20.11 \text{ cm}^2 (5\phi 16+5\phi 16) > 0.20 \cdot 31.42 = 6.28 \text{ cm}^2$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione che massimizza il taglio per lo SLU nelle sezioni di appoggio.

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	V23
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-G1	SLU01	Combination	137.67
SEZ-G3	SLU01	Combination	-123.95

La sezione risulta sprovvista di specifica armatura a taglio. Si ha quanto segue:

Tabella 28: Calcolo della resistenza a taglio in assenza di armatura a taglio

RESISTENZA NEI CONFRONTI DI SOLLECITAZIONI TAGLIANTI (p.to 4.1.2.1.3 DM2008)

1) DATI GENERALI

1.1) CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

- calcestruzzo	f_{ck}	28.0	MPa
	α_{cc}	0.85	-
	γ_c	1.50	-
	f_{cd}	15.9	MPa
	f_{ctm}	2.8	MPa
- acciaio	f_{yk}	450.0	MPa
	f_{yd}	391.3	MPa

1.2) CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

- altezza	h	800	mm
- larghezza minima	b_w	1000	mm
- copriferro di calcolo	c	60	mm
- area cls	A_c	8.00E+05	mm ²
- altezza utile	d	740	mm
- braccio coppia interna (= 0,9 d)	z	666	mm

1.3) ARMATURA LONGITUDINALE TESA

- armatura longitudinale 1	ϕ_1	20	mm
	n_1	5	-
- armatura longitudinale 2	ϕ_2	0	mm
	n_2	0	-
- area armatura longitudinale tesa	A_{sl}	1571	mm ²

1.4) SOLLECITAZIONI DI CALCOLO

- taglio di calcolo	V_{Ed}	137.70	kN
- compressione (+) / trazione (-)	N_{Ed}	0.0	kN

2) ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO (p.to 4.1.2.1.3.1 DM2008)

- parametri di calcolo	k	1.52	-
	v_{min}	0.35	-
- rapporto geometrico di armatura	ρ_l	2.12E-03	-
- tensione media di compressione	σ_{cp}	0.00	MPa
- taglio resistente minimo	$V_{Rd,min}$	256.8	kN
- taglio resistente	V_{Rd}	256.8	kN

VERIFICA $V_{Rd} > V_{Ed}$ OK

$$V_{Ed,MAX} = 137.7 \text{ kN} < V_{Rd} = 256.8 \text{ kN}$$

Si dispone all'estradosso in corrispondenza degli appoggi un'armatura longitudinale adeguatamente ancorata in grado di assorbire uno sforzo di trazione almeno pari al taglio:

$$A_s = 15.71 \text{ cm}^2 (5\text{Ø}20) > V_{Ed,MAX} / f_{yd} = 3.21 \text{ cm}^2$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per le combinazioni che massimizzano il momento flettente allo SLE nella sezione di mezzeria.

TABLE: Section Cut Forces - Design			
SectionCut	OutputCase	CaseType	M22
Text	Text	Text	KN-m
SEZ-G2	SLECR01	Combination	264.67
SEZ-G2	SLEFR01	Combination	248.79
SEZ-G2	SLEQP01	Combination	243.50

Nella seguente Tabella si riportano le verifiche tensionali in condizioni di esercizio e le verifiche di fessurazione.

Tabella 29: SEZ-G2 – Verifiche in esercizio

1. Combinazione caratteristica						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	$\sigma_s \text{ max}$ [MPa]	$\sigma_c \text{ max}$ [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = 264.67$	245.0	-4.25	360	-16.8	-	-
2. Combinazione frequente						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	$\sigma_s \text{ max}$ [MPa]	$\sigma_c \text{ max}$ [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = 248.79$	230.3	-3.99	-	-	0.302	0.400
3. Combinazione quasi permanente						
Momento flettente [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	$\sigma_s \text{ max}$ [MPa]	$\sigma_c \text{ max}$ [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
$M_{Ed} = 243.50$	225.4	-3.90	-	-12.6	0.296	0.300

10. Rimpelli

Nel presente capitolo si riportano il calcolo e le principali verifiche relative ai rimpelli della galleria artificiale.

10.1 Modello di calcolo

L'analisi dello stato tensionale e di deformazione dovuto alle combinazioni di carico di progetto è stato analizzato tramite modellazioni agli elementi finiti realizzate con il programma di calcolo SAP2000 Advanced.

In particolare, si è fatto riferimento ad uno schema di trave incastrata alla base in corrispondenza della quota di estradosso del solettone di fondo ed appoggiata in sommità in corrispondenza della quota di intradosso del solettone di copertura, come schematizzato in Figura 63. I calcoli sono stati eseguiti per una striscia unitaria di parete.

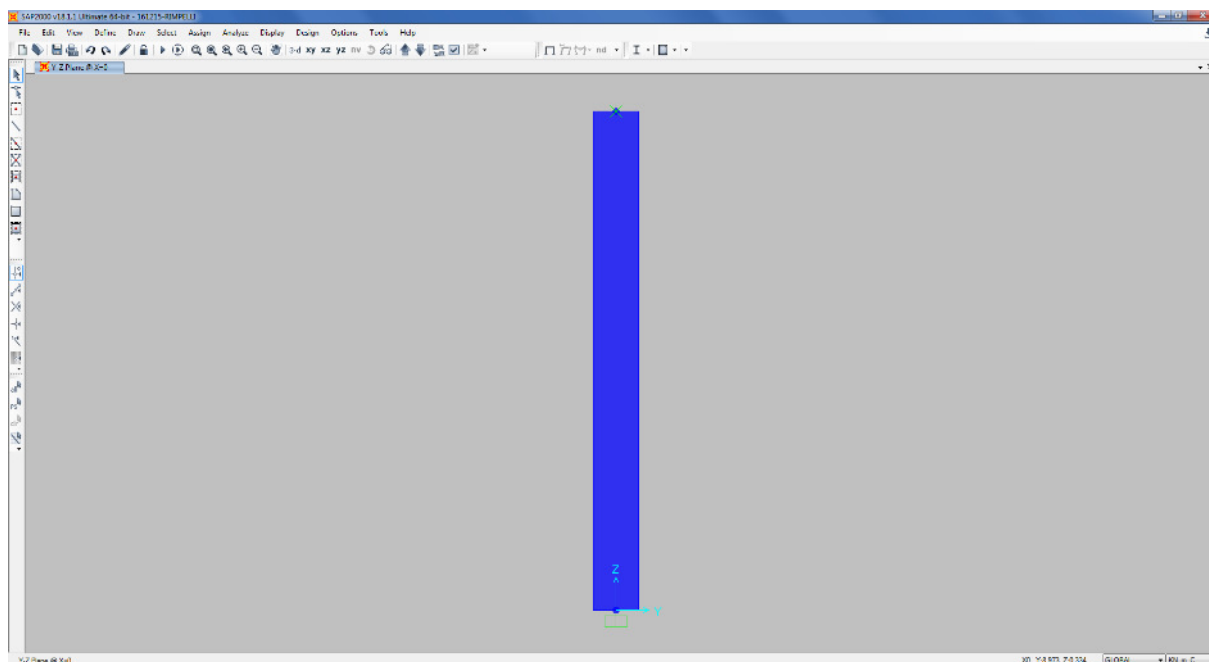


Figura 63: Modello agli elementi finiti SAP2000 – Vista piana

Gli elementi in oggetto risultano soggetti a flessione per effetto della spinta idrostatica e compressi per effetto del peso proprio.

Quota di falda di progetto: +12.00

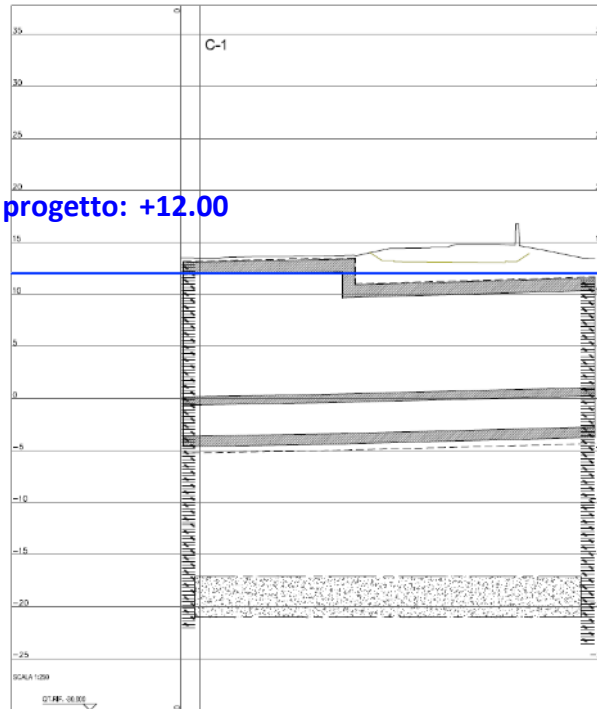


Figura 65: Profilo Longitudinale Sud-Ovest – 1

Quota di falda di progetto: +12.00

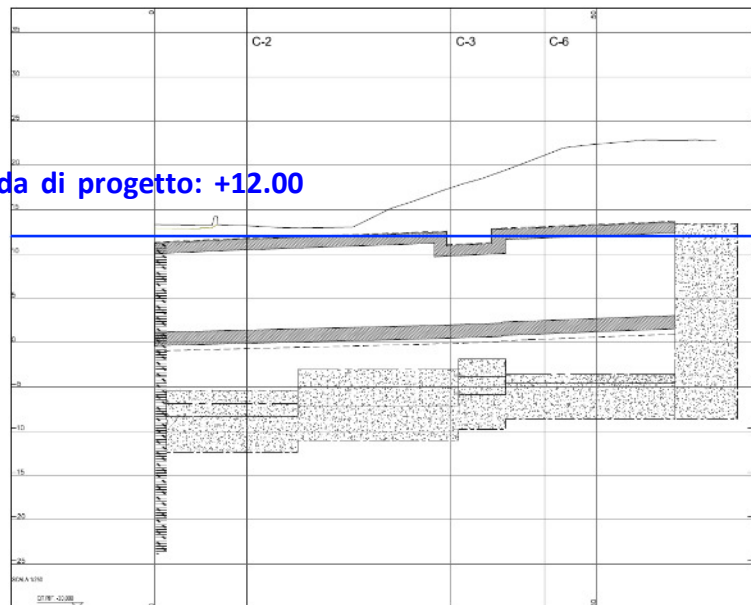


Figura 66: Profilo Longitudinale Sud-Ovest – 2



Figura 67: Profilo Longitudinale Sud-Ovest – 3

10.3 Casi di carico e tipologie di analisi eseguite

La seguente Tabella riporta le analisi eseguite per i singoli casi di carico elementari specificandone la tipologia.

Tabella 30: Load Case Definitions

TABLE: Load Case Definitions			
Case	Type	DesignType	Notes
Text	Text	Text	Text
DEAD	LinStatic	DEAD	Peso proprio
SI	LinStatic	SUPER DEAD	Spinta idrostatica

Si specifica che con “LinStatic” si intende un’analisi statica lineare.

10.4 Combinazione delle azioni

I coefficienti di amplificazione dei carichi e i coefficienti di combinazione per le diverse combinazioni di carico da adottare in fase di analisi sono riportati nelle tabelle seguenti.

In particolare, con riferimento alle verifiche strutturali condotte nei riguardi delle combinazioni SLU, si fa riferimento ai coefficienti parziali di sicurezza indicati per la combinazione “A1 STR”.

I coefficienti di amplificazione da adottare per i carichi agenti sui rimpelli sono riportati nella tabella seguente (Tab. 2.6.I D.M.14/01/2008).

Tabella 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Nella seguente Tabella si riassumono tutte le condizioni di carico precedentemente elencate con indicati i relativi coefficienti parziali assunti in fase di analisi.

Tabella 31: Coefficienti di combinazione dei casi di carico elementari

Load Case	γ	ψ_0	ψ_1	ψ_2
DEAD	1.00/1.30	-	-	-
SI	1.00/1.30	-	-	-

Al fine di individuare le combinazioni dei carichi vincolanti per il dimensionamento, si sono esaminate le sollecitazioni flessionali e taglianti nelle rispettive sezioni di verifica dovute ai singoli casi di carico semplici e si è amplificato solo l'effetto dei casi di carico che massimizzavano la sollecitazione in esame. In tal modo si è certi di aver individuato, tra tutte le possibili, solo le poche combinazioni dei carichi vincolanti ai fini del dimensionamento.

Poiché le uniche azioni in gioco sono azioni di tipo permanente si considera per le verifiche in esercizio un'unica combinazione di carico (SLE01).

Le verifiche in combinazione sismica (SLV) per la struttura in esame risultano meno

gravose delle verifiche in condizione statica (SLU). Tali verifiche non vengono pertanto riportate ai fini della presente relazione in quanto non dimensionanti.

Nella seguente Tabella si riportano le combinazioni dei carichi impiegate in fase di analisi.

Tabella 32: Load Combination Definitions

TABLE: Combination Definitions				
ComboName	ComboType	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Text	Text	Unitless
SLU01	Linear Add	Linear Static	DEAD	1.00
SLU01		Linear Static	SI	1.30
SLE01	Linear Add	Linear Static	DEAD	1.00
SLE01		Linear Static	SI	1.00

10.5 Sollecitazioni

Nelle Figure seguenti si riportano i grafici indicativi dell'andamento delle principali sollecitazioni sugli elementi in esame per effetto delle combinazioni di carico di progetto. Per i valori delle sollecitazioni assunti in fase di verifica si rimanda ai successivi paragrafi.

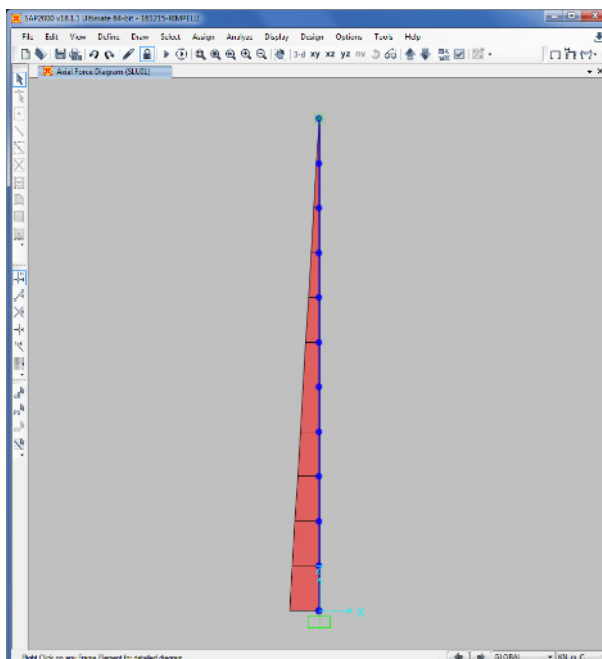


Figura 68: Diagramma sforzo assiale

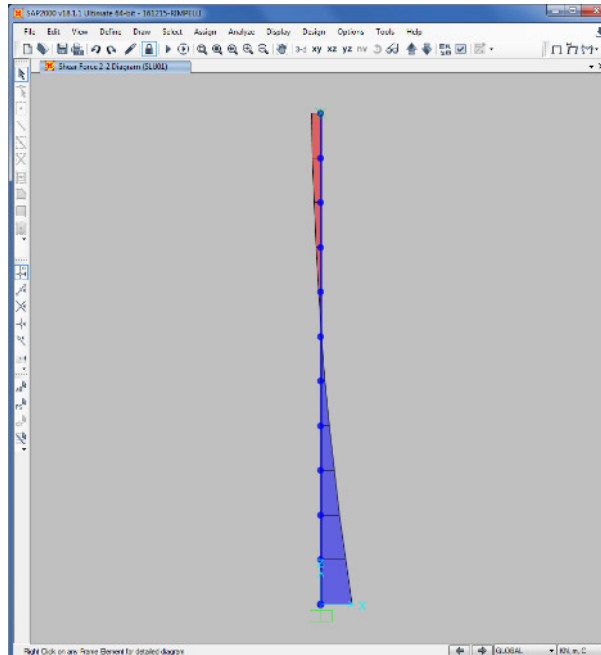


Figura 69: Diagramma taglio

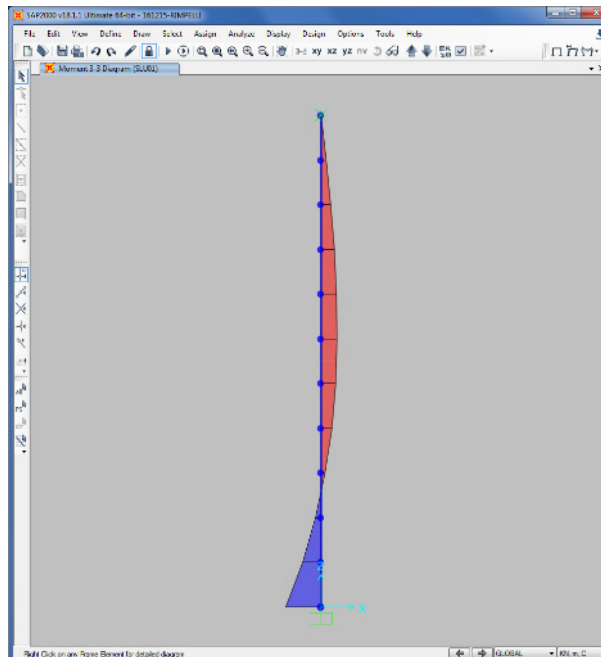


Figura 70: Diagramma momento flettente

10.6 Verifiche

Nei seguenti paragrafi si riportano le principali verifiche strutturali effettuate per ciascuna tipologia di sezione e di armatura.

Le verifiche sono state eseguite con il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite. Si effettuano le seguenti verifiche:

- Stato Limite Ultimo (SLU) - verifiche di resistenza in combinazione fondamentale delle azioni;
- Stato Limite di Esercizio (SLE) - verifiche dello stato tensionale in combinazione caratteristica delle azioni;
- Stato Limite di Esercizio (SLE) - verifiche di fessurazione in combinazione frequente e quasi permanente delle azioni.²

10.6.1 Sezioni di verifica indagate

Si sono individuate nel modello strutturale n.3 sezioni trasversali significative, il cui stato di sollecitazione risulta determinante per il dimensionamento e le verifiche di resistenza degli elementi oggetto di verifica, in considerazione delle diverse tipologie di armatura adottate. Tali sezioni sono indicate nella Figura seguente.

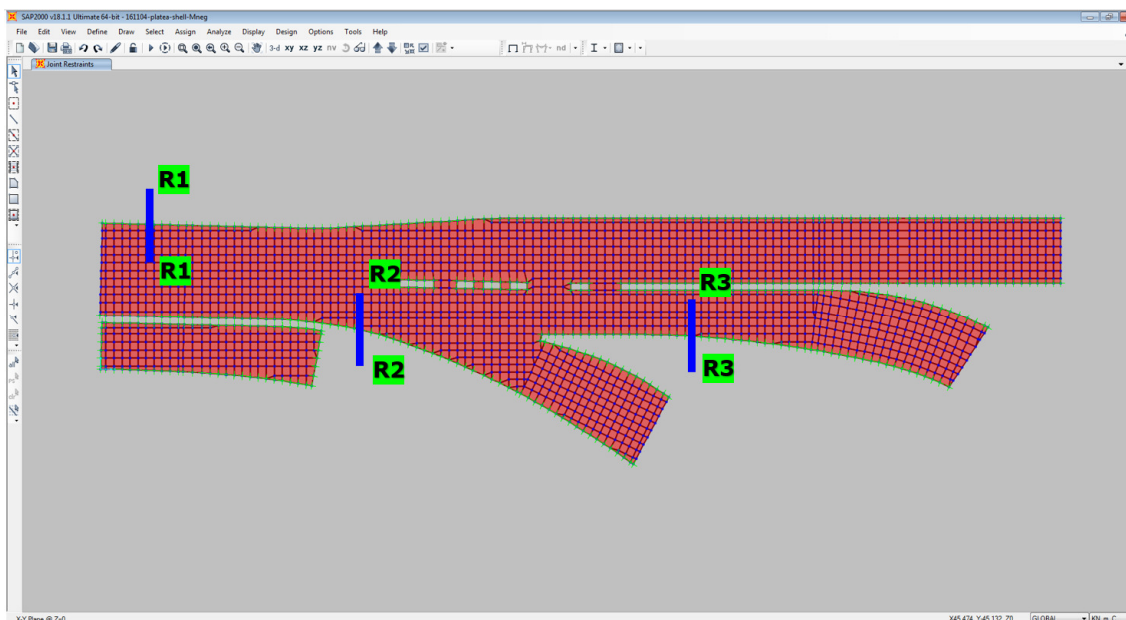


Figura 71: Individuazione sezioni di verifica rimpelli

² Poiché le uniche azioni in gioco sono di tipo permanente si considera per le verifiche in esercizio un'unica combinazione di carico (SLE01).

Le sollecitazioni riportate nelle tabelle che seguono così come le rispettive verifiche sono sempre riferite ad una striscia di larghezza unitaria.

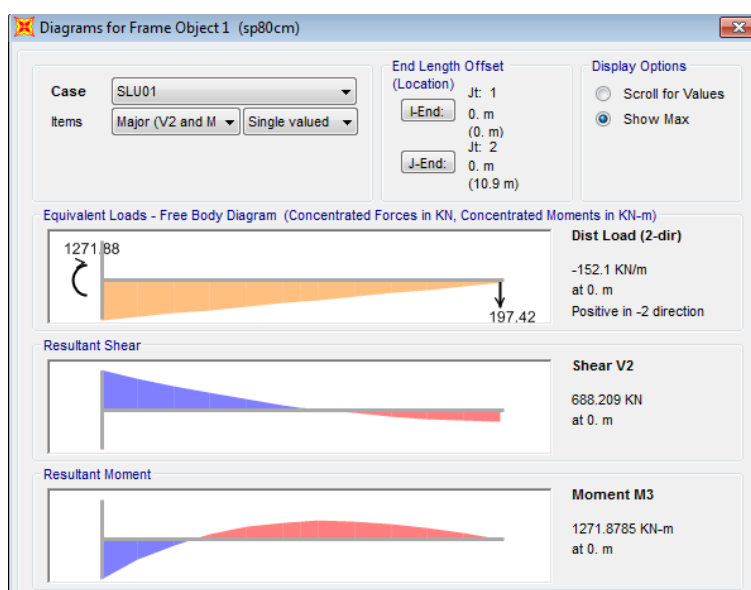
Per il dettaglio della disposizione delle armature nelle sezioni di verifica indagate si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

10.6.2 Sezione di verifica R-1

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione SLU01 riferiti ad una striscia di larghezza unitaria e le relative verifiche di resistenza.

Armatura	Copriferro netto	Armatura corrente alla base	Armatura corrente in campata
PRINCIPALE	ESTERNA: 46 mm INTERNA: 46 mm	ESTERNA: 1Ø26/10 INTERNA: 1Ø20/20	ESTERNA: 1Ø20/20 INTERNA: 1Ø20/10
SECONDARIA	ESTERNA: 30 mm INTERNA: 30 mm	ESTERNA: 1Ø16/20 INTERNA: 1Ø16/20	ESTERNA: 1Ø16/20 INTERNA: 1Ø16/20

La sezione ha spessore pari a 80 cm e risulta armata nella sezione di base lato terra da 1Ø26/10 e lato interno da 1Ø20/20, mentre in campata risulta armata lato terra da 1Ø20/20 e lato interno da 1Ø20/10. Si ha quanto segue:



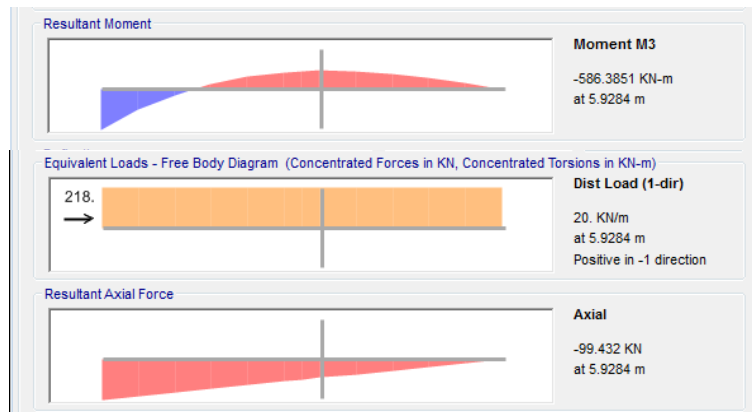


Figura 72: Sollecitazioni SLU01 - Sezione R-1

Verifica C.A. S.L.U. - File: rimpello-SEZC-1

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

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	80	1	53.09	6
			2	15.71	74

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

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

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

Materiali
 B450C C28/35
 ε_{su} ‰ ε_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ε_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd} ‰
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 ε_{syd} ‰ σ_{c,adm} ‰
 σ_{s,adm} N/mm² τ_{co} ‰
 τ_{c1} ‰

M xRd kN m
 σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ε_c ‰
 ε_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

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

$$M_{Ed} = 1271 \text{ kNm} < M_{Rd} = 1496 \text{ kNm}$$

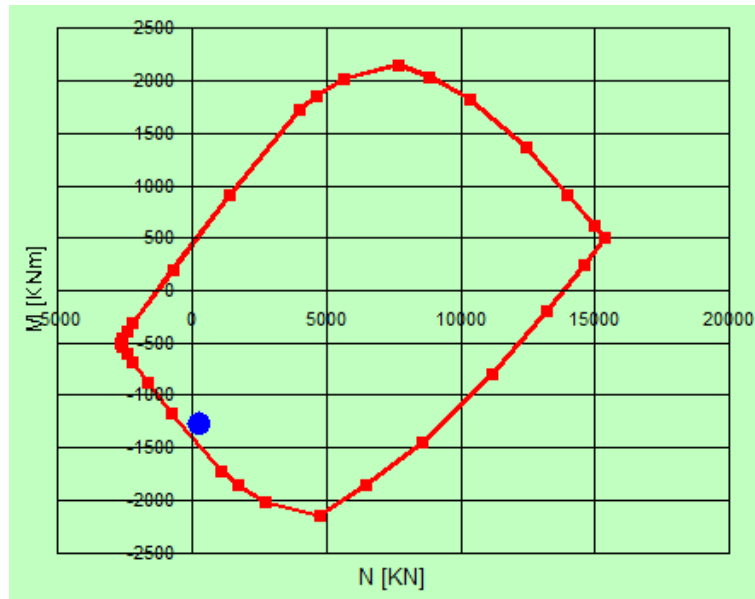


Figura 73: Sezione R-1 – Verifica a momento flettente SLU sezione di base

Verifica C.A. S.L.U. - File: rimpello-SEZC-1

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

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	80	1	15.71	6
			2	31.42	74

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 98 kN
 M_{xEd} 586 kNm
 M_{yEd} 0 kNm

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd} 896.7 kNm

Materiali: B450C C28/35

ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
 E_s 210,000 N/mm² f_{cd} 15.87 ‰
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ε_{syd} 1.863 ‰ σ_{c,adm} 11
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.6667
 τ_{c1} 1.971

σ_c -15.87 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ε_c 3.5 ‰
 ε_s 28.72 ‰
 d 74 cm
 x 8.039 x/d 0.1086
 δ 0.7

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

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

$$M_{Ed} = 586 \text{ kNm} < M_{Rd} = 897 \text{ kNm}$$

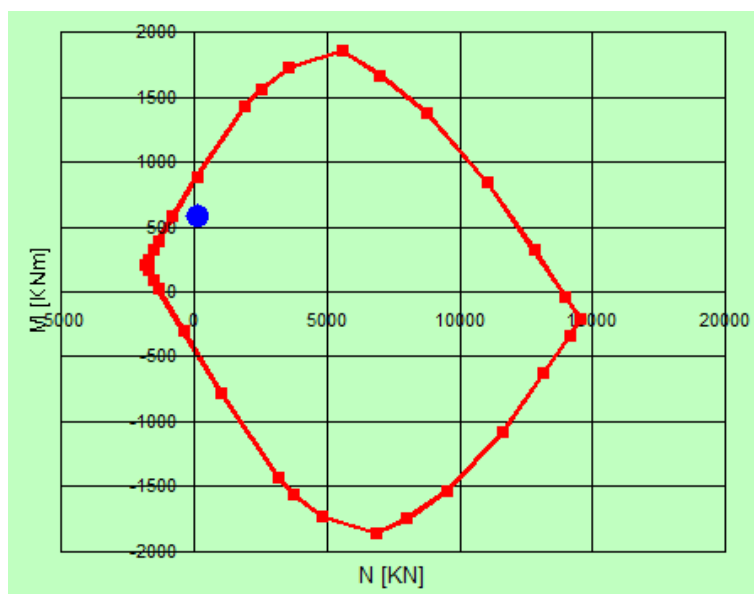


Figura 74: Sezione R-1 – Verifica a momento flettente SLU campata

La sezione risulta armata a taglio da ganci 1φ12/20x40 per i primi 2.00 m e da ganci 1φ12/40x40 per la parte restante. Si ha quanto segue:

RESISTENZA NEI CONFRONTI DI SOLLECITAZIONI TAGLIANTI (p.to 4.1.2.1.3 DM2008)

1) DATI GENERALI

1.1) CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

- calcestruzzo	f_{ck}	28.0	MPa
	α_{cc}	0.85	-
	γ_c	1.50	-
	f_{cd}	15.9	MPa
	f_{ctm}	2.8	MPa
- acciaio	f_{yk}	450.0	MPa
	f_{yd}	391.3	MPa

1.2) CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

- altezza	h	800	mm
- larghezza minima	b_w	1000	mm
- copriferro di calcolo	c	60	mm
- area cls	A_c	8.00E+05	mm ²
- altezza utile	d	740	mm
- braccio coppia interna (= 0,9 d)	z	666	mm

1.3) ARMATURA LONGITUDINALE TESA

- armatura longitudinale 1	ϕ_1	0	mm
	n_1	0	-
- armatura longitudinale 2	ϕ_2	0	mm
	n_2	0	-
- area armatura longitudinale tesa	A_{sl}	0	mm ²

1.4) SOLLECITAZIONI DI CALCOLO

- taglio di calcolo	V_{Ed}	688.00	kN
- compressione (+) / trazione (-)	N_{Ed}	0.0	kN

2) ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO (p.to 4.1.2.1.3.1 DM2008)

- parametri di calcolo	k	1.52	-
	v_{min}	0.35	-
- rapporto geometrico di armatura	ρ_l	0.00E+00	-
- tensione media di compressione	σ_{cp}	0.00	MPa
- taglio resistente minimo	$V_{Rd,min}$	256.8	kN

- taglio resistente	V_{Rd}	256.8	kN
---------------------	----------	-------	----

VERIFICA $V_{Rd} > V_{Ed}$

VERIFICA NON SODDISFATTA

- prolungamento armatura tesa (o in alternativa)	$a_l = z$	-	mm
- incremento trazione armatura tesa	$\Delta N_{sl,d}$	-	kN
	$\Delta A_{sl,d}$	-	mm ²



Figura 75: Sollecitazioni SLE01 - Sezione R-1

Tabella 33: Sezione C-1 – Verifiche in esercizio

1. Combinazione caratteristica/frequente/quasi permanente SLE01						
Momenti flettenti [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
sez. di base: $M_{Ed} = -978.3$	262.9	-10.4	360	-12.6	0.299	0.300
campata: $M_{Ed} = 451.0$	199.5	-5.7	360	-12.6	0.210	0.300

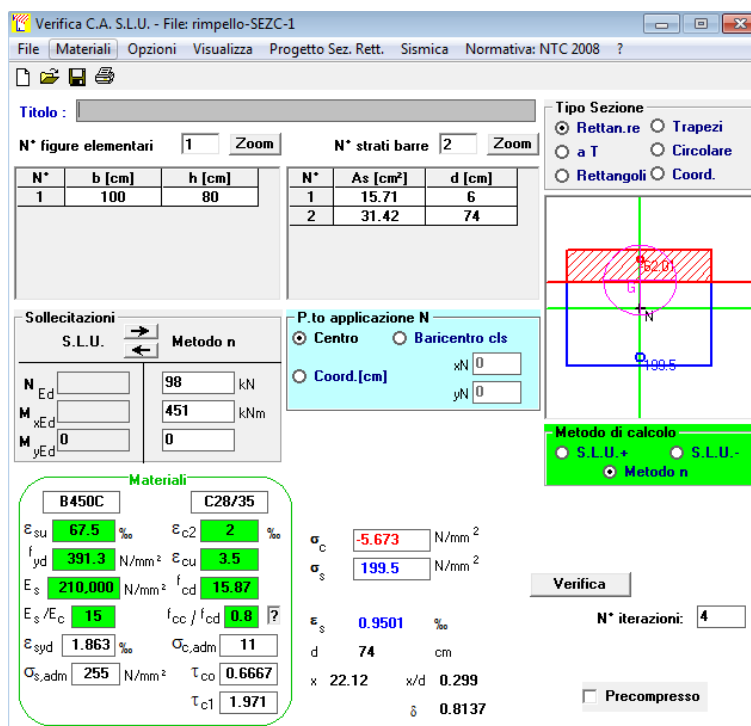


Figura 76: Sezione R-1 – Verifiche in esercizio

10.6.3 Sezione di verifica R-2

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione SLU01 riferiti ad una striscia di larghezza unitaria e le relative verifiche di resistenza.

Armatura	Copriferro netto	Armatura corrente alla base	Armatura corrente in campata
PRINCIPALE	ESTERNA: 46 mm INTERNA: 46 mm	ESTERNA: 1Ø26/10 INTERNA: 1Ø20/20	ESTERNA: 1Ø20/20 INTERNA: 1Ø20/10
SECONDARIA	ESTERNA: 30 mm INTERNA: 30 mm	ESTERNA: 1Ø16/20 INTERNA: 1Ø16/20	ESTERNA: 1Ø16/20 INTERNA: 1Ø16/20

La sezione ha spessore pari a 60 cm e risulta armata nella sezione di base lato terra da 1Ø26/10 e lato interno da 1Ø20/20, mentre in campata risulta armata lato terra da 1Ø20/20 e lato interno da 1Ø20/10. Si ha quanto segue:

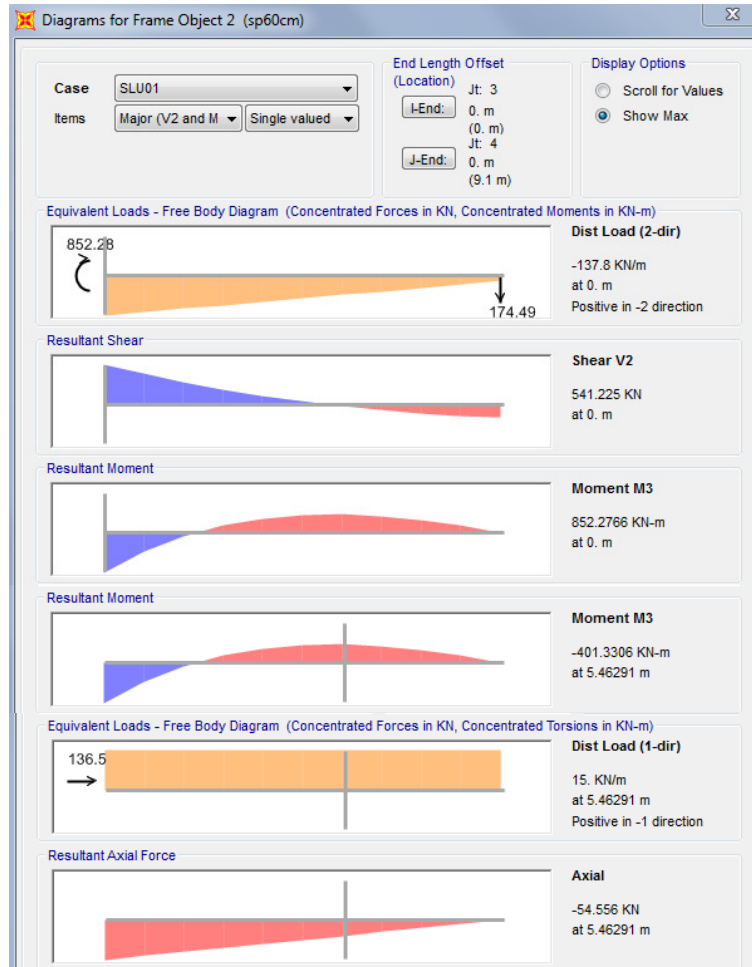


Figura 77: Sollecitazioni SLU01 - Sezione R-2

Verifica C.A. S.L.U. - File: rimpello-SEZC-2

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

TITOLO :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	60	1	53.09	6
			2	15.71	54

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

Diagramma di sezione:

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 136.5 kN
 M_{xEd} -852 kNm
 M_{yEd} 0

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

Tipologia rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipologia flessione:
 Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali: B450C C28/35

ε_{su} 67.5‰ ε_{c2} 2‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5‰
 E_s 210.000 N/mm² f_{cd} 15.87
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ε_{syd} 1.863‰ σ_{c,adm} 11
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.6667
 τ_{c1} 1.971

M_{xRd} -1,042 kN m

σ_c -15.87 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ε_c 3.5‰
 ε_s 11.57‰
 d 54 cm
 x 12.54 x/d 0.2322
 δ 0.7303

$$M_{Ed} = 852 \text{ kNm} < M_{Rd} = 1042 \text{ kNm}$$

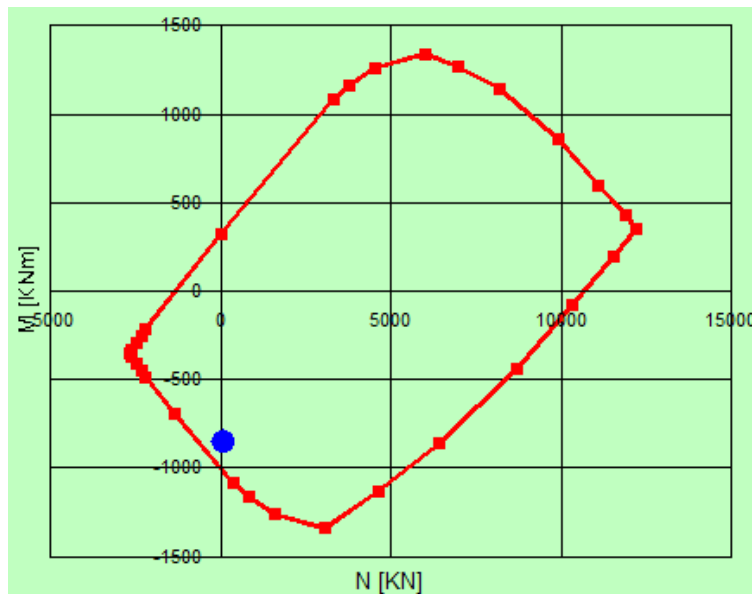


Figura 78: Sezione R-2 – Verifica a momento flettente SLU sezione di base

Verifica C.A. S.L.U. - File: rimpello-SEZC-2

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

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

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	60	1	15.71	6
			2	31.42	54

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 54 kN
 M_{xEd} 401 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

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C C28/35

ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
 E_s 210,000 N/mm² f_{cd} 15.87 ‰
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ε_{syd} 1.863 ‰ σ_{c,adm} 11
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.6667
 τ_{c1} 1.971

M_{xRd} 630.6 kNm

σ_c -15.87 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ε_c 3.5 ‰
 ε_s 20.55 ‰
 d 54 cm
 x 7.858 x/d 0.1455
 δ 0.7

$$M_{Ed} = 401 \text{ kNm} < M_{Rd} = 630 \text{ kNm}$$

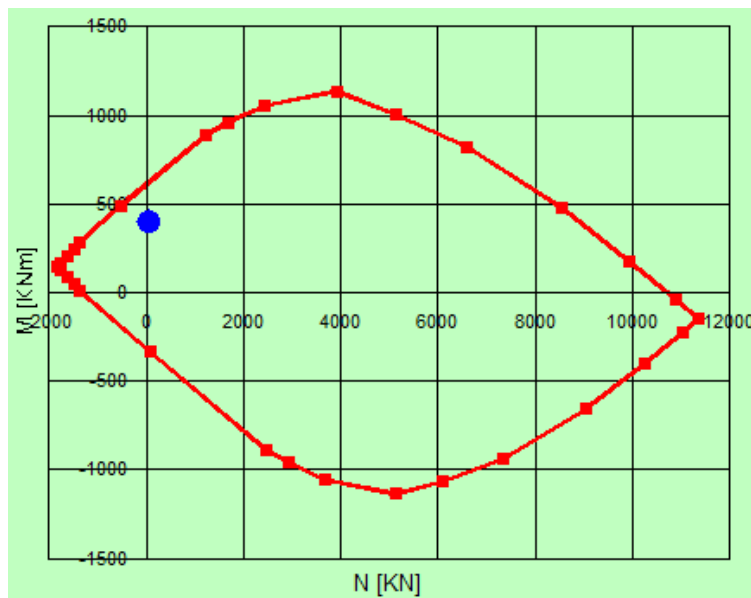


Figura 79: Sezione R-2 – Verifica a momento flettente SLU campata

La sezione risulta armata a taglio da ganci $1\phi 12/20 \times 40$ per i primi 2.00 m e da ganci $1\phi 12/40 \times 40$ per la parte restante. Si ha quanto segue:

RESISTENZA NEI CONFRONTI DI SOLLECITAZIONI TAGLIANTI (p.to 4.1.2.1.3 DM2008)

1) DATI GENERALI

1.1) CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

- calcestruzzo	f_{ck}	28.0	MPa
	α_{cc}	0.85	-
	γ_c	1.50	-
	f_{cd}	15.9	MPa
	f_{ctm}	2.8	MPa
- acciaio	f_{yk}	450.0	MPa
	f_{yd}	391.3	MPa

1.2) CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

- altezza	h	600	mm
- larghezza minima	b_w	1000	mm
- copriferro di calcolo	c	60	mm
- area cls	A_c	6.00E+05	mm ²
- altezza utile	d	540	mm
- braccio coppia interna (= 0,9 d)	z	486	mm

1.3) ARMATURA LONGITUDINALE TESA

- armatura longitudinale 1	ϕ_1	0	mm
	n_1	0	-
- armatura longitudinale 2	ϕ_2	0	mm
	n_2	0	-
- area armatura longitudinale tesa	A_{sl}	0	mm ²

1.4) SOLLECITAZIONI DI CALCOLO

- taglio di calcolo	V_{Ed}	541.00	kN
- compressione (+) / trazione (-)	N_{Ed}	0.0	kN

2) ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO (p.to 4.1.2.1.3.1 DM2008)

- parametri di calcolo	k	1.61	-
	v_{min}	0.38	-
- rapporto geometrico di armatura	ρ_l	0.00E+00	-
- tensione media di compressione	σ_{cp}	0.00	MPa
- taglio resistente minimo	$V_{Rd,min}$	204.0	kN

- taglio resistente	V_{Rd}	204.0	kN
---------------------	----------	-------	----

VERIFICA $V_{Rd} > V_{Ed}$

VERIFICA NON SODDISFATTA

- prolungamento armatura tesa (o in alternativa)	$a_l = z$	-	mm
- incremento trazione armatura tesa	$\Delta N_{sl,d}$	-	kN
	$\Delta A_{sl,d}$	-	mm ²

3) ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO (p.to 4.1.2.1.3.2 DM2008)

3.1) STAFFE

- diametro	ϕ	12	mm
- n° braccia	n_b	5.00	-
- passo	s	400	mm
- area di acciaio per ogni staffa	A_{sw}	565	mm ²
- area staffe per metro	A_{sw}/s	1414	mm ² /m

3.2) FERRI PIEGATI

- inclinazione ferri piegati	α	0.0	deg
- diametro	ϕ_a	0	mm
- n° braccia	$n_{b,\alpha}$	0	-
- passo	s_α	0	mm
- area di acciaio per ogni ferro piegato	$A_{sw,\alpha}$	0	mm ²
- area ferri piegati per metro	$(A_{sw}/s)_\alpha$	0	mm ² /m

3.3) RESISTENZA DEI PUNTONI IN CLS

- coefficiente maggiorativo	α_c	1.00	-
- resistenza a compressione ridotta	f'_{cd}	7.9	MPa
- resistenza a compressione dei puntoni	f_{cdw}	7.9	MPa
- resistenza minima lato cls	$V_{Rcd,min}$	1329.5	kN
- resistenza max lato cls	$V_{Rcd,max}$	1927.8	kN

VERIFICA $V_{Rcd,max} > V_{Ed}$ OK

3.4) VERIFICA A TAGLIO

- taglio resistente di progetto	V_{Rd}	672.1	kN
VERIFICA $V_{Rd} > V_{Ed}$ OK			
- inclinazione ultima dei puntoni	$\cotg\theta_u$	2.50	-
	θ_u	21.8	deg

$$V_{Ed} = 541 \text{ kN} < V_{Rd} = 672 \text{ kN}$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione SLE01 riferiti ad una striscia di larghezza unitaria e le relative verifiche in condizioni di esercizio.

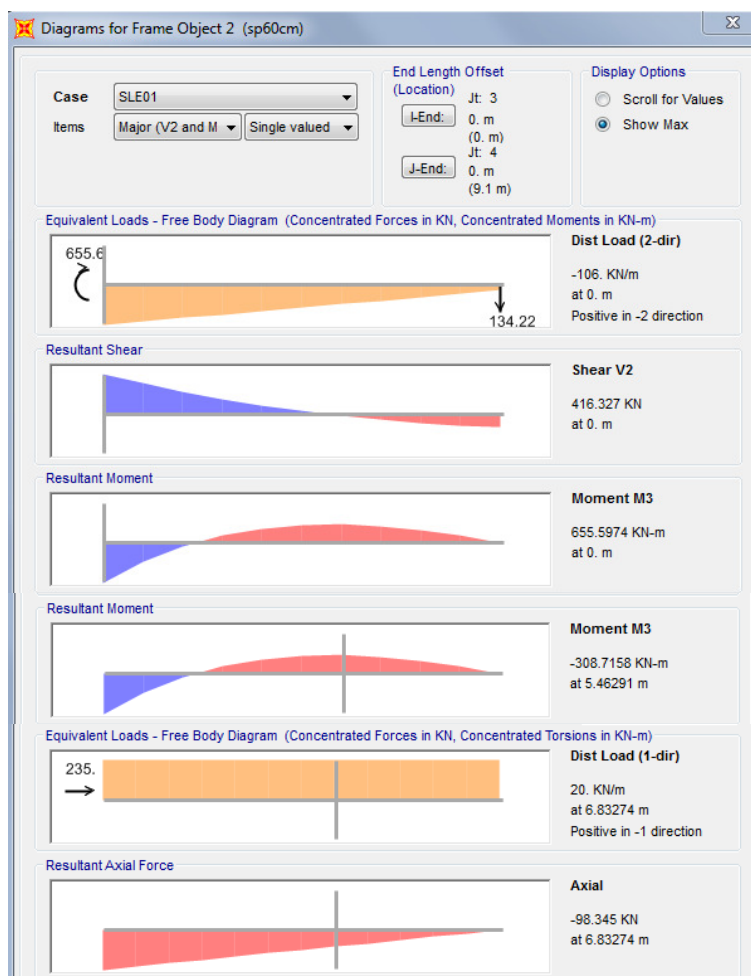


Figura 80: Sollecitazioni SLE01 - Sezione R-2

Tabella 34: Sezione R-2 – Verifiche in esercizio

1. Combinazione caratteristica/frequente/quasi permanente SLE01						
Momenti flettenti [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
sez. di base: $M_{Ed} = -655.5$	243.1	-11.7	360	-12.6	0.260	0.300
campata: $M_{Ed} = 308.7$	189.5	-6.5	360	-12.6	0.195	0.300

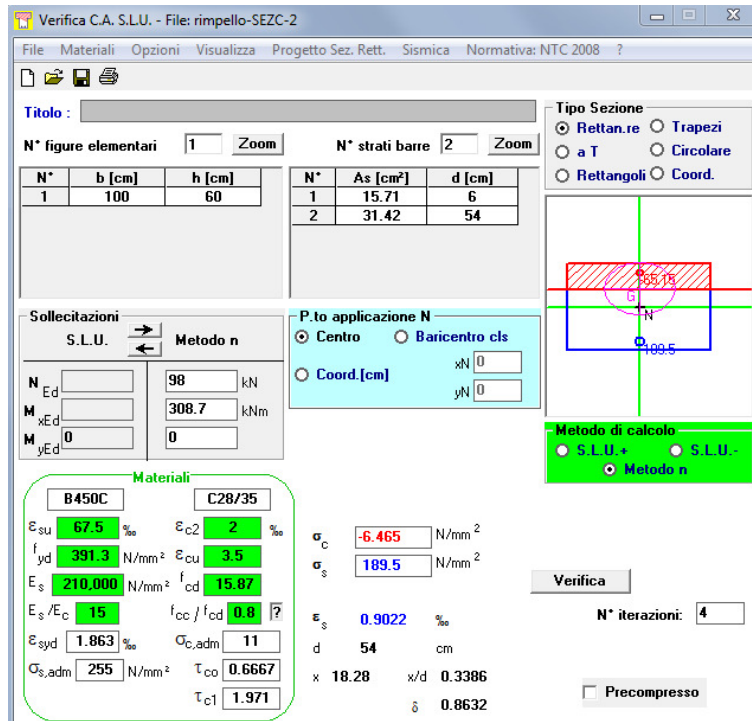
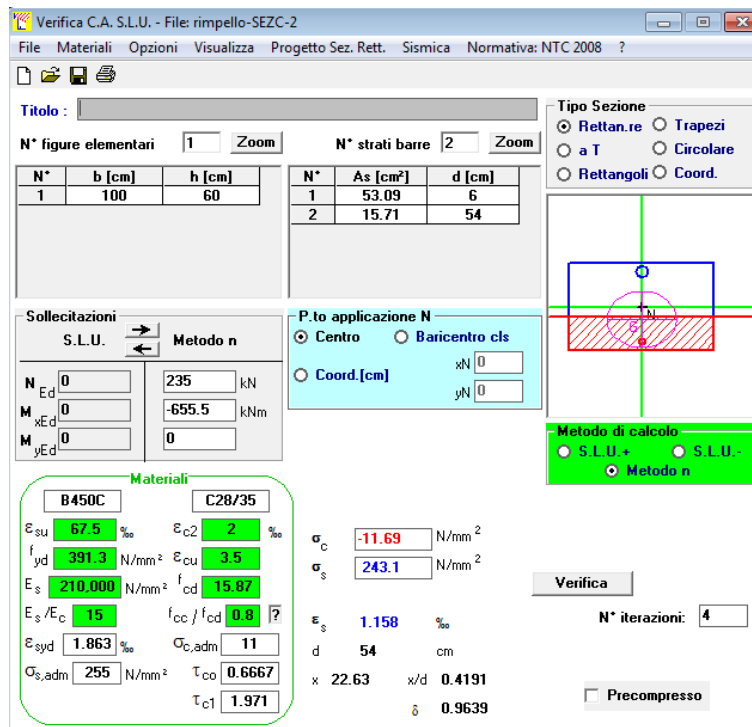


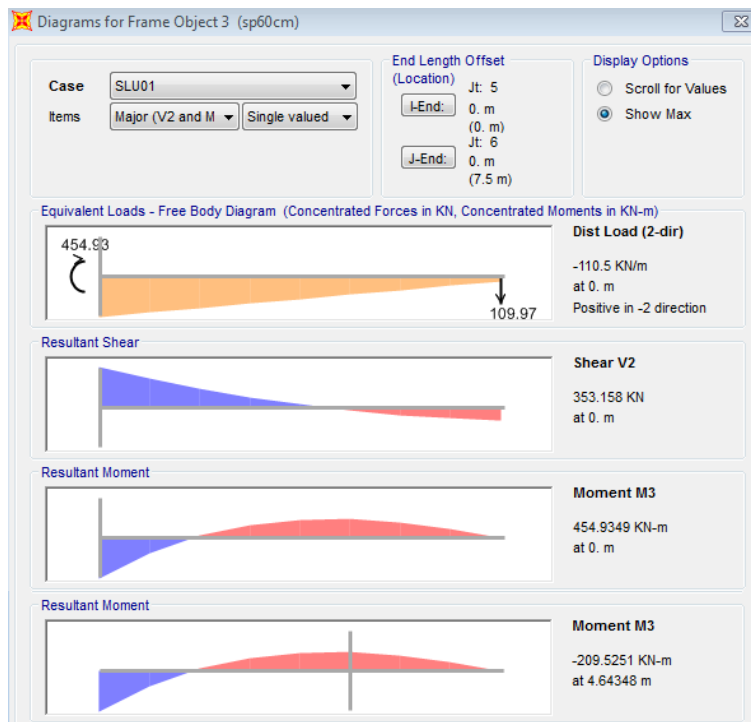
Figura 81: Sezione R-2 – Verifiche in esercizio

10.6.4 Sezione di verifica R-3

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione SLU01 riferiti ad una striscia di larghezza unitaria e le relative verifiche di resistenza.

Armatura	Copriferro netto	Armatura corrente alla base	Armatura corrente in campata
PRINCIPALE	ESTERNA: 46 mm INTERNA: 46 mm	ESTERNA: 1Ø20/10 INTERNA: 1Ø20/20	ESTERNA: 1Ø20/20 INTERNA: 1Ø20/20
SECONDARIA	ESTERNA: 30 mm INTERNA: 30 mm	ESTERNA: 1Ø16/20 INTERNA: 1Ø16/20	ESTERNA: 1Ø16/20 INTERNA: 1Ø16/20

La sezione ha spessore pari a 60 cm e risulta armata nella sezione di base lato terra da 1Ø20/10 e lato interno da 1Ø20/20, mentre in campata risulta armata lato terra da 1Ø20/20 e lato interno da 1Ø20/20. Si ha quanto segue:



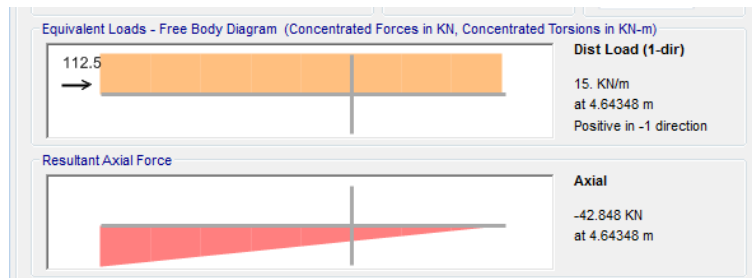


Figura 82: Sollecitazioni SLU01 - Sezione R-3

Verifica C.A. S.L.U. - File: rimpello-SEZC-4

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

Titolo :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	60

N°	As [cm²]	d [cm]
1	31.42	6
2	15.71	54

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 112.5 0 kN
 M_{xEd} -455 0 kNm
 M_{yEd} 0 0

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

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N
 L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C		C28/35	
ε _{su}	67.5 ‰	ε _{c2}	2 ‰
f _{yd}	391.3 N/mm²	ε _{cu}	3.5 ‰
E _s	210.000 N/mm²	f _{cd}	15.87
E _s /E _c	15	f _{cc} /f _{cd}	0.8
ε _{syd}	1.863 ‰	σ _{c,adm}	11
σ _{s,adm}	255 N/mm²	τ _{co}	0.6667
		τ _{c1}	1.971

M_{xRd} -644.5 kN m

σ_c -15.87 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ε_c 3.5 ‰
 ε_s 19.82 ‰
 d 54 cm
 x 8.104 x/d 0.1501
 δ 0.7

$$M_{Ed} = 455 \text{ kNm} < M_{Rd} = 644 \text{ kNm}$$

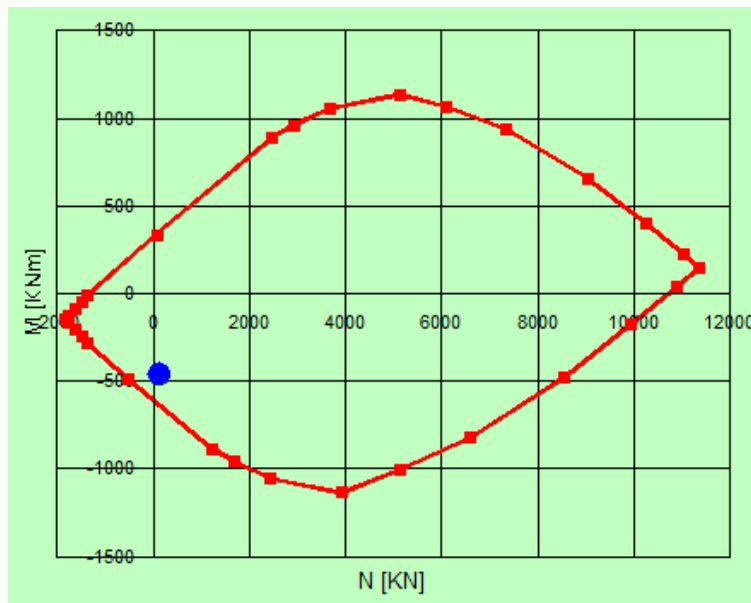


Figura 83: Sezione R-3 – Verifica a momento flettente SLU sezione di base

Verifica C.A. S.L.U. - File: rimpello-SEZC-4

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

Titolo : _____

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	60	1	15.71	6
			2	15.71	54

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 42 0 kN
 M_{xEd} 209 0 kNm
 M_{yEd} 0 0

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

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L_o 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C		C28/35	
ε _{su}	67.5 ‰	ε _{c2}	2 ‰
f _{yd}	391.3 N/mm²	ε _{cu}	3.5 ‰
E _s	210,000 N/mm²	f _{cd}	15.87
E _s /E _c	15	f _{oc} /f _{cd}	0.8
ε _{syd}	1.863 ‰	σ _{c,adm}	11
σ _{s,adm}	255 N/mm²	τ _{co}	0.6667
		τ _{cl}	1.971

M_{xRd} 331.6 kNm

σ_c -15.87 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ε_c 3.5 ‰
 ε_s 29.93 ‰
 d 54 cm
 x 5.653 x/d 0.1047
 δ 0.7

$$M_{Ed} = 209 \text{ kNm} < M_{Rd} = 331 \text{ kNm}$$

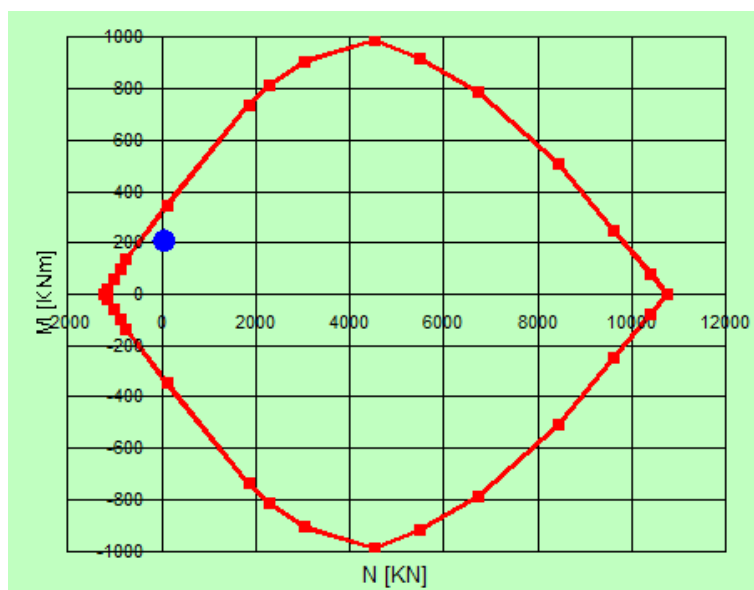


Figura 84: Sezione R-3 – Verifica a momento flettente SLU campata

La sezione risulta armata a taglio da ganci $1\phi 12/20 \times 40$ per i primi 2.00 m e da ganci $1\phi 12/40 \times 40$ per la parte restante. Si ha quanto segue:

RESISTENZA NEI CONFRONTI DI SOLLECITAZIONI TAGLIANTI (p.to 4.1.2.1.3 DM2008)

1) DATI GENERALI

1.1) CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

- calcestruzzo	f_{ck}	28.0	MPa
	α_{cc}	0.85	-
	γ_c	1.50	-
	f_{cd}	15.9	MPa
	f_{ctm}	2.8	MPa

- acciaio	f_{yk}	450.0	MPa
	f_{yd}	391.3	MPa

1.2) CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

- altezza	h	600	mm
- larghezza minima	b_w	1000	mm
- copriferro di calcolo	c	60	mm
- area cls	A_c	6.00E+05	mm ²
- altezza utile	d	540	mm
- braccio coppia interna (= 0,9 d)	z	486	mm

1.3) ARMATURA LONGITUDINALE TESA

- armatura longitudinale 1	ϕ_1	0	mm
	n_1	0	-
- armatura longitudinale 2	ϕ_2	0	mm
	n_2	0	-
- area armatura longitudinale tesa	A_{sl}	0	mm ²

1.4) SOLLECITAZIONI DI CALCOLO

- taglio di calcolo	V_{Ed}	353.00	kN
- compressione (+) / trazione (-)	N_{Ed}	0.0	kN

2) ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO (p.to 4.1.2.1.3.1 DM2008)

- parametri di calcolo	k	1.61	-
	v_{min}	0.38	-
- rapporto geometrico di armatura	ρ_l	0.00E+00	-
- tensione media di compressione	σ_{cp}	0.00	MPa
- taglio resistente minimo	$V_{Rd,min}$	204.0	kN

- taglio resistente	V_{Rd}	204.0	kN
---------------------	----------	-------	----

VERIFICA $V_{Rd} > V_{Ed}$ VERIFICA NON SODDISFATTA

- prolungamento armatura tesa (o in alternativa)	$a_l = z$	-	mm
- incremento trazione armatura tesa	$\Delta N_{sl,d}$	-	kN
	$\Delta A_{sl,d}$	-	mm ²

3) ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO (p.to 4.1.2.1.3.2 DM2008)

3.1) STAFFE

- diametro	ϕ	12	mm
- n° braccia	n_b	5.00	-
- passo	s	400	mm
- area di acciaio per ogni staffa	A_{sw}	565	mm ²
- area staffe per metro	A_{sw}/s	1414	mm ² /m

3.2) FERRI PIEGATI

- inclinazione ferri piegati	α	0.0	deg
- diametro	ϕ_a	0	mm
- n° braccia	$n_{b,\alpha}$	0	-
- passo	s_α	0	mm
- area di acciaio per ogni ferro piegato	$A_{sw,\alpha}$	0	mm ²
- area ferri piegati per metro	$(A_{sw}/s)_\alpha$	0	mm ² /m

3.3) RESISTENZA DEI PUNTONI IN CLS

- coefficiente maggiorativo	α_c	1.00	-
- resistenza a compressione ridotta	f'_{cd}	7.9	MPa
- resistenza a compressione dei puntoni	f_{cdw}	7.9	MPa
- resistenza minima lato cls	$V_{Rcd,min}$	1329.5	kN
- resistenza max lato cls	$V_{Rcd,max}$	1927.8	kN
VERIFICA $V_{Rcd,max} > V_{Ed}$		OK	

3.4) VERIFICA A TAGLIO

- taglio resistente di progetto	V_{Rd}	672.1	kN
VERIFICA $V_{Rd} > V_{Ed}$		OK	
- inclinazione ultima dei puntoni	$\cotg\theta_u$	2.50	-
	θ_u	21.8	deg

$$V_{Ed} = 353 \text{ kN} < V_{Rd} = 672 \text{ kN}$$

Si riportano i risultati in termini di sollecitazioni per la combinazione SLE01 riferiti ad una striscia di larghezza unitaria e le relative verifiche in condizioni di esercizio.

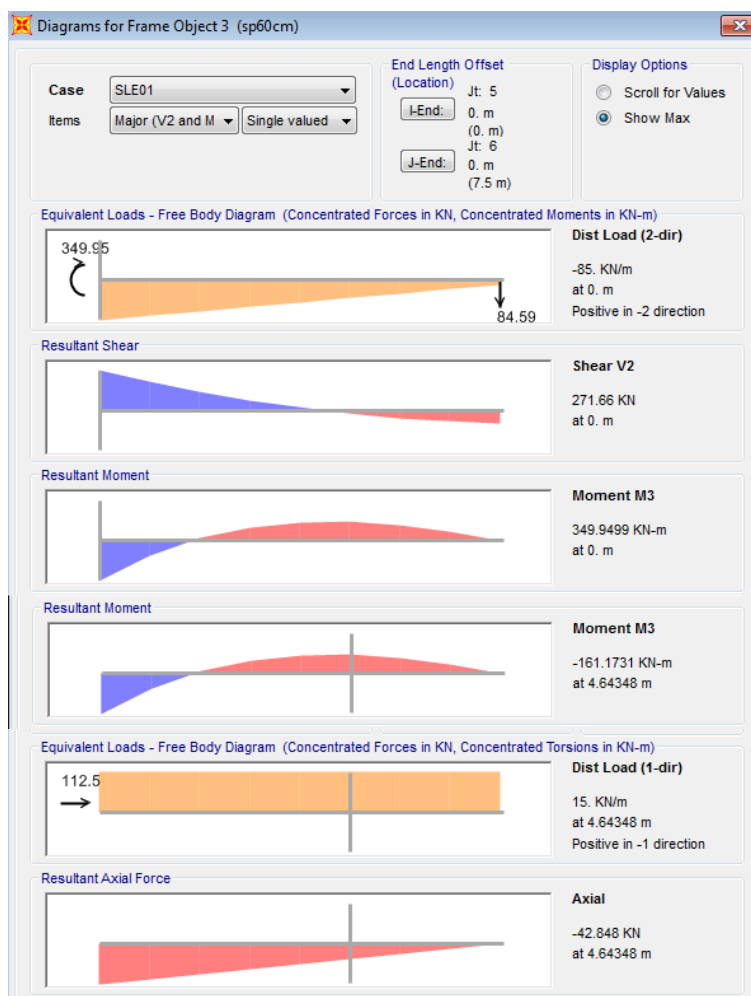


Figura 85: Sollecitazioni SLE01 - Sezione R-3

Tabella 35: Sezione R-3 – Verifiche in esercizio

1. Combinazione caratteristica/frequente/quasi permanente SLE01						
Momenti flettenti [kNm]	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	σ_s max [MPa]	σ_c max [MPa]	W_d [mm]	$W_{d,max}$ [mm]
sez. di base: $M_{Ed} = -349.9$	214.5	-7.3	360	-12.6	0.231	0.300
campata: $M_{Ed} = 161.1$	194.5	-4.3	360	-12.6	0.255	0.300

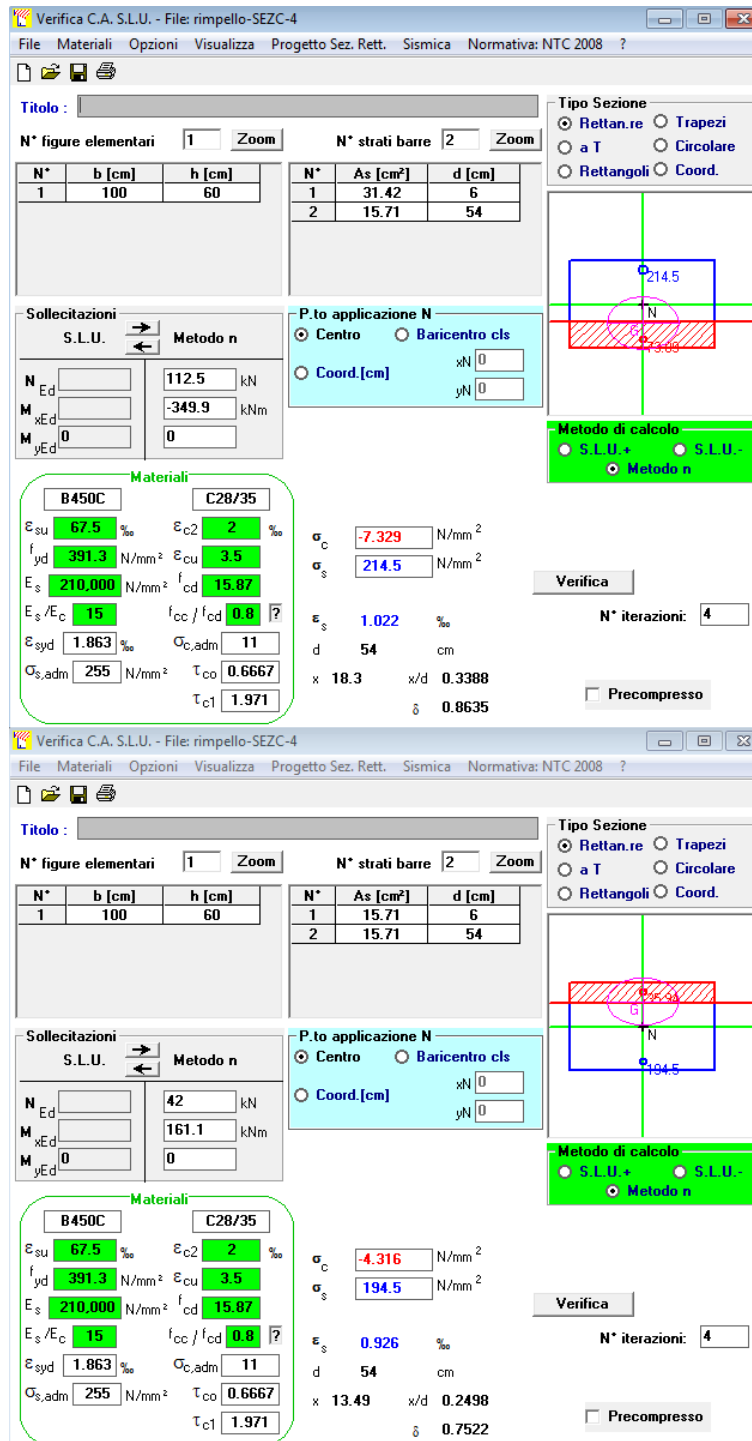


Figura 86: Sezione R-3 – Verifiche in esercizio